



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SAF SUYUN ALÜMİNYUM-KOMPOZİT  
LEVHALARIN YAPIŞTIRMA  
BAĞLANTILARINDAKİ NAYLON 6.6  
NANOFİBER TAKVİYELİ  
YAPIŞTIRICILARA ETKİSİ**

**Ahmet Caner TATAR**

**YÜKSEK LİSANS**  
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Caner TATAR tarafından hazırlanan ‘‘Saf Suyun Alüminyum-Kompozit Levhaların Yapıştırma Bağlantılarındaki Naylon 6.6 Nanofiber Takviyeli Yapıştırıcılara Etkisi’’ adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri  yeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Ömer Sinan şAHİN

#### Danışman

Prof. Dr. Ahmet AVCI

####  ye

Dr. Öğr.  ye. Gürol  NAL

### İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

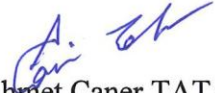
Bu tez alışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü tarafından 17201147 nolu ve TÜBİTAK tarafından 215M777 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

  
Ahmet Caner TATAR

21/08/2019

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS

### SAF SUYUN ALÜMİNYUM-KOMPOZİT LEHVALARIN YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDAKİ NAYLON 6.6 NANOFİBER TAKVİYELİ YAPIŞTIRICILARA ETKİSİ

**Ahmet Caner TATAR**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**2019, 98 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Ahmet AVCI  
Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN  
Dr. Öğr. Üye. Gürol ÖNAL**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, birçok endüstriyel sektörde kullanılmakta olan epoksi yapıştırıcıların geliştirilmesi hedeflenmiştir. Cıvata veya kaynak bağlantısının uygun olmadığı Alüminyum 2024-T3 malzemesi ile karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi yapıştırıcılar, saf naylon 6.6 ve grafen ilave edilmiş naylon 6.6 nanoelyaflar ile güçlendirilmiş ve saf suyun bu yapıştırıcılar üzerine etkisi araştırılmıştır.

Deney Numunelerinin hazırlanmasında ilk olarak saf naylon 6.6 ve ağırlıkça %1, %3 ve %5 grafen nano partiküller (GNP) içeren naylon 6.6 nanoelyaflar elektro-eğirme yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen nanofiberler fourier dönüşümlü infrared spektrometre (FT-IR), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) ile karakterize edilmiştir. Nanopartiküllerin nanofiberler içerisindeki dağılımları görüntülenmiştir. Yapıştırma bağlantılarında kullanılacak olan karbon fiber levhalar ve Alüminyum 2024-T3 levhalar uygun ölçülerde kesilmiş ve yapıştırma işlemi için yüzeyleri uygun hale getirilmiştir. Yüzey hazırlama işlemlerinden sonra nanofiberler, karbon elyaf kompozit ve Alüminyum 2024-T3 yapıştırma numunelerinin yapıştırma bölgelerine ilave edilerek tek taraflı bindirmeli deney numuneleri ASTM D1002-10 standartına göre hazırlanmıştır.

Üretilen deney numuneleri farklı sürelerde (1,7,14 ve 21 gün) saf su içerisinde bekletilmiş ve çekme testleri yapılmıştır. Elde edilen numuneler hiç suda şartlanmamış numunelerle kıyaslanmıştır. Kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek naylon 6.6 nanofiberlerin ve grafen nano partikül (GNP) takviyeli nanofiberlerin yapıştırma bağlantıları üzerindeki etkileri, detaylı olarak açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** elektro-eğirme, grafen, nanoelyaf, tek taraflı bindirmeli bağlantı, saf su, şartlandırma, yapıştırma bağlantısı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **THE EFFECT OF PURE WATER ON ADHESIVELY BONDED ALUMINIUM-COMPOSITE PLATES WITH POLYAMIDE 6.6 ELECTROSPUN NANOFIBERS**

**Ahmet Caner TATAR**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Ahmet AVCI**

**2019, 98 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Ahmet AVCI  
Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN  
Dr. Öğr. Üye. Gürol ÖNAL**

In this master thesis study, it was aimed to develop epoxy adhesives which are used in many industrial sectors. Epoxy adhesives which are used in carbon fiber reinforced composite materials and Aluminum 2024-T3 material joints, not suitable for bolts or welding connections, were reinforced with neat nylon 6.6 nanofibers and graphene nanoparticle added nylon 6.6 nanofibers and aging in purified water were investigated.

In order to prepare test sample firstly, neat nylon 6.6 and nylon 6.6 which contains %1, %3, %5 ratios of graphene nanoparticles (GNPs) by weight were produced. Having been produced nanofibers were characterized by means of fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), differential scanning calorimetry (DSC), scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM). Dispersion of the nanoparticles in nanofibers were imaged. Carbon fiber sheets and Aluminium2024-T3 sheets which would use adhesive joints were cut with appropriate dimentions and suitable surfaces were achieved for adhesive process. After surface preparation, single lap joint test specimens were prepared according to ASTM D1002-10 standard by adding nanofibers to the bonding regions of carbon fiber composite and aluminum 2024-T3 bonding samples.

The test samples were exposed to pure water at different durations (1,7,14 and 21 days) and tensile tests were performed. The samples obtained were compared with samples that were not treated with water.

Effects of nylon 6.6 nanofibers and graphene nanoparticle (GNP) added nanofibers on bonding connections were explained in detail with the examination of crack surfaces by scanning electron microscope (SEM).

**Keywords:** Adhesive joints, aging, electro spinning, graphene, nanofibers, pure water, single lap joints

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmamı yaparken her türlü desteği ve yardımı esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet AVCI' ya minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tezimle ilgili her türlü konuda bana yol gösteren ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üye. Mürsel EKREM' e, çekme deneylerimin hatasız bir şekilde tamamlanmasına katkı sağlayan Doç. Dr. Necati ATABERK' e ve numune üretimine yardımcı olan Yüksek Makine Mühendisi Muhammet Ali ŞENYURT' a, teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için deney numunelerin temin edilmesi ve incelenmesi gibi konularda 17201147 nolu proje ile maddi destek veren Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve 215M777 nolu TÜBİTAK MAG 1001 projesine teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda bu aşamalara gelmemde en büyük pay sahibi olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen değerli annem, merhum babam ve sevgili ağabeylerime teşekkür ederim.

Son olarak sabır ve desteğinden dolayı değerli eşime en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ahmet Caner TATAR  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.2. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Genel Yapısı .....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Yapışma ve Yapıştırma Bağlantıları.....	6
2.1.1. Yapıştırma bağlantılarının avantajları .....	6
2.1.2. Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları .....	7
2.1.3. Yapıştırma bağlantılarında oluşabilecek gerilmeler .....	8
2.1.4. Yapıştırma bağlantı türleri .....	8
2.1.5. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar türleri .....	10
2.1.5.1 Adhezyon hasarı .....	10
2.1.5.2. Kohezyon hasarı .....	11
2.1.5.2. Yapıştırılan malzemelerin kohezyon hasarı.....	11
2.1.6. Yapıştırma bağlantılarında yüzey hazırlama işlemleri .....	12
2.1.7. Yapıştırıcı türleri.....	12
2.1.7.1 Termoset yapıştırıcılar .....	13
2.1.7.2 Termoplastik yapıştırıcılar .....	13
2.1.7.3 Elastomer yapıştırıcılar .....	13
2.1.7.4 Hibrid yapıştırıcılar .....	14
2.2 Nanoteknoloji ve Yapıştırmadaki Yeri .....	14
2.2.1 Nano Grafen Partikülleri.....	15
2.2.2. Nanoelyaf.....	16
2.3. Elektrospın yöntemi ve nanoelyaf üretimi .....	17
2.3.1. Elektrospın yönteminin bileşenleri .....	18
2.3.2. Elektrospın yöntemine etki eden faktörler.....	18
2.3.2.1. Laboratuvar ortamı parametreleri .....	19
2.3.2.2. Yöntem parametreleri .....	19
2.3.2.2. Solüsyon parametreleri .....	21
2.4. Naylon 6.6 nanoelyafı .....	22
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Kullanılan Malzemelerin özellikleri .....	24
3.1.1. Epoksi Reçine ve Kürleştiricisi.....	25
3.1.2. Naylon 6.6.....	26

3.1.3. Grafen .....	26
3.1.4. Alüminyum .....	26
3.1.5. Karbon fiber kompozit.....	27
3.2 Nanoelyaf Üretimi .....	27
3.2.1. Saf Naylon 6.6 nanoelyafların üretimi.....	28
3.2.2. Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyafların Üretimi.....	30
3.3. Nanoelyaf Optimizasyonu .....	33
3.3.1. Laboratuvar ortamı Optimizasyonu .....	33
3.3.2. Solüsyon Optimizasyonu .....	34
3.3.3. Yöntem optimizasyonu .....	35
3.3.3.1 Toplayıcı ile Şırınga ucu arasındaki voltaj optimizasyonu.....	36
3.3.3.2. Solüsyon pompama hızı optimizasyonu .....	36
3.3.3.3. Solüsyon sıcaklık optimizasyonu.....	37
3.3.3.4. Toplayıcı (Kolektör) tipi seçimi .....	37
3.3.3.5. Şırınga iğnesi çapı optimizasyonu .....	38
3.3.3.6. Toplayıcı ile şırınga iğnesi arası mesafe optimizasyonu .....	38
3.4. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Yüzey Hazırlıkları .....	39
3.5. Alüminyum Malzemelerin Yüzey Hazırlıkları .....	40
3.5.1 Sodyum dikromat solüsyonu ile dağlama .....	40
3.5.2 Fosforik asit ile anotlama.....	41
3.6. Yüzeylerin Yapıştırılması .....	44
3.7. Eksenel Çekme Testlerinin yapılması.....	45
3.7.1. Kayma gerilmesinin hesaplanması .....	46
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>48</b>
4.1. Naylon 6.6 nanoelyaf karakterizasyonu.....	48
4.1.1. Naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri.....	48
4.1.2. Naylon 6.6 nanoelyafların TEM görüntüleri .....	50
4.1.3. Naylon 6.6 nanoelyafların FT-IR analizleri.....	51
4.1.4. Grafenli naylon 6.6 nanoelyafların DSC sonuçları.....	52
4.2. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri .....	52
4.2.1. Suda şartlandırılmamış numunelerin Mekanik Özellikleri.....	54
4.2.2. Saf suda 1 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri .....	57
4.2.3. Saf suda 7 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri .....	59
4.2.4. Saf suda 14 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri .....	61
4.2.5. Saf suda 21 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri .....	63
4.2.6. Saf suda şartlandırmanın etkisi .....	65
4.3 Yapıştırma Yüzeylerinin Hasar Analizi.....	69
4.3.1 Yapıştırma yüzeylerinin makroskobik fotoğrafları.....	70
4.3.2 Yapıştırma yüzeylerinin mikroskobik fotoğrafı .....	77
4.3.2 Yapıştırma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	78
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>90</b>
5.1 Sonuçlar .....	90
5.2 Öneriler .....	92
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>93</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>97</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\delta$	: Yer değiştirme (mm)
GPa	: Giga Paskal
$l$	: mm Üst üste bindirme uzunluğu
N	: Newton
MPa	: Mega Paskal
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
P	: N Uygulanan yük
Ra	: $\mu\text{m}$ Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rz	: $\mu\text{m}$ Ortalama pürüz yüksekliği
Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı
%	: Yüzde
$\gamma$	: Kayma Şekil değiştirmesi

### Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
AC	: Alternatif akım
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
Al	: Alüminyum
ASTM	: American society for testing and materials
CNT	: Karbon nanotüp
ÇCKNT	: Çok cidarlı karbon nanotüp
DC	: Doğrusal akım
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
FT-IR	: Fourier dönüşümü infrared spektroskopisi
GNP	: Grafen nanoplate
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
N6.6	: Naylon 6.6
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik analiz
PA	: Poliamid (Naylon)
PAN	: Poliakrilonitril
PC	: Polikarbonat
PE	: Poli etilen
PTFE	: Politetra floroetilen
PVA	: Polivinil alkol
PVC	: Polivinil klorür

## 1. GİRİŞ

Yapıştırma iki ya da daha fazla yüzeyin birbirine bağlanması olarak tanımlanabilir. Yaygınlaşan yapıştırıcı kullanımı; malzemeleri diğer birleştirme yöntemlerine göre daha avantajlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu avantajlardan birisi de yapıştırma bağlantılarının mekanik bağlantılara göre daha hafif ve güçlü olmasının yanı sıra bağlantı üzerindeki gerilmelerin daha geniş bir alana yayılabilmesidir.(Skeist, 2012)

Metallerde cıvata ve perçin bağlantısı sırasında oluşan hasarlarla birlikte, bağlantı bölgelerinde gerilme yığılmaları oluşabilmektedir. Bu gerilme yığılmaları ile birlikte yük altında çalışan yapı elemanlarında hasarlar oluşmaktadır. Bunun yanı sıra alüminyum gibi sünek metallerin birleştirilmesinde de mekanik bağlantılar kullanıldığında bağlantı sırasında oluşan hasarların sünek metallerde yorulma ömürlerine dezavantaj oluşturacağı aşikârdır.

Lehim, kaynak, çivileme, perçinleme ve cıvata bağlantıları gibi geleneksel birleştirme teknikleri yerine yapıştırıcılar kullanmak bağlantı bölgelerinde daha düzenli bir stres dağılımı sağlar, tasarımcıların karmaşık tasarım özgürlüğünü, üretim oranlarını artırır ve yapıların ağırlığını, işleme operasyonlarını ve korozyonu azaltır. Bu ciddi avantajlar, mühendisleri, akademisyenleri ve endüstriyi, yapıştırıcılara ve yapışkanla yapıştırılmış kompozit bağlantılara daha derinlemesine odaklanmaya teşvik eder.(Packham, 1992)

Kompozit malzemeler içerisinde takviye elemanı bulunan en az iki bileşenli malzemelerdir. Çivileme, perçinleme ve cıvata bağlantıları kompozit malzemeler üzerinde uygulandığı zaman kompozit malzemelerin içerisindeki takviye elemanları zarar görür. Bu durum özellikle sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerde yapının bozulmasına makine elemanının ya da yapı elemanının işlevini yitirmesine sebep olur. Benzer şekilde plastik esaslı kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kaynak kullanımı da imkânsızdır. Çünkü yüksek kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık matris malzemesinin yani plastiğin erimesine neden olur. Bu yüzden kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kaynak metodu da kullanılamaz. İşte tüm bu sebeplerden dolayı kompozit malzemelerin birleştirilmesinde konvansiyonel tekniklerden ziyade yapıştırma teknolojisi kullanılır.

Günümüzde yapıştırıcılar çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar basit yapışkan bantlardan uçak gövdelerine ve karmaşık yapılara kadar çeşitlilik gösterir.

Yapıştırıcıların ve ilgili yapıştırma mekanizmalarının araştırılması otomotiv ve havacılık endüstrisinde 50 yılı aşkın süredir devam etmektedir. Son zamanlarda yapıştırma sektörü; avantajlı hacimleri, düşük maliyet ve iyi mekanik özelliklerinden dolayı polimer ve epoksi reçinelere doğru yönelmiştir. (Awaja ve ark., 2009)

Yapıştırma teknolojisinin bu kadar yaygınlaşmasının sebeplerinden bir tanesi de cıvata ve perçin gibi konvansiyonel birleştirme metotlarına göre yapıda hafiflik sağlamasıdır. Hafiflik günümüz mühendislik alanlarında önemli bir yere sahip olduğundan üreticiler parça birleştirmelerinde yapıştırma bağlantılarını sıklıkla kullanmaya başlamışlardır.

## **1.2. Tezin Amacı**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, birçok endüstriyel sektörde kullanılmakta olan epoksi yapıştırıcıların geliştirilmesi hedeflenmiştir. Cıvata veya kaynak bağlantısının uygun olmadığı Alüminyum 2024-T3 malzemesi ile karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi yapıştırıcılar, saf naylon 6.6 ve grafen ilave edilmiş naylon 6.6 nanoelyaflar ile güçlendirilmiş ve saf suyun bu yapıştırıcılar üzerine etkisi araştırılmıştır.

## **1.2. Tezin Genel Yapısı**

Yüksek lisans tezinin ilk bölümü olan “Giriş” bölümünde yapıştırma terimi tanımlanmış diğer birleştirme yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca tez çalışmasının bütünü hakkında genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölüm olan “Kaynak Araştırması” bölümünde ise nanoteknoloji, elektro-eğirme, nano elyaflar, yapıştırma bağlantıları, tek taraflı bindirmeli bağlantılar, saf suda şartlandırma konuları hakkında yapılan bilimsel çalışmalar incelenmiş ve geniş literatür taramasına yer verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümü olan “Materyal ve Yöntem” bölümünde ise yapılan tez çalışmasında kullanılan numunelerin üretilme süreçleri, teknik özellikleri ve deneysel

çalışma metotları hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde anlatılan deneysel çalışmalarda detaylardan kaçınılmamış, herhangi bir püf nokta saklanmamış ve üretim süreci tüm olağanlığı ile görsel olarak da desteklenerek anlaşılır biçimde ifade edilmeye çalışılmıştır.

“Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde yapılan deneylerin sonuçları hakkında bilgiler verilmiş numunelerin karakterizasyonları yapılmış ve aksel çekme testleri sonucunda elde edilen grafikler aktarılmıştır. Numunelerin hasar yüzeylerinin görüntüleri ile grafik sonuçları karşılaştırılmış ve hasar mekanizmaları açıklanmıştır. Naylon 6.6 nanoelyafların görüntüleri ve işleyişlerinin yanı sıra grafen nanopartiküllerin yapıştırma bölgesindeki dağılımları elektron mikroskobu ile görüntüleri vasıtasıyla okuyucuya aktarılmıştır. Grafen, naylon 6.6 malzemelerinin ve suda şartlandırma işleminin yapıştırıcıya olan kimyasal etkisinin incelenebilmesi için tüm numune çeşitlerinin FTIR ve TGA grafikleri verilmiştir.

Tezin son bölümünde ise araştırma sonuçları hedefler ile kıyaslanmış, en iyi yapıştırıcı tespit edilmiştir. Saf suyun epoksi yapıştırıcılar üzerinde ne kadar etkili olduğu tartışılmıştır. Bunların yanı sıra yapıştırma teknolojisi için tavsiyelere yer verilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapıştırma bağlantılarının, konvansiyonel bağlantılara göre sağladığı avantajları sebebiyle, mühendisler akademisyenler yapıştırma bağlantıları üzerine ciddi araştırmalar yapmışlardır.

Yapıştırılan yüzeylerin kalitesi, oda sıcaklığı, ortamın nemi, yapıştırma sırasında uygulanan basınç gibi birçok faktör yapıştırma bağlantılarının kalitesine etki eder. Bu faktörler yapıştırma işlemini daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bundan dolayı yapıştırma bağlantıları birçok akademisyen için araştırma konusu haline gelmiştir.

Yapıştırma teknolojisi ile ilgili yayınlanan bir kitapta yapıştırmanın tanımı, tarihsel gelişimi, yapıştırma mekanizmaları ve teorileri, yapıştırma bağlantılarının dayanıklılıkları, kullanılan yapıştırıcıya göre yapıştırma türleri, yapıştırma uygulamaları konularına değinilmiştir (Pizzi ve Mittal, 2017).

(Skeist, 2012) tarafından yazılan yapıştırıcı el kitabında; yapıştırma temelleri, yapışkan malzemeler, yapıştırıcılar ve yapıştırma teknolojisi konuları ele alınmıştır.

Yapıştırıcılar ve sızdırmazlık maddeleri üzerine yazılan başka bir kitapta ise yapışma teorileri, yapıştırıcı ve sızdırmazlık maddeleri uygulama ekipmanları, yapıştırma bağlantıları için tasarım ve gerilme hesaplamaları, sıcaklığa dayanıklı yapıştırıcılar, UV ışınları ile kürleşen yapıştırıcılar, endüstride elastik yapıştırma ve sızdırmazlık, gibi daha çok uygulamaya yönelik konular ele alınmıştır (Cognard, 2002).

Pratik uygulamalara rehber olarak 2009 yılında yayınlanan bir kitapta uygulamalı yapıştırma bağlantıları anlatılmıştır.(Habenicht)

Yapılan bir tez çalışmasında ağırlıkça % 1, 3, ve 5 Çok Cidarlı Karbon Nano Tüpler ihtiva eden elektro-eğirme yöntemiyle üretilmiş polivinil alkol (PVA) nano elyaf ile güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcıların kırılma davranışları incelenmiştir. Yapılan tez çalışması sonucunda % 1 oranında (ağırlıkça) karbon nanotüp katkılı PVA nanoelyafi takviyeli yapıştırıcıların kayma dayanımını %21 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca % 1 oranında (ağırlıkça) karbon nanotüp katkılı PVA Nanoelyafların çatlak ilerlemesine karşı direnç sağladığı çeşitli yöntem ve teoriler ile açıklanmıştır (Ekrem, 2015).

Bir doktora tez çalışmasında karbon nanotüp ile zenginleştirilmiş naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların yorulma davranışları ve kırılma tokluğu araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ağırlıkça % 1 oranında karbon nanotüp katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların kayma dayanımını %34, tokluğu %79

oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapıştırıcıya karbon nanotüp katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli ile birlikte yapıştırma bağlantılarının yorulma ömürlerinin uzadığı da tespit edilmiştir.

Kinloch (1987) tarafından yapıştırma işlemi ifade edilirken kullanılan teoriler incelenmiş, yapışma işleminin bir tek teori ile açıklanamayacağı ve yapışma işleminin ancak birkaç teorinin bir araya gelmesiyle açıklanabileceği belirtilmiştir. Bu eserde apıştırılan yüzeylerin hazırlığı ve kürleşme olayları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapışma olayının mekaniği ve çeşitli yükleme durumlarındaki davranışları bu eserde incelenmiştir (Kinloch, 1987).

Yapıştırma konusu ile ilgili yayınlanan çalışmalarda yapışma olayının iyi bir şekilde sağlanabilmesi için ise gerekli olan koşullar aşağıdaki maddelerle açıklanmıştır (Petrie, 1975; Petrie, 2000; Ebnesajjad, 2010).

- Yapıştırıcının yapıştırılacak yüzeylere uygun olarak seçilmesi,
- Bağlantı türünün uygun olarak ve özenli seçilmesi
- Yapıştırılacak yüzeylerin kalitesi, pürüzlülükleri ve temizliği
- Yüzeylerin ıslanabilirlik performansının değerlendirilmesi
- Islatma (Uygun miktarda seçilmiş yapıştırıcıyı uygulamak ve yaymak),
- Uygun fiziksel koşullarda yapıştırma işlemi (Yapıştırıcıların montajı, parçaları sabit bir aparatla kontrollü bir basınçta ve kürleme.
- Yapışma süreçlerinin kimyasal olarak tam ve doğru olarak yapılması(kürleşme veya katılaşma).

Tüm beklentileri karşılayan mükemmel bir yapıştırıcı bulmanın imkânsız olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, kullanıcının uygun seçimi yapması için birkaç temel soruyu izleyerek cevap vermesi gerekir (Ebnesajjad ve Landrock, 2014).

- Ne tür bir yüzey yapıştırıcı ile iletişime geçecek?
- Yapıştırıcının hangi sıcaklık aralığında çalışması bekleniyor?
- Yapıştırıcı hangi kimyasallara maruz kalacak?
- Yapıştırıcı hangi fiziksel ve çevresel koşullara maruz kalacak? (ıslak, nemli, gün ışığı)

Yapışma, yapıştırıcılar, takviyeli yapıştırıcılar ile ilgili daha binlerce çalışma yapılmıştır. Ancak literatür taramasının daha anlaşılır hale gelebilmesi için yapılan çalışmaları bu tez çalışmasının basamaklarına göre anlatmak daha uygun olacaktır. Bu

yüzden bu tezde literatür taraması aşağıdaki başlıklar altında daha detaylı olarak incelenmiştir.

## **2.1. Yapışma ve Yapıştırma Bağlantıları**

(Kinloch, 1987) yapıştırmayı yapıştırılacak malzeme ile yapıştırıcı arasındaki çekicilik olarak tanımlamıştır.

(Skeist, 2012) ise Yapıştırmayı iki ya da daha fazla yüzeyin birbirine bağlanması olarak tanımlamıştır.

(Adams ve ark., 1997) yayınladıkları Mühendislikte Yapısal Yapıştırma Bağlantıları kitabında yapıştırıcıları şu şekilde açıklamıştır. Birden fazla malzemeyi birleştirip üzerinde çeşitli yükler taşıyabilen ve yapıların mukavemetini iyileştiren malzemelere yapıştırıcı denir.

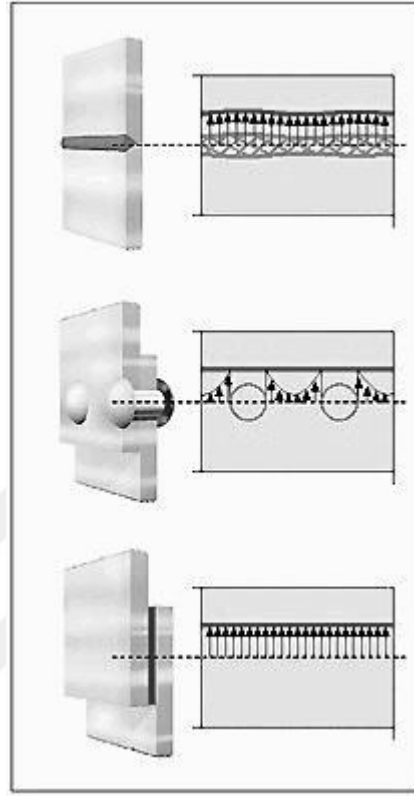
Yapıştırma işlemi iki veya daha fazla malzemeyi bir araya getirirken uygulanan avantajlı bir yöntem olmasına rağmen bazı durumlarda dezavantajlı bir yöntemdir. Bu yüzden bu konu iki ayrı başlık altında incelenmiştir.

### **2.1.1. Yapıştırma bağlantılarının avantajları**

Yapıştırma bağlantılarının diğer bağlantı türlerine göre sağladığı birçok avantaj vardır. Bunlar;

- Birbirinden farklı iki malzemeyi tek bir tür yapıştırıcı ile birleştirmek mümkündür.
- Cıvata, perçin veya kaynak gibi diğer birleştirme yöntemlerine göre daha hafif bir bağlantı türüdür.
- Pürüzsüz yüzeyler elde etmek mümkündür.
- Ucuz, etkili bir yöntemdir.
- Çok büyük iş gücü veya ekipman gerektirmez.
- Bazı durumlarda Isı ve elektriğe karşı yalıtıcıdır.
- Cıvata, perçin veya kaynak gibi diğer birleştirme yöntemlerine göre korozyona karşı yüksek dirence sahiptir
- Yapıştırılacak yüzeylere zarar vermeden birleştirme özelliğine sahiptir.

- Birleşim bölgesinin alanını fazladır.(Sharpe, 1966; Petrie, 1975; Ekrem, 2015)
- Kaynak ve perçinleme yöntemine göre gerilme dağılımı daha homojendir (Corporation, 1995)(Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Bağlantılarda oluşan gerilme dağılımları (Corporation, 1995)

### 2.1.2. Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları

Yapıştırma bağlantılarının diğer bağlantı türlerine göre sağladığı bazı dezavantaj vardır. Bunlar;

- Diğer birleştirme yöntemleriyle kıyaslandığında çalışma sıcaklık seviyeleri düşüktür.
- Yapıştırıcılar sonuçta bir polimer olduğundan dolayı taşıyabilecekleri yük kapasiteleri civata, perçin veya kaynak bağlantılarına göre daha düşük olabilir.
- Yapıştırma işlemi diğer birleştirme yöntemlerine göre nispeten daha dikkat isteyen narin bir işlemdir. İyi bir yapışma ortamının ve yüzeylerin temiz olması şartı yapıştırmanın sanayideki kullanımını kısıtlamaktadır.

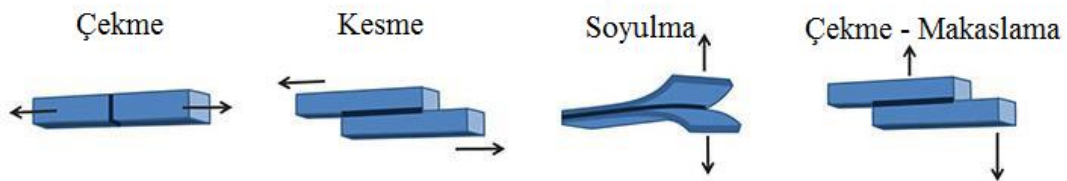


- Bunun dışında yapıştırma kalitesinin birçok parametreye bağlı olması bu işlemin uygulanabilirliğini azaltmaktadır.
- Yapıştırma işleminde kullanılan malzeme eğer termoset ise kürleştirici ajanı zehirli olabilir ve yapıştırma işlemini uygulayan çalışanlar için sağlık sorunlarına yol açabilir.

### 2.1.3. Yapıştırma bağlantılarında oluşabilecek gerilmeler

Tüm yapıştırma bağlantıları, kullanım süresi boyunca çok çeşitli yüklere maruz kalır. Bu güçler altında, durumlarını sürdürmeleri beklenir. Şekil 2.2 de gösterildiği gibi Yapıştırma bağlantılarda dört temel yükleme gerilmesi tipi vardır (Petrie, 2006). Bunlar;

- Çekme
- Kesme
- Soyulma
- Çekme – Makaslama

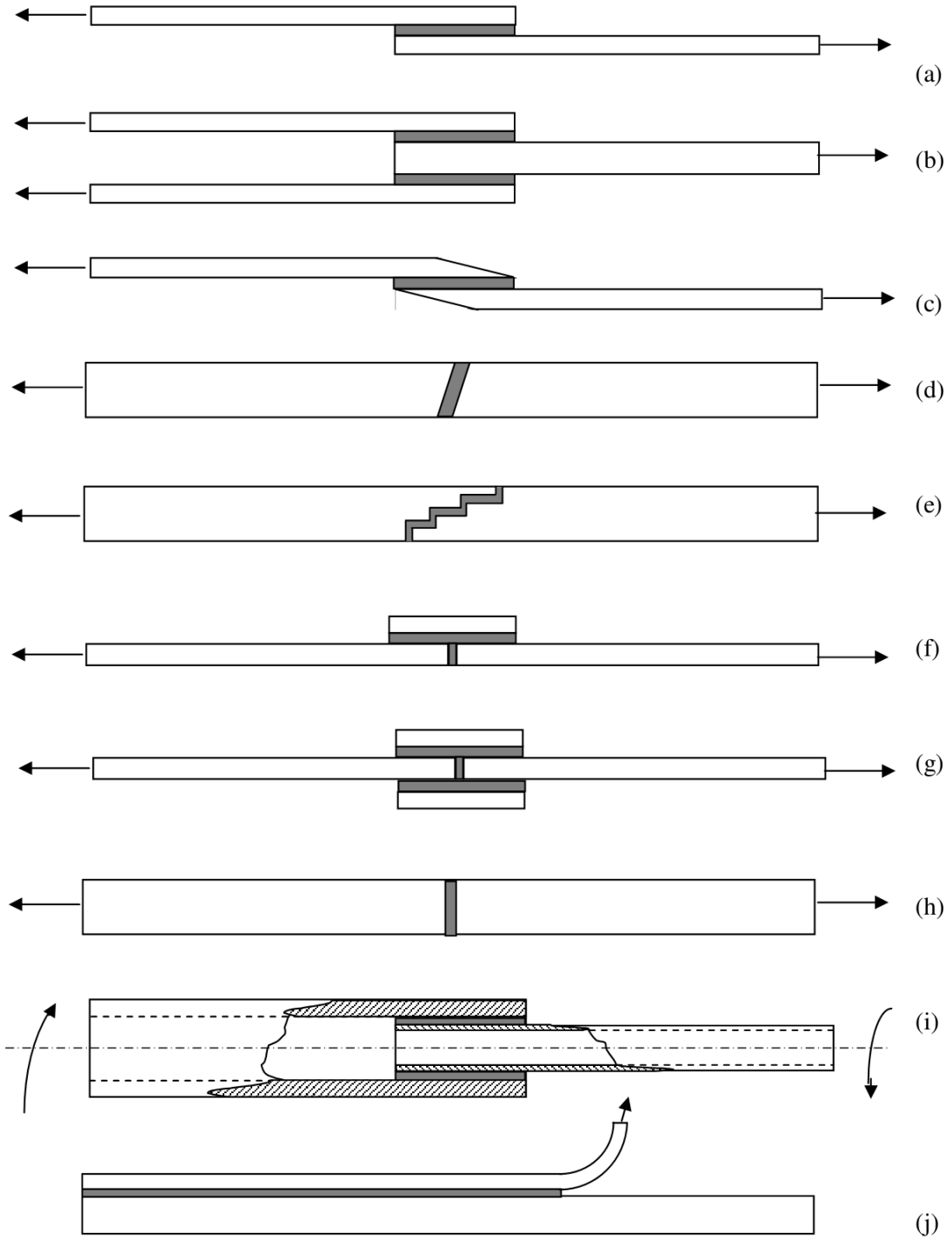


Şekil 2.2 Yapıştırma bağlantılarındaki gerilme tipleri

### 2.1.4. Yapıştırma bağlantı türleri

Yapıştırma bağlantılarının kalitesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden birisi de gerilmeyi mümkün olduğunca homojen bir şekilde dağıtmaktır. Farklı yükleme tipleri için farklı bağlantı türleri mevcuttur. Ancak en çok kullanılanlardan bir tanesi de tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarıdır (Da Silva ve ark., 2011).

Bağlantı şekillerine göre yapıştırma çeşitleri Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.

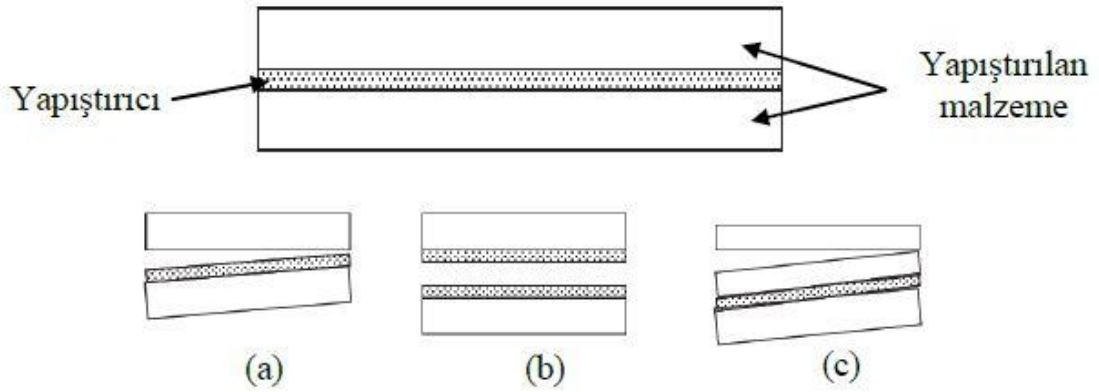


Şekil 2.3. Yapıştırma bağlantı tipleri, (a) Tek taraflı bindirme bağlantısı, (b) çift taraflı bindirme bağlantısı, (c) Pahlı bindirme bağlantısı, (d) açılı bindirme bağlantısı, (e) kademeli bağlantı, (f) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı, (g) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı, (h) alın bağlantısı, (i) silindirik bindirmeli bağlantı, (j) soyulma (Adams ve ark., 1997; Ekrem, 2015)

### 2.1.5. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar türleri

Yapıştırma bağlantılarında genel olarak üç hasar türü vardır.(Şekil 2.4.)Bunlar;

- Adhezyon hasarı,
- Kohezyon hasarı
- Yapıştırılan malzemelerin kohezyon hasarıdır.



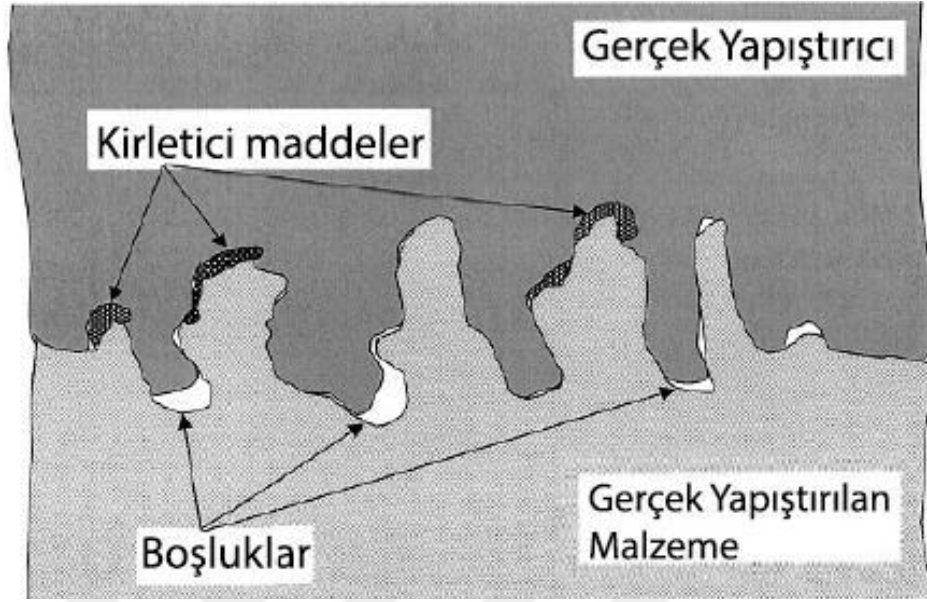
Şekil 2.4. Yapıştırma bağlantılarında hasar modeli; (a) adhezyon hasarı (b) kohezyon hasarı (c) yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarı (Ekrem, 2015)

Bir yapıştırma bağlantısında bu üç hasar tipi 2 si veya hepsi aynı anda da oluşabilir. Genellikle bu üç hasarın beraber gözüktüğü yapıştırıcılarda daha fazla çatlak ve kırılma oluşacağı için ve çatlağın izlediği yol uzarken oluşan yeni yüzey alanı artacağı için daha çok enerji harcanmış olur. Yapıştırma bağlantısını kırmak için harcanan enerji miktarı arttıkça yapışma kalitesinin arttığı söylenebilir.

#### 2.1.5.1 Adhezyon hasarı

İki malzemenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetlerine adhezyon denir Adhezyon hasarı yapıştırılan yüzey ile yapıştırıcı arasında yeterli yapışma sağlanmadığında oluşan hasardır. Bu hasarda yapıştırıcı yapıştırılan yüzeyden kolayca sıyrılır. Yüzey kalitesinin, pürüzlülüğünün yapışma işlemi için yeterli olmaması ve yüzeyin temiz olmaması adhezyon hasarının başlıca nedenlerindedir. Bunun yanı sıra yapıştırma sırasında eğer yüzey iyi ıslatılmaz ise yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında yeterli bağ kurulamayacağından adhezyon hasarı kaçınılmaz hale gelir. Belirli

bir viskoziteye sahip yapıştırıcının yüzeyi ıslatabilmesi ve kirleticilerin etkisi Şekil 2.5. de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Yapıştırıcının yüzeye uygulanmasının temsili görseli (Pocius, 2012)

### 2.1.5.2. Kohezyon hasarı

Kohezyon hasarı ise yapıştırma bağlantısına gerilme uygulandığında kırılmanın yapıştırıcı malzemenin kendisinde meydana gelmesi olayıdır. Oluşan gerilmeler sonucu yapıştırıcı molekülleri arasındaki bağ zayıflayarak kopar. Kohezyon hasarının gözüküğü bir kırılmada yapıştırılan yüzeylerin kalitesinin iyi olduğu, yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki yapışmanın iyi olduğu söylenebilir. Bununla beraber hasar yapıştırıcı malzeme üzerinde gerçekleştiği için, yapıştırıcının geliştirilmesi veya değiştirilmesi gerekir.

### 2.1.5.2. Yapıştırılan malzemelerin kohezyon hasarı

Yapıştırılan malzemenin veya yüzeyin kohezyon hasarında ise kırılma yapıştırıcı üzerinde veya yüzeyde olmaz aksine malzemenin kendisinde olur. Bu durumda yapıştırılan yüzeylerin kalitesinin iyi olduğu, yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki yapışmanın iyi olduğu ve yapıştırıcının yeterli miktarda yük taşıyabildiği anlaşılır.

Bu kırılma çeşidinde yapışmanın mükemmel olduğu kanısına varmak doğru olur ancak mükemmel yapışma mükemmel bağlantı anlamına gelmez. Mükemmel bağlantı

en fazla yükü taşıyabilen bağlantıdır. Eğer birkaç hasar çeşidi birlikte oluşursa kırılmalar için harcanan enerji artacağından tokluk da artabilir.

### 2.1.6. Yapıştırma bağlantılarında yüzey hazırlama işlemleri

İyi bir yapıştırma bağlantısı olabilmesi için yapıştırıcının kalitesi kadar yapıştırılacak yüzeylerin de kalitesi önemlidir. İyi bir yapışma için yapıştırıcının yapışma yüzeylerindeki kir, kimyasal atık, yağ ve benzeri maddelere temas etmeden direkt olarak yapışma yüzeyine temas etmesi gerekir.(Zhang ve ark., 2008)

Farklı malzeme yüzeyler için farklı yüzey hazırlama teknikleri geliştirilmiştir. En çok tercih edilen yüzey hazırlama teknikleri aşağıdakilerdir.(Snogren, 1974)

- Buhar ile yağ giderme
- Ultrasonik buhar ile yağ giderme
- Çözücüyle Silme
- Asitle dağlama
- Aşındırma

### 2.1.7. Yapıştırıcı türleri

Elbette her konuda olduğu gibi yapıştırıcılarda çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabilir.(Maaliyet, faz, kimyasal yapı, işlevsellik vb.) Ancak bilimsel olarak en doğru sınıflandırma kimsasal yapılarına göre sınıflandırma olacaktır.

Yapıştırıcı olarak çok çeşitli malzeme ana malzeme kullanımı yapıştırıcıların kimyasal olarak sınıflandırmasını zorlaştırmaktadır. Ancak yine de çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır (Kaya, 2004).

Kimyasal bileşimlerine göre yapıştırıcıların dört ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar;

- Termoset yapıştırıcılar,
- Termoplastik yapıştırıcılar,
- Elastomer yapıştırıcılar
- Hibrid yapıştırıcılardır.

### **2.1.7.1 Termoset yapıştırıcılar**

Termoset yapıştırıcılar içlerinde güçlü çapraz bağlar olan kürleştikten sonra tekrar eritemeyen plastik yapılardır (Kıralp ve ark., 2006). Bu yapıştırıcılar ısıya maruz kaldıklarında erimek yerine yanmaya başlar ve yapıları bozular. Siyanoakrilat, poliester, üre formaldehit, melamin formaldehit, fenolikler, epoksi, poliimid, fenol formaldehit birer termosettir.

Bu tez çalışmasında yapıştırıcı olarak epoksi seçilmiştir. Çünkü epoksi reçineler, içerisinde bulunan güçlü çapraz bağları sayesinde oldukça mukavemetli yapıştırıcılardır.

Epoksinin bir başka üstün özelliği ise çeşitli kimyasallara karşı direnci ve kürleştirme işlemi sırasında az miktarda uçucu madde salınımıdır.(Ebnesajjad, 2010; JC, 2010)

### **2.1.7.2 Termoplastik yapıştırıcılar**

Termoplastikler kürleşmeyen ısıtıldıklarında eriyebilen polimerlerdir. Selüloz asetat, selüloz, asetat butirat, selüloz nitrat, polivinil asetat, polivinil klorür, polistiren, polivinil alkol, poliamid, akrilik fenoksi, polietilen, polipropilen örnek olarak gösterilebilir. En çok kullanılanları ise naylon (PA), polipropilen (PP), selüloz, polietilen (PE), politetra floretilen (PTFE), polivinil klorürler (PVC), akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve polikarbonat (PC) dir (Ekrem, 2006).

### **2.1.7.3 Elastomer yapıştırıcılar**

Diğer adı kauçuk olan elastomerler, elastik malzemelerdir. Kimyasal zincirleri arasında az miktarda çapraz bağ olmasından dolayı, çekme gerilmesine maruz kaldıklarında yüksek oranda elastiklik gösteren elastomerler gerilme kaldırıldığında eski haline dönerler. Çekme gerilmesi etkisiyle zincirler birbiri üzerinden hareket eder ancak çapraz bağların deformasyonu önlemesinden dolayı gerilme kaldırılınca zincirler ilk pozisyonlarına dönerler (Saçak, 1998).

Akrilik ve poliakrilatlar; bütül, polibüten ve poliizobütülen polimerleri; etilen kopolimerleri; fluoropolimerler (PTFE gibi); silikon, poliüretan ve polieter blok amid

(PEBA); stiren bütadien kauçuğu (SBR); vinil ve polivinilklorür örnek elastomer olarak verilebilir.(Ekrem, 2006)

#### **2.1.7.4 Hibrid yapııştırıcılar**

Hibrid yapııştırıcılar termoset, termoplastik veya elastomer reçinelerin birleştirilmesiyle yapılır. Hibrid yapııştırıcılar, her bileşenin en faydalı özelliklerinden istifade etmek için geliştirilmiş yapııştırıcılardır. Dağınık fazlı hibritler ve reaktif hibritler olmak üzere iki grupta incelenirler.(Ekrem, 2015)

## **2.2 Nanoteknoloji ve Yapıştırmadaki Yeri**

Günümüzde insanoğlu yaşamını devam ettirebilmek ve hayat kalitesini arttırabilmek için sürekti teknoloji geliştirmektedir. Bunlardan biri de nanoteknolojidir.

Nano kelimesi asıl olarak Yunancadan gelmektedir. Yunancada “nanos” cüce demektir. Nano da cüceden türetilmiş çok küçük anlamına gelen bir sıfattır. Nano kelimesinin tam Türkçe karşılığı ise milyarda bir dir. Bir başka deyişle  $10^{-9}$  anlamına gelir.

Türk Dil Kurumu ise nanoteknolojiyi “maddenin atomik veya moleküler boyutta işlenerek mikroskobik boyutta ürünlerin üretilmesi yöntemi” olarak tanımlamıştır.

Nanoteknoloji, literatürde genellikle “nano ölçeklide teknoloji” olarak tanımlanmaktadır, moleküler ölçekte sistemler ile ilgilenen disiplinlerarası bir bilimdir (Fearn ve Ray, 2016).

Bilim ve teknolojideki baş döndürücü bir değişim oranına sahip olan nanoteknoloji, son yıllarda araştırmacılar arasında büyük popülerlik kazanmıştır. Bu yeni alanda, malzemelerin yapılarını nano boyutta işleyerek makro ölçekli ürünler tasarlamak ve üretmek mümkündür (Aqel ve ark., 2012).

Genel olarak 0.1- 100 nanometre boyutundaki malzemeler nanomalzeme olarak adlandırılır. Nanoteknolojinin birçok alanda kullanımı vardır. Nanokompozit, nanoelektrik, nanobiyoteknoloji bunlardan bazılarıdır (Thostenson ve ark., 2001; Thostenson ve ark., 2005).

(Luther, 2006) tarafından yazılan nano bilimi ve nanoteknoloji üzerine uluslararası strateji ve öngörü raporunda nano malzemelerin çeşitli kullanım alanları Çizelge 2.1 de verilmiştir

Çizelge 2.1. Değer zincirinin farklı aşamalarında nanomalzemelerin potansiyel uygulamaları (Luther, 2006)

Temel Ürünler	Ara Ürünler	Uygulamalar
<b>İnorganik nanoparçacıklar</b> Metal oksitler, nanokiller, metaller, fullerenler, karbon siyahı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalizörler</li> <li>• Membranlar ve filtreler</li> <li>• Pigmentler ve boyalar</li> <li>• Aşındırıcılar</li> </ul>	<b>Tıp</b> İlaç taşıma, biyoçipler, implantlar, antimikrobiyeller
<b>Organik nanoparçacıklar</b> Polimer dispersiyonları, ilaçlar, boyalar, makromoleküller (dendrimerler vs.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doldurucular</li> <li>• İlaç ve ilaç taşıyıcılar</li> <li>• Metal yapraklar</li> <li>• Tekstil fiberler</li> </ul>	<b>Kozmetik</b> Güneş kremleri, dudak boyaları, diş macunları
<b>Nanogözenekli malzemeler</b> Aerojeller, zeolitler vs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İşaretleyiciler</li> <li>• Superiletkenler</li> </ul>	<b>Otomobil</b> Lastikler, yapım malzemeleri, katalizörler, ön camlar, yakıt pilleri
<b>Nanokompozitler</b> Seramikler, metaller/alaşımlar, polimerler, fonksiyonelleştirilmiş nanoparçacıklar, organik yaniletkenler, ferroakışkanlar vs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz depolama</li> <li>• Paketleme</li> <li>• Kaplayıcılar</li> <li>• Termoelektrik</li> <li>• İletken polimerler</li> <li>• Organik yaniletkenler</li> </ul>	<b>Bilişim Teknolojisi</b> Veri depolama, ekranlar, lazer- diotlar, cam fiberler
		<b>Enerji</b> Güneş pilleri, bataryalar, yakıt pilleri, kapasitörler

Bir matris yapı içerisinde nano boyutlardaki parçacıkların dağıtılması ile oluşan yapılara ise nanokompozitler denir (Kornmann, 2001).

Nano boyuttaki parçacıklarla takviye edilen kompozit malzemeler mekanik olarak daha çok performans gösterebilmektedirler (Kut ve Güneşoğlu, 2005).

Naopartüküllerin yapıştırıcılara ilavesi ile birlikte yapıştırıcıların mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler olmuştur. Az miktarda nanopartikül takviyesi ile yapıştırıcıların mekanik, termal, elektriksel ve termo-mekanik özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu nanopartiküller yapıştırıcının çevresel faktörlerden etkilenmesini de azaltmıştır.

### 2.2.1 Nano Grafen Partikülleri

Grafen, atomik ölçekli, iki boyutlu karbon allotropudur (Ferrari ve ark., 2006). Grafit, kömür, karbon nanotüpler ve fullerenler de dahil olmak üzere diğer allotropların temel yapıtaşdır. Grafen nano partiküllerin ısı iletkenlikleri ve mekanik rijitlikleri olağan üstü seviyededir (Stankovich ve ark., 2006).

Grafen, malzeme bilimi ve yoğun madde fiziği ufkunda hızla yükselen bir yıldızdır ve kısa geçmişine rağmen, yeni fizik ve potansiyel uygulamaları çoktan ortaya çıkmıştır (Geim ve Novoselov, 2010).



Son araştırmalar, tek bir grafen katmanının olağanüstü elektirik iletkenliği özelliğine sahip olduğunu göstermiştir.(Berger ve ark., 2004; Novoselov ve ark., 2004; Novoselov ve ark., 2005; Zhang ve ark., 2005b; Zhang ve ark., 2005c; Stankovich ve ark., 2006)

Grafen levhalar, karakteristik özelliklerini geliştirmek amacıyla polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Son araştırmalar, grafenin fiziksel özelliklerinin, Çizelge 2.2 'de gösterilenle karşılaştırıldığında oldukça iyi olduğunu göstermiştir (Kuilla ve ark., 2010; Kuilla ve ark., 2011; Verdejo ve ark., 2011).

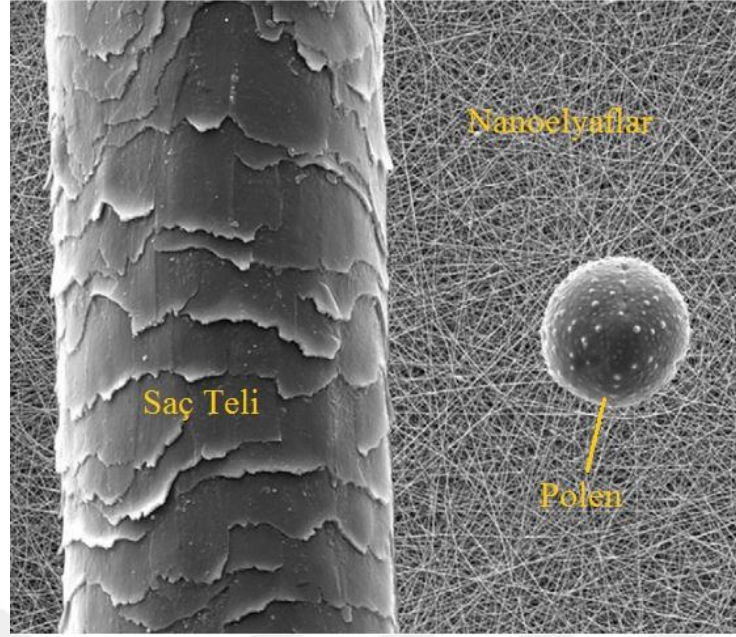
Çizelge 2.2. Bazı nano dolguların fiziksel özellikleri

Malzemeler	Çekme Dayanımı	Oda Sıcaklığındaki Isı İletkenliği (W/Mk)	Elektrik iletkenliği (S/m)
Grafen	120 – 140 GPa	4840 – 53000	7200
Karbon nanotüp	60 – 150 GPa	3500	3000 – 4000
Nano Boyutta Çelik	1769 MPa	5 – 6	$1.35 \times 10^6$
HDPE	18 – 20 Mpa	0.46 – 0.52	Yalıtkan
Kauçuk	20 – 30 Mpa	0.13 – 0.142	Yalıtkan
Kevlar	3620 Mpa	0.04	Yalıtkan

### 2.2.2. Nanoelyaf

Literatürde nanoelyaf tanımı hakkında birkaç farklı tanım vardır. (Fujihara ve ark., 2005) nanoelyafları; çapları mikro metre altındaki boyutlarda üretilen elyaflar ya da diğer adıyla fiberler olarak tanımlamıştır. Bundan farklı olarak (Hagewood, 2004) ise nanoelyafları; çapları 100 nanometreyi geçmeyen fiberler olarak tanımlamıştır.

Nanoelyafın çapının idrak edilebilmesi için bir saç teliyle ve bir polen le kıyaslanmıştır. (Şekil 2.6. )



Şekil 2.6. Nanoelyafların polen ve saç teli ile kıyaslanması (Peijs, 2018)

### 2.3. Elektrospın yöntemi ve nanoelyaf üretimi

Elektro-eğirme ya da diğer adı elektrospon tarihi, William Gilbert' in 1500'lerin sonlarındaki basit deneysel çalışmalarına dayanmaktadır. William Gilbert uygun şekilde doldurulmuş kehribar parçanın suya yaklaştığı zaman, suyun önce bir koni oluşturduğunu, daha sonra oluşturulmuş koninin sonundan küçük damlacıkların atıldığını gözlemlemiştir. (Reneker ve Fong, 2006; Tucker ve ark., 2012)

Elektrospon ya da diğer adı ile elektro-eğirme, oluşturulan bir voltaj farkı ile nanoelyaf üretimine verilen teknik adıdır. Maliyeti düşük, uygulanması kolay olan bir tekniktir.

Elektrospon elektriksel olarak yüklenmiş eritilmiş ya da çözücüde çözülmüş sıvı polimerin elyaf haline getirilmesi olarak da tanımlanabilir (Andrady, 2008).

Elektrospon yöntemi oldukça yaygın bir nanoelyaf üretim tekniğidir. Çünkü uygulanması kolaydır ve uzun, sürekli lifler elde edilebilir (Selbes, 2013).

Elektrospon, bir polimer çözeltisi ve toplama yüzeyi arasında yüksek elektriksel alan oluşturarak, polimer çözeltilerinden veya eritmelerinden sürekli ve ultra ince nanoelyaf üretmenin en kolay yollarından biridir. (Li ve Xia, 2004)

Polimer malzemedan nanoelyaf üretimi için elektrospon etkili bir yöntemidir. Elektrospon ile birçok polimer malzemedan çapları 3 nanometreden 'den 1

mikrometreye kadar değişen çaplarda nanoelyaflar elde edilmektedir (Huang ve ark., 2003).

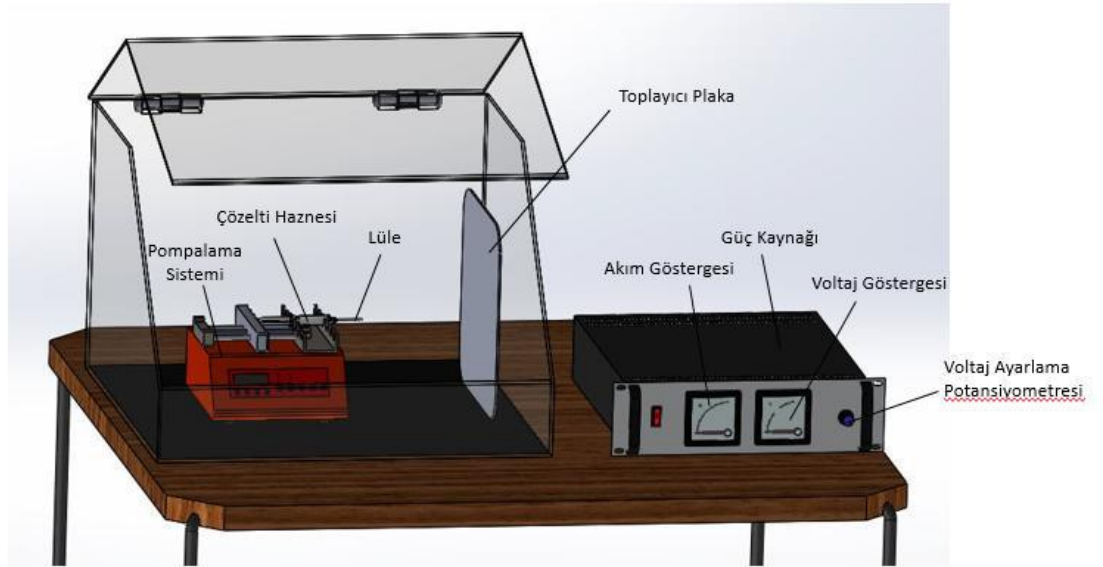
### 2.3.1. Elektros-pin yönteminin bileşenleri

Elektros-pin yöntemi dört ana bileşenden oluşur. Bunlar;

- Yüksek voltajlı bir güç sağlayıcı
- Bir şırınga pompası,
- Bir şırınga ve iğnesi
- Toplayıcı (kolektör)

Toplayıcı geometrilerine göre, lif yönelimleri değişebilir. Kolektör düzlemsel ise, rasgele veya dokunmamış lifler elde edilir. Bununla birlikte, silindirik olarak şekillendirilmiş ve aksenal olarak dnmekteyse bu sefer paralel hizalı (yönlendirilmiş) lifler elde edilir.

Elektros-pin yönteminin temsili görseli Şekil 2.7. dedir.



Şekil 2.7. Elektros-pin yönteminin temsili görseli (Şenyurt, 2017)

### 2.3.2. Elektros-pin yöntemine etki eden faktörler

Elektros-pin yöntemiyle üretilen nanoelyafların özelliklerinin ve homojenliklerinin istenilen şekilde ayarlanabilmesi için bu yöntemin parametrelerine

vakıf olmak gerekir. Genel olarak elektrospin yöntemine etki eden üç ana parametre vardır. Bunlar;

- Laboratuvar ortamı parametreleri
- Yöntem parametreleri
- Solüsyon parametreleridir.

### **2.3.2.1. Laboratuvar ortamı parametreleri**

Ortam parametreleri elektrospin yapılan ortamın yönetime ne derece uygun olduğunu ifade eder. Ortamın sıcaklığı ve nemi elektrospin işlemine direkt olarak etki eder. Yüksek voltajın etkisiyle şırınga ucunda Taylor konisi oluşumu ile beraber polimer solüsyonu toplayıcı plakaya doğru harekete başlar. Bu sırada ortamın sıcaklığı eğer çok yüksek olursa solüsyon içerisindeki çözücü daha çabuk buharlaşacağından fiberler havadayken katılaşmaya başlayabilir ve formları bozulabilir. Eğer ortam sıcaklığı çok düşük seviyelerde olur ise bu sefer solüsyon içerisindeki çözücü çok az buharlaşır ve polimer sıvı halde toplayıcıya ulaşır. Toplayıcıya sıvı halde ulaşan polimer solüsyonunu çözücü kimyasalını barındırdığı için toplayıcı plaka üzerindeki diğer nanoelyafları tekrar çözerek yapılarını bozar.

Ortamın nemi yani rutubeti de bu işlem için çok önemlidir. Öyle ki yağışlı havalarda laboratuvar ortamı nem oranı artınca fiber kalitesinde değişimler gözlenmiştir. Havada bulunan yüksek miktardaki nem solüsyon içerisindeki çözücünün buharlaşmasını engellediğinden dolayı polimer solüsyonu toplayıcıya sıvı halde ulaşır. Bu yüzden ortamın nemini uygun seviyede tutmak elektrospin yönteminin püf noktalarından bir tanesidir.

### **2.3.2.2. Yöntem parametreleri**

Yöntem parametreleri elektrospin işlemi yapılırken deney düzeneği üzerinde değiştirilebilen parametrelerdir. Bunlar;

- Toplayıcı ile Şırınga ucu arasındaki voltaj farkı
- Solüsyon pompama hızı
- Solüsyon sıcaklığı
- Toplayıcı (Kolektör) tipi

- Lüle ya da şırınga iğnesi çapı
- Toplayıcı (kolektör) ile şırınga iğnesi arası uzaklık

Toplayıcı ile Şırınga ucu arasındaki voltaj farkı elektrospin işlemindeki en temel parametredir. Voltaj eğer uygulanması gerekenden çok daha düşük seviye de olursa şırınga iğnesi ucunda Taylor konisi oluşumu gözlemlenmez ve polimer solüsyonu toplayıcıya doğru yönlenmez. Dolayısıyla fiber oluşumu görülmez. Voltaj eğer uygulanması gerekenden biraz az miktarda uygulanırsa fiber oluşur ancak hem çapları kalın olur hem de fiber oluşumu yavaş gözlenir. Bazı fiberler ise karşı tarafa ulaşmadan yere düşebilir. Voltaj eğer uygulanması gerekenden biraz daha yüksek seviyede uygulanırsa fiber oluşumu daha hızlı olur ancak fiber çapları küçülür ve hızdan dolayı fiberlerde kopmalar meydana gelebilir. Solüsyon besleme hızı düşük kalabilir. Ayrıca voltaj çok yüksek olduğundan dolayı şırınga ucundaki solüsyon damlası bir anda toplayıcıya bütün olarak ulaşabilir. Oluşan bu yapılara drop denir. Karşı tarafa bütün olarak damlayan solüsyon bölgedeki önceden oluşmuş diğer fiberleri tekrar çözerek yapılarını bozabilir. Eğer voltaj uygulanması gerekenden çok daha yüksek seviyede ise bu sefer metal şırınga ucu ile toplayıcı arasında ark oluşumu gözlenebilir. Bu durum yüksek voltaj güç kaynağının kısa devre olarak ömrünü tamamlamasına veya sigortasının atmasına neden olabilir.

Solüsyon pompama hızı elektrospin işlemindeki bir diğer önemli husustur. Toplayıcıya giden solüsyon miktarı ile şırınganın pompalanma miktarı birbirine eşit olmalıdır. Eğer pompalama işlemi çok yavaş olursa şırınga ucundaki solüsyon biter Taylor konisi ve nanofiber oluşumu şırınga ucuna yeni solüsyon gelinceye kadar sona erer. Ayrıca şırınga iğnesinin ucuna gelmesi gereken solüsyon geciktikçe şırınga iğnesinin ucundaki artık solüsyon kurumaya başlar ve şırıngada tıkanıklara sebep olur. Diğer taraftan eğer pompama hızı çok yüksek olursa bu sefer şırınga ucundaki solüsyon damlası çok büyür ve yerçekimine yenik düşer. Bu sırada nanofiber oluşumu yeni Taylor konisi oluşumuna kadar sona erer ve sürekli nanofiber üretimi sağlanamamış olur. Ayrıca yere damlayan solüsyon malzeme israfına ve laboratuvara gereksiz çözücü buharlarının yayılmasına neden olur.

Solüsyon sıcaklığı çözücülerin erken veya geç buharlaşmasına neden olacağından dolayı elektrospin tekniğine etki eden bir diğer işlem parametresidir.

Toplayıcı tipi nanoelyaf yönlendirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Düz levha şeklindeki toplayıcılarda elde edilen nanoelyaflar karışık konumlanırken aksel olarak dönen bir tambur toplayıcıda nanoelyafları yönlendirmek ve hizalamak mümkündür.

Şırınga iğnesinin çapı iğne ucunda birikecek olan damlacığın boyutunu doğrudan etkileyeceğinden dolayı nanoelyafi üretimine doğrudan etki eder. Çok ince uçlu iğnelerde tıkanmalar olabilir iken çok kalın uçlarda ise damlacık büyük olacağından solüsyon yere damlayabilir.

Toplayıcı (kolektör) ile şırınga iğnesi arası uzaklık en az voltaj parametresi kadar önemli bir parametredir. Şırınga ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe çok uzak olduğunda solüsyon oluşan voltajdan etkilenmeyebilir ve çözelti direk yere damlayabilir. Bunun yanı sıra eğer mesafe çok kısa tutulursa oluşan gerilim ile beraber solüsyon toplayıcıya damlacık halinde sıçrayabilir. Damlacık halinde toplayıcıya sıçrayan solüsyonun içinde çözücü olduğundan dolayı toplayıcı üzerinde hali hazırda bulunan nanoelyaflar tekrar çözünür ve nanoelyaflar zarar görür. Ayrıca Şırınga ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe çok kısa tutulursa ark oluşumu da gözlenebilir. Bu durum yüksek voltaj güç kaynağının kısa devre olarak ömrünü tamamlamasına veya sigortasının atmasına neden olabilir. Bu sebeplerden dolayı Şırınga ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe uygun değerde (optimum) olmalıdır.

### 2.3.2.2. Solüsyon parametreleri

Solüsyon parametreleri elektrospin işlemi yapılırken deney düzeneği üzerinde değiştirilebilen parametrelerdir. Bunlar;

- Viskozite
- Elektrik iletkenliği
- Yüzey gerilimi

Elektrospin işlemi yapılırken kullanılan solüsyonun viskozitesi çok yüksek olursa solüsyon damlacık halinde toplayıcıya sıçrayabilir. Aynı zamanda üretilen elyaf çapı da artar (Huang ve ark., 2001; Jiang ve ark., 2004; Zhang ve ark., 2005a; Zhao ve ark., 2005).

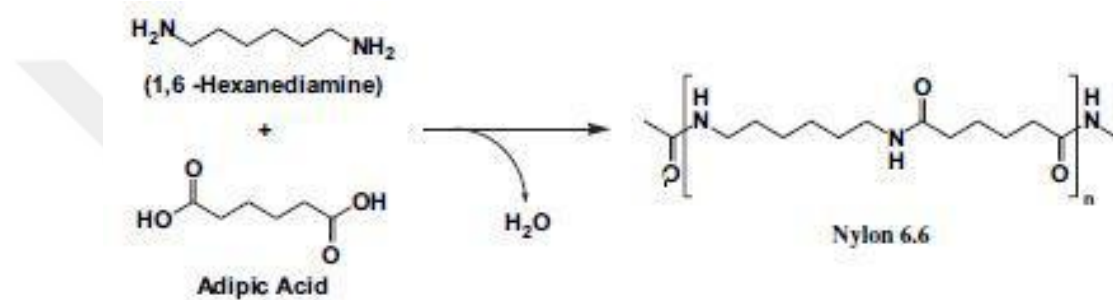
Elektrospin işlemi yapılırken solüsyonun iletkenliği çok az olursa nanoelyafi oluşumu gözlemlenmeyebilir veya oluşan nanoelyafların çapları kalın olabilir. Solüsyonun iletkenliği arttıkça nanoelyafi çapında azalma meydana gelir (Zeng ve ark., 2003; Koski ve ark., 2004).

Yüzey geriliminin ise elyaf morfolojisiyle bir bağlantısı yoktur ancak yüksek yüzey gerilimi jeti kararsızlaştırır (Hohman ve ark., 2001; Mit-uppatham ve ark., 2004; Zhang ve ark., 2005a; Zuo ve ark., 2005).

## 2.4. Naylon 6.6 nanoelyaflar

Elektrospın işleminde birçok polimer kullanılabilir. Ancak üstün özellikleri nedeniyle naylon (Naylon 6, Naylon 6.6, Naylon 12 ve Naylon 4,6) kullanımı oldukça yaygındır (Pan, 2014).

Naylon 6.6, adipik asit ile [HOOC-(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-COOH] heksametilen diamin [H<sub>2</sub>N-(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>-NH<sub>2</sub>] polimerizasyonu işlemi sonucunda oluşur. Zincir yapısı aşağıdaki Şekil 2.8. de görülmektedir. Amin ve amin 6 karbonlu yapıda olduğu için naylon 6.6 olarak isimlendirilir. (Bernstein ve ark., 2005)



Şekil 2.8. Naylon 6.6 oluşum süreci (Bernstein ve ark., 2005)

Naylon; dişliler, rulmanlar, elyaflar, hava yastıkları, tekerlekler, halatlar, taşıyıcı bantlar ve hortumlar gibi birçok sektörde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Naylon 6.6 nanoelyaflarını karakterize etmek için çok sayıda araştırma faaliyeti gerçekleştirilmiştir.(Abbasi ve ark., 2014)

(YANILMAZ, 2018) çalışmasında naylon 6,6 nanoelyaf membranları değişik oranlarda çözücü sistemleri kullanarak elektrospın yöntemiyle üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuçlar çözücü tipini nanoelyafı çapında kayda değer etkisi olduğunu göstermiştir. Solüsyonda kullanılan formik asit miktarı arttıkça nanoelyafı çapları azalmış ve mukavemet artmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada cıvata veya kaynak bağlantısının uygun olmadığı Alüminyum 2024-T3 malzemesi ile karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi yapıştırıcıların geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Yapıştırma numunesi olarak tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantıları seçilmiştir. Bir tarafı alüminyum diğer tarafı kompozit olan bu yapıştırma bağlantılarının yapıştırıcısı olan epoksi içerisine naylon 6.6 nanoelyaflar konularak yapıştırıcının taşıyacağı yükün arttırılacağı öngörülmüştür. Ayrıca bu nanoelyafların içerisine %1, %3, %5 oranlarında grafen konularak yapıştırma bağlantılarının daha fazla güçlendirilmesi hedeflenmiştir.

Üretilen yapıştırma numunelerin bazıları saf suya maruz bırakılmış ve saf suyun bu yapıştırıcılar üzerindeki etkisi etraflıca incelenmiştir. Saf su içerisinde bekletme süreleri 1, 7, 14, 21 gün olarak seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında üretim bölümü 6 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Nanoelyaf üretimi
- Kompozit malzemelerin üretimi ve yüzey hazırlıkları
- Alüminyum malzemelerin yüzey hazırlıkları
- Yapıştırma işlemi
- Suda şartlandırma işlemleri
- Eksenel çekme testi deneyleri

İlk aşamaya nanoelyaf üretimiyle başlamıştır. İlk önce saf naylon 6.6 nanoelyaflar üretilmiş ve optimizasyonu yapılmıştır. Üretilen nanoelyaflar elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiş ve düzgün nanoelyaf üretildiğinden emin olunduktan sonra grafen katkılı nanoelyaflar üretilmiştir. Grafen katkılı nanoelyaf de aynı şekilde karakterize edilmiştir. Ayrıca grafen katkılı nanoelyafların geçirimli elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri alınmış ve nanografenlerin naylon 6.6 nanoelyaflar içerisindeki dağılımları gözlemlenmiştir. Böylece konulan nano grafen oranına göre grafenlerin elyaflar içerisinde toplanıp toplanmadığı tespit edilmiştir.

İkinci aşamada karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler vakum infüzyon yöntemi ile İzoreel firmasında üretilmiştir. Üretilen karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarında kullanılacağı için ASTM D



5868-01 standartlarına uygun olacak biçimde 25x101.6 mm boyutlarında kesilmiştir. Aynı şekilde 2 mm kalınlığındaki Alüminyum 2024-T3 alaşımlı levhalar tedarik edilmiş ve onlar da ASTM D 5868-01 standartlarına uygun olacak biçimde 25x101.6 mm boyutlarında kesilmiştir. 25x101.6 mm boyutlarındaki karbon elyaf takviyeli kompozit numunelerinin yapıştırma bölgeleri 180 grid kâğıt zımpara ile kayma gerilmesi eksenine dik olacak bir şekilde zımparalanmış ve aseton ile iyice temizlenmiştir.

Üçüncü aşamada Alüminyum numunelerin yüzeyleri ise dağlama ve anodizasyon işlemlerine tabi tutularak yapıştırmaya elverişli hale getirilmiştir. Karşılıklı olarak hem karbon elyaf kompozit hem de alüminyum yüzeyleri hazırlandıktan sonra yapıştırma işlemine geçilmiştir.

Dördüncü aşamada yüzeyleri hazırlanan alüminyum ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler tek taraflı bindirmeli yapıştırma işlemine tabii tutulmuştur.

5 grup numune hazırlanmıştır. Bunlar;

- Saf epoksi ile yapıştırılmış numuneler
- Naylon 6.6 takviyeli epoksi ile yapıştırılmış numuneler
- %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksi ile yapıştırılmış numuneler
- %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksi ile yapıştırılmış numuneler
- %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksi ile yapıştırılmış numunelerdir.

Beşinci aşamada ise her gruptan üçer numune alınarak içinde saf su bulunan beş farklı bidona konulmuş ve sırasıyla 1, 7, 14, 21 gün bekletilmiştir. Diğer taraftan bir her gruptan üçer numune hiç suya maruz bırakılmamış ve referans numune olarak bir kenara ayrılmışlardır.

Altıncı aşamada numunelerin suda bekleme süreleri tamamlandıktan sonra hiç şartlanmamış numunelerle birlikte aksel çekme testine tabii tutulmuştur. Çekme deneyleri sonucunda sonuçlar incelenmiştir. Böylece hem naylon 6.6 ve grafen katkılı naylon 6.6 takviyesinin yapıştırıcıya katkısı hem de saf suyun tüm bu yapıştırıcılar üzerine etkisi detaylı olarak incelenmiştir.

Çekme deneyleri sonucunda tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeyleri optik ve elektron mikroskobu ile gözlemlenmiş, hasar mekanizmaları detaylı olarak açıklanmıştır. Böylece nanoelyafların ve grafenlerin yapıştırma bölgelerindeki etkinlikleri ve rolleri ifade edilmiştir.

### 3.1. Kullanılan Malzemelerin özellikleri

Bu tez çalışmasında kullanılan malzemeler temel olarak 5 adettir Bunlar;

- Epoksi ve kürleştiricisi
- Naylon 6.6
- Grafen
- Alüminyum
- Karbon fiber kompozit

### 3.1.1. Epoksi Reçine ve Kürleştiricisi

Bu çalışmada yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi reçinesi, HEXION tarafından üretilen, piyasada bulunan MGS-L285 laminasyon reçinesidir (Şekil 3.1.)



Şekil 3.1. HEXION MGS-L285 laminasyon reçinesi ve kürleştiricisi

23 ° C'de 600-900 MPa viskoz olan bu reçine %80-90 diglisidil eter bisfenol A ve %10-20 alifatik diglisidil eter içerir. Sertleştirici MGS-H285, yine aynı şirket tarafından üretilen % 70-90 sikloalifatik amin ve% 10-30 polioksil alkil aminin bir karışımıdır. Yoğunluğu 0,94-0,97 g / cm<sup>3</sup>, karışım oranı ağırlıkça 100: 40 ± 2 kısımdır. Reçinenin mekanik verileri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 0.1. Epoksi reçinenin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Eğilme muk. (MPa)	Çekme muk. (MPa)	Basma muk. (MPa)	Darbe muk. (MPa)	Elastiklik (kPa)	Kopma uzaması [%]
Epoksi	1.18-1.20	110-120	70-80	120-140	45-55	3.0-3.3	5.0-6.5

### 3.1.2. Naylon 6.6

Naylon 6.6, yüksek gerilme modülüne, dayanıma sahiptir ve mükemmel düşük sıcaklık tokluğu ve darbe dayanımı özelliklerine sahiptir. Ayrıca, piyasada bulmak çok kolaydır ve ucuzdur. Bu özelliklerden dolayı, epoksinin yapışkan özelliklerinin daha da artacağı beklentisi göz önüne alınarak, epoksi reçinesi ile birlikte kullanılmıştır. Çizelge 3.2 de bu tezde kullanılan Sigma Aldrich marka naylon 6.6 nın mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Naylon 6.6 nın mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme modülü (GPa)	Çekme muk. (MPa)	Çalışma aralığı (°C)	Poisson oranı	Kopma uzaması [%]
Naylon 6.6	1.14	3.2	80-90	-30/+180	0.41	60

### 3.1.3. Grafen

Bu çalışmada, epoksinin mekanik özelliklerini geliştirmek için epoksiye takviye olarak naylon 6.6, naylon 6.6 ya da dolgu maddesi olarak çeşitli ağırlıklarda grafen eklenmiştir. Grafenlerin yüzeyleri karbon nanotüplerin yüzeyine benzer, ancak düzlemsel geometrileri vardır. Bu çalışmada kullanılan grafen Alfa Aesar markadır. 1 gramı 500 metrekare Alana sahiptir.

Grafenin mekanik özellikleri, Çizelge 3.3. de belirtilmiştir.(Lee, 2013)

Çizelge 3.3. Grafenin özellikleri (Lee, 2013)

Özellikler	Şarj taşıyıcı hareketliliği (cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	Termal iletkenlik (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Geçirgenlik (%)	Çekme muk. (GPa)	Young modülü (TPa)	Yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)
Grafen	200,000	~5000	~97.4	~1100	~1	~2630

### 3.1.4. Alüminyum

Bu çalışmamızda Alüminyum Labkon firmasından satın alınmıştır. Havacılık sektöründe kullanılan bu özel ısıtım uygulanmış alaşım Al 2024- T3 olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan alüminyumun bileşenleri Çizelge 3.4. de verilmiştir. Kullanılan alüminyumun mekanik özellikleri Çizelge 3.5. de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Al 2024- T3 ün bileşenleri

Bileşenler	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
% Ağırlık	90.7- 94.7	Maks. 0.1	3.8- 4.9	Maks. 0.50	1.2- 1.8	0.3- 0.9	Maks. 0.5	Maks. 0.15	Maks. 0.25	Maks. 0.15

Çizelge 3.5. Al 2024- T3 ün Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikleri	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Elastiklik Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Kayma Modülü (GPa)
	330	480	11	73 GPa	0.33	28

### 3.1.5. Karbon fiber kompozit

Karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakalar IZOREEL firmasından temin edilmiştir. 200 gr/m<sup>2</sup> lik 8 kat 0°/90° lik düz dokuma kumaş karbon fiber kumaştan üretilmiştir.

### 3.2 Nanoelyaf Üretimi

Naylon 6.6, yüksek mekanik mukavemet, sertlik, yüksek sıcaklık ve/veya kimyasal direnç gerektiğinde sıklıkla kullanılan bir polimer çeşididir. Bu yüzden bu tez çalışmasında mekanik özellik bakımından iyi olan naylon 6.6 nanoelyaf haline getirilmiş ve yapıştırma bölgelerinde mukavemet artırıcı takviye elamanı olarak kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında Sigma-Aldrich (Merck) marka granül naylon 6.6 kullanılmıştır. Kullanılan Naylon 6.6'nın teknik özellikleri çizelge 3.6. da verilmiştir.

Yapıştırma bağlantılarında kullanılacak naylon 6.6 nanoelyaf lar Konya Teknik Üniversitesi laboratuvarlarındaki elektro eğirme cihazı ile üretilmiştir (Şekil 3.2.).

Çizelge 3.6. Kullanılan Naylon 6.6'nın teknik özellikleri

Özellik	Değer
Formülü	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Yoğunluk (gr/mL)	1.14
Erime Noktası (°C)	250-260 °C
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	400 °C
Elastisite modülü (GPa)	3.2
Çekme Mukavemeti (MPa)	80-90
Poisson oranı	0.41
Maksimum uzama (%)	60



Şekil 3.2. Elektro eğirme nano elyaf üretim sistemi

Yapıştırma bağlantılarında kullanılmak üzere dört farklı tür naylon 6.6 nanoelyaf üretilmiştir (Çizelge 3.7.).

Çizelge 3.7. Üretilen nanoelyaf türleri

Numune Kodları	Numune Açıklaması
N6.6	Saf naylon 6.6 nanoelyaf
%1G+N6.6	Ağırlıkça %1 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaf
%3G+N6.6	Ağırlıkça %3 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaf
%5G+N6.6	Ağırlıkça %5 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaf

### 3.2.1. Saf Naylon 6.6 nanoelyafların üretimi

Nanoelyafların üretimi esnasında öncelikle ürünün sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Fenoller ve asetik asit Naylon 6.6 yı çözebilir. Bu çalışmada naylon 6.6 yı çözmek için temel olarak formik asit kullanılmıştır. Grafen eklenmiş solüsyonda grafenlerin çözelti içerisinde daha çok dağılabilmesi için formik asitin yanı sıra kloroform da kullanılmıştır. Bu yüzden saf naylon 6.6 çözeltisinin hazırlanabilmesi için her ne kadar sadece formik asit yeterli olsa da grafenli solüsyonlara kloroform konulduğu için iki tür nanoelyafı birbiriyle kıyaslamak adına saf naylon 6.6 çözeltisinin içerisine de kloroform konulmuştur.

Saf naylon 6.6 nanoelyafların üretimi için hazırlanan solüsyona her 1 gram naylon 6.6 için 7 mililitre formik asit ve 3 mililitre kloroform konulmuştur. Naylon 6.6

granüllerini solüsyon içerisinde tamamen çözebilmek için solüsyon balıklı manyetik karıştırıcıda 5-6 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Homojenlik tamamen sağlandıktan sonra solüsyon 5 mililitrelik şırıngaya çekilmiş ve elektrospin cihazının şırınga pompası kısmına yatay olarak bağlanmıştır.

Şırınga pompasının kalibrasyonu şırınganın çap ölçüsüne göre yapılmış ve 0.35 mililitre/dakika hıza göre ayarlanmıştır. Bu sırada yüksek voltaj güç kaynağından çıkan “+“ uçlu kablo timsah yardımı ile şırınganın metal iğnesine sabitlenmiştir. Yüksek voltaj güç kaynağından çıkan- uçlu kablo ise toplayıcıya bağlanmıştır. Bu tez çalışmasında tamburlu döner toplayıcı kullanılmıştır. Tamburlu toplayıcılar nanofiberleri bir doğrultuya yönlendirmek ve hizalamak için kullanılır. Ancak bu tezdaki nanofiberlerin üretiminde tamburlu toplayıcının kullanılmasının amacı nanofiberleri yönlendirmek değil toplayıcıya homojen bir nanofiber dağılımı sağlamak içindir. Bu yüzden tambur yüksek hızda döndürülmemiş hızı yaklaşık 3-5 devir/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu derece yavaş dönen tambur üzerine nanoelyafların yönlenebilmesi mümkün değildir.

Elektrospin işlemi yapılırken tamburun üzeri alüminyum folyo ile kaplanmış, nanoelyafların alüminyum folyo üzerinde toplanması sağlanmıştır. Elektrospin işlemi bittikten sonra alüminyum tambur üzerinden sökülmüş ve nanoelyaflar da alüminyum üzerinden cımbız ve spatül yardımı ile ayrılmıştır.

Elektrospin işlemi sırasında oda sıcaklığı 25 °C olarak ayarlanmıştır. Yüksek voltaj güç kaynağı ise 20 kV olacak şekilde ayarlanmıştır. Şırınga ucu ile toplayıcı tambur arası mesafe ise yaklaşık olarak 13 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Tüm bu ayarlamalar belirli optimizasyonlar yapıldıktan sonra belirlenmiştir. “Nanoelyaf üretimi ve optimizasyonu” başlığı altında bu konu detaylı olarak anlatılmıştır.

Saf naylon 6.6 nanoelyaf üretimi için aşağıdaki üretim safhaları adım adım uygulanmıştır.

- Formik asit, naylon 6.6 ve kloroformun karıştırılması ve solüsyon elde edilmesi,
- Toplayıcı tamburun alüminyum folyo ile kaplanması,
- Solüsyonun 5 mililitrelik şırıngaya çekilmesi
- Şırınganın besleme pompasına konulması
- Şırınga ucu ile toplayıcı arası mesafenin ayarlanması
- Şırınganın 0,35 ml/saat olarak pompalanmaya başlatılması.
- Yüksek voltaj güç kaynağının pozitif kutbunun şırınga ucuna bağlanması

- Yüksek voltaj güç kaynağının negatif kutbunun toplayıcıya bağlanması
- Tamburun çalıştırılması
- Güvenlik için cihazın kapağının kapatılması
- Yüksek voltaj güç kaynağının 20 kilovolta ayarlanması
- Şırınga ucunda damlacık oluşumu ve Taylor konisi yapısının gözlemlenmesi,
- Nanoelyaf oluşumunun gözlemlenmesi
- Belirli aralıklarla güç kaynağı kapatılarak şırınga ucunun peçete ile temizlenmesi
- 15 saat sonunda 5 ml litrelik solüsyonun bitmesiyle beraber cihazın kapatılması
- Üzerinde nanoelyaf bulunan alüminyum folyonun tambur üzerinden ayrılması
- Nanoelyafın alüminyum folyo üzerinden dikkatlice sıyırılması

### 3.2.2. Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyafın Üretimi

Nanoelyafın üretimi esnasında öncelikle ürünün sıvı hale getirilmesi gerekmektedir. Saf naylon 6.6 granüllerinin nasıl solüsyon haline getirildiği bir önceki başlıkta açıklanmıştır. Bu bölümde ise grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyafın üretimi açıklanacaktır.

Bu tez çalışmasında 3 tür grafenli naylon 6.6 nanoelyaf üretilmiştir. Bunlar;

- Ağırlıkça %1 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaf
- Ağırlıkça %3 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaf
- Ağırlıkça %5 grafen ilave edilmiş N6.6 nanoelyaftır.

Yukarıda maddeler halinde belirtilen bu 3 tür grafenli naylon 6.6 nın da üretim şekli aynıdır. Sadece grafen miktarları farklıdır. Tez yazımında sadelik ve anlaşılabilirlik esas alındığından ve benzer paragrafların tekrar edilmesinden kaçınıldığı için grafenli grafenli naylon 6.6 nın üretimleri tek seferde anlatılmıştır. Çünkü aralarındaki tek fark grafen miktarının yüzdesinin değişmesidir.

İlk olarak grafen tozları, hazırlanacak olan solüsyona göre her solüsyon için naylon 6.6 ağırlığının %1, %3 veya %5 oranında tartılmıştır. Tartılan grafen tozu; 30 ml formik asitin hacimce %30 u olan 9 mililitre kloroformun içerisine eklenmiştir. Grafen tozunu kloroforma eklememizin sebebi; grafen tozunun formik asitli N6.6 solüsyonuna ekmeden önce kloroform içinde dağıtma işlemi yapmak ve bir nevi ön homojenleştirme işlemi gerçekleştirmektir.

Kloroforma eklenen Grafen tozları ultrasonik proflu homejenizatörde 10 dakika karıştırıldıktan sonra daha önceden hazırlanan ve 3 gram naylon 6.6 ile 21 mililitre formik asit içeren naylon 6.6 solüsyonuna eklenmiştir. Böylece grafenin solüsyon içinde başlangıç itibari ile daha homojen olması sağlanmıştır. Daha sonra oluşan yeni solüsyon (Şekil 3.3.) ultrasonik proflu homejenizatörde 50 kHz frekansta 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

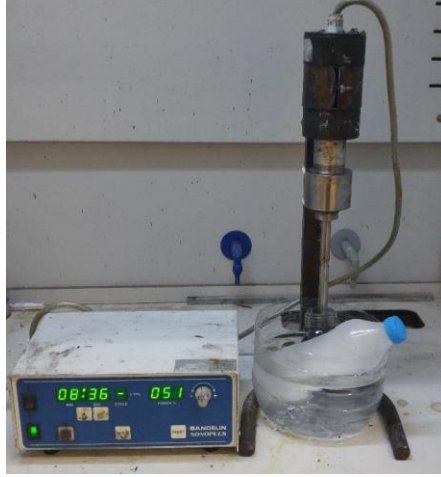
Solüsyonlar hazırlandıktan sonra 5 ml lik şırıngaya çekilip elektrospin cihazına bağlanmıştır ve nanoelyaf üretimi gerçekleştirilmiştir. Elektro eğirme yöntemi ile üretilen nano elyafların içerisine katılan grafen sebebiyle elyafların renginde koyulaşma olmuştur. Bu koyulaşma solüsyondaki grafen miktarı arttıkça daha da artmıştır.



Şekil 3.3. Grafenli naylon 6.6 solüsyonu

Bu esnada roflu ultrasonik proflu homejenizatörün ses dalgalarıyla çalışmasından ötürü ısı açığa çıkmaktadır. Çıkan bu ısı ile solüsyonun sıcaklık artışının önlenmesi amacıyla sıcaklığı dengelemek için solüsyonun altına buz banyosu yerleştirilmiştir. ( Şekil 3.4.)





Şekil 3.4. Buz banyosunda ultrasonik proflu homejenizatörde karıştırma işlemi

Homojenlik tamamen sağlandıktan sonra solüsyon 5 mililitrelik şırıngaya çekilmiş ve elektrospin cihazının şırınga pompası kısmına yatay olarak bağlanmıştır.

Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf üretimi için aşağıdaki üretim safhaları adım adım uygulanmıştır.

Formik asit ile naylon 6.6 nın karıştırılması

Grafen tozunun tartılıp kloroform ile karıştırılması

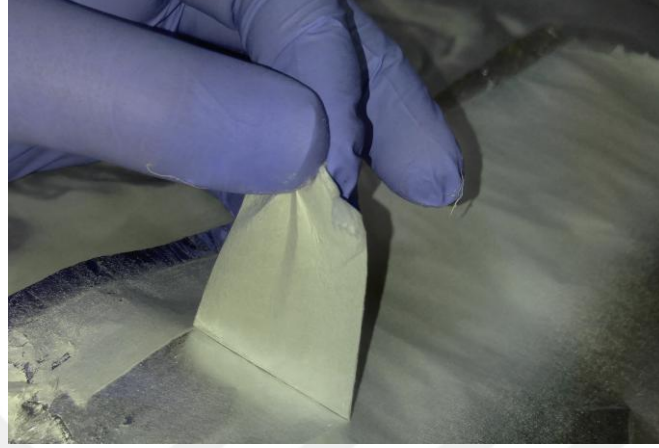
Grafenli kloroformun naylon 6.6 solüsyonuyla karıştırılması

Elde edilen solüsyonun ultrasonik proflu homejenizatörde karıştırılması

Toplayıcı tamburun alüminyum folyo ile kaplanması,

- Solüsyonun 5 mililitrelik şırıngaya çekilmesi
- Şırınganın besleme pompasına konulması
- Şırınga ucu ile toplayıcı arası mesafenin ayarlanması
- Şırınganın 0,35 ml/saat olarak pompalanmaya başlatılması.
- Yüksek voltaj güç kaynağının pozitif kutbunun şırınga ucuna bağlanması
- Yüksek voltaj güç kaynağının negatif kutbunun toplayıcıya bağlanması
- Tamburun çalıştırılması
- Güvenlik için cihazın kapağının kapatılması
- Yüksek voltaj güç kaynağının 20 kilovolta ayarlanması
- Şırınga ucunda damlacık oluşumu ve Taylor konisi yapısının gözlemlenmesi,
- Nanoelyaf oluşumunun gözlemlenmesi
- Belirli aralıklarla güç kaynağı kapatılarak şırınga ucunun peçete ile temizlenmesi

- 15 saat sonunda 5 ml litrelik solüsyonun bitmesiyle beraber cihazın kapatılması
- Üzerinde nanoelyaf bulunan alüminyum folyonun tambur üzerinden ayrılması
- Nanoelyafın alüminyum folyo üzerinden dikkatlice sıyırılması (Şekil 3.5.)



Şekil 3.5. Nanoelyafın alüminyum folyo üzerinden dikkatlice sıyırılması

### 3.3. Nanoelyaf Optimizasyonu

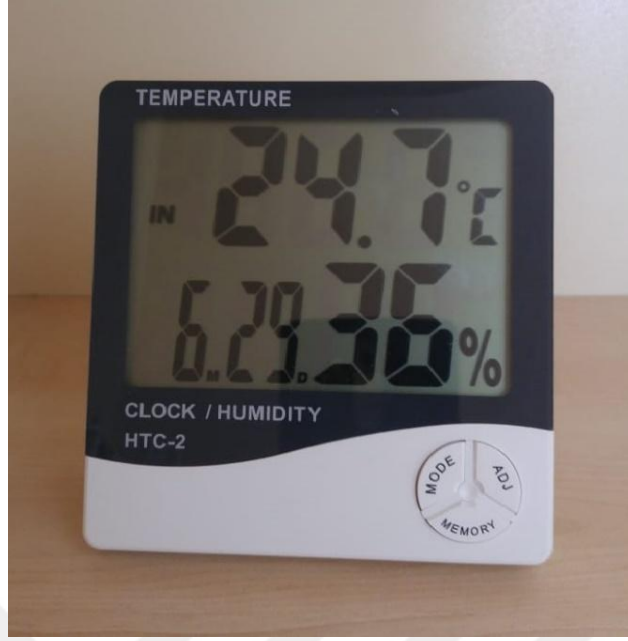
Elektrospın yöntemiyle üretilen nanoelyafların özelliklerinin ve homojenliklerinin istenilen şekilde ayarlanabilmesi için bu yöntemin parametrelerine vakıf olmak gerekir. Genel olarak elektrospın yöntemine etki eden üç ana parametre vardır. Bunlar;

- Laboratuvar ortamı parametreleri
- Yöntem parametreleri
- Solüsyon parametreleridir.

Bu tez çalışmasındaki tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarında takviye elemanı olarak kullanılan nano elyaf bu parametreler göz önüne alınarak üretilmiştir.

#### 3.3.1. Laboratuvar ortamı Optimizasyonu

Tez çalışması için kullanılan Konya Teknik Üniversitesinde bulunan elektrospın cihazının ısıtıcısı ve/veya iklimlendiricisi bulunmamaktadır. Bu yüzden standart laboratuvar ortamında üretim gerçekleştirilmiştir. Ancak laboratuvar ortamı elektronik nem ölçen bir termometre ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.6.). Konya Teknik Üniversitesi Laboratuvarlar ortamındaki hava yaklaşık olarak %30-40 nem içermektedir ve 23-26 °C sıcaklık aralığındadır.



Şekil 3.6. Nem ölçerli termometre

### 3.3.2. Solüsyon Optimizasyonu

Solüsyon literatüre bağlı kalınarak hazırlanmıştır. Ancak yine de çözelti de değişiklikler yapılarak denemeler yapılmıştır.

Nanoelyaf üretimi için 1 gram naylon 6.6, 7ml formik asit ve 3ml kloroform karışımının içerisine ilave edilmiş ve manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından solüsyon şırıngaya çekilerek tamburlu elektrospın cihazına bağlanmış ve nano elyaf üretimi gerçekleştirilmiştir.

Solüsyonun 3 bileşeni bulunmaktadır. Solüsyondaki asıl çözücü formik asittir. Kloroform nanopartiküllerin daha iyi dağılmasını sağlamak için kullanılmıştır. 1 gram naylon 6.6, 7ml formik asit ve 3ml kloroform kullanılarak oluşturulan ideal çözeltinin oranları değiştirildiğinde elektrospın olayında değişiklikler meydana gelmiştir. Çözeltide çözünen naylon 6.6 polimeri miktarı arttırıldıkça veya tam tersi çözücüler azaltıldığında yüksek viskoziteli solüsyon elde edilmiş ve elektrospın işlemi sırasında tamburum üstünde lekeler (droplar) tespit edilmiştir. Bu durum tamamen solüsyonun yoğunluğu ile alakalıdır. Yüksek yoğunluklu ya da yüksek viskoziteli solüsyon elektrospın sırasında yüksek voltaj altında nanoelyaf formunu almak yerine kohezyon kuvvetlerinin de etkisiyle bir arada kalmış ve toplayıcıya bütün olarak sıçramıştır. Toplayıcıdaki bu lekeler (droplar) solüsyonun sıvı halde damlacık şeklinde karşıya

vardığının ispatıdır. Droplar sıvı halde toplayıcıya sıçradıklarında içerisinde barındırdıkları asit toplayıcı üzerinde hali hazırda bulunan nanoelyaf polimerleri tekrar çözerek nanoelyaf formunu bozmaktadır. Bu şekilde sağlıklı bir nanoelyaf üretimi gerçekleştirmek mümkün değildir.

Solüsyonda çözünen naylon 6.6 polimer miktarı azaltıldıkça veya tam tersi çözücülerin miktarı artırıldıkça düşük viskoziteli solüsyon elde edilmiştir. Düşük viskoziteli solüsyon şırıngaya çekilip elektrospin başlatıldığında düşük yoğunluktan dolayı kohezyon kuvvetlerinin azalmasıyla birlikte Taylor konisi oluşumu gözlenmemiştir. Bunun yanı sıra adezyon kuvvetlerinin de azalmasıyla beraber şırınga ucundan çıkan solüsyonun direk yere damladığı ve elektrospinin başarısız olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda açıklanan tüm bu sebeplerden dolayı nanoelyafı üretimi sırasında literatüre bağlı kalınmış ve 1 gram naylon 6.6, 7ml formik asit ve 3ml kloroform karışım hazırlanmış ve tüm üretimler bu oran üzerinden gerçekleşmiştir. Solüsyonların kapakları açılıp kapandığında bir miktar asit buharlaştığından ve solüsyonun viskozitesi değişebileceğinden dolayı 3 gram naylon 6.6, 21ml formik asit ve 9ml kloroform kullanılarak hazırlanan solüsyonlar en fazla iki kez kullanılmış ve asitin uçmasıyla oranın değişebilmesi ihtimaline karşı kontrollü deneyler yapabilmek adına şişede kalan solüsyonlar kullanılmamıştır.

### 3.3.3. Yöntem optimizasyonu

Yöntem parametreleri elektrospin işlemi yapılırken deney düzeneği üzerinde değiştirilebilen parametrelerdir. Bunlar;

- Toplayıcı ile Şırınga ucu arasındaki voltaj farkı
- Solüsyon pompama hızı
- Solüsyon sıcaklığı
- Toplayıcı (Kolektör) tipi
- Lüle ya da şırınga iğnesi çapı
- Toplayıcı (kolektör) ile şırınga iğnesi arası uzaklıktır.

Bu tez çalışmasında üretilen nanoelyaflar tüm bu parametrelerin optimize edilmesiyle üretilmiştir.

### 3.3.3.1 Toplayıcı ile Şırınga ucu arasındaki voltaj optimizasyonu

Bu tez çalışmasında elektrospinleme işlemi yapılırken voltaj literatüre bağlı kalınarak 19-21 kV arasında tutulmuştur. Daha düşük voltajlar denenmiştir. Ancak şırınga ucundan polimer sıvısının yere damladığı gözlemlenmiş ve Taylor konisinin oluşumu net olarak gözlemlenememiştir. 21-22 kV değerlerinin üzerine çıkıldığında ise elektrospin cihazında ark oluşumu gözlemlenmiş ve ark sesleri duyulmuştur. Bu durum yüksek voltaj güç kaynağının kısa devre olarak ömrünü tamamlamasına veya sigortasının atmasına neden olabileceği için şırınga ucu ile toplayıcı arasındaki voltaj değeri 21 kV üzerine çıkarılmamıştır.

N6.6 polimer çözeltisi elektrospin için optimum voltaj değerlerinin 19-21 kV olduğu tespit edilmiş üretimler bu aralıkta gerçekleştirilmiştir. Üretilen nanofiberlerin SEM görüntüleri alındığında nanofiber oluşumları net olarak gözlemlendiği için ve daha düşük ve daha yüksek voltaj değerlerinde üretim problemleri yaşandığı için tüm nanofiberler yaklaşık 19-21 kV voltaj değerinde üretilmiştir.

### 3.3.3.2. Solüsyon pompama hızı optimizasyonu

Solüsyon pompalama hızı optimizasyonu; düzgün, homojen ve sürekli nanoelyaf üretmek için önemli bir parametredir.

Yapılan deneylerde pompalama işlem hızı çok yavaş olduğunda şırınga ucundaki solüsyon damlacığı fiber oluşumu ile birlikte bitmiş; Taylor konisi ve nanofiber oluşumu, şırınga ucuna yeni solüsyon gelinceye kadar sona ermiştir. Ayrıca şırınga iğnesinin ucuna gelmesi gereken solüsyon geciktikçe şırınga iğnesinin ucundaki artık solüsyon kurumaya başlamış ve şırıngada tıkanıklara neden olmuştur.

Diğer taraftan yapılan deneylerde eğer pompama işlem hızı çok yüksek olduğunda ise bu sefer şırınga ucundaki solüsyon damlası çok büyümüş ve yerçekimine yenik düşmüştür. Bu sırada nanofiber oluşumu, yeni Taylor konisi oluşumuna kadar sona ermiştir. Böylece sürekli nanofiber üretiminin sağlanamadığı kanısına varılmıştır. Ayrıca yere damlayan solüsyon malzeme israfına ve laboratuvara gereksiz çözücü buharlarının yayılmasına neden olmuştur.

Yukarıda anlatılan olumsuz olayların yaşanmaması için elektrospin deneyleri yüzlerce kez saatlerce incelenmiş ve hem naylon 6.6 nanoelyaflar için hem de grafen

katkılı nanoelyaf için hazırlanan solüsyonların pompalama hızı 0.35 mililitre/saat olarak ayarlanmıştır.

### 3.3.3.3. Solüsyon sıcaklık optimizasyonu

Konya Teknik Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan elektrospin cihazında solüsyon ısıtmak veya soğutmak için ayrıca bir sistem bulunmamaktadır. Dolayısı ile elektrospin işlemleri hem naylon 6.6 nanoelyaflar için hem de grafen katkılı nanoelyaf için oda sıcaklığındaki solüsyonlarla yapılmıştır.

Ancak, solüsyon yeni hazırlandığında manyetik karıştırıcı solüsyonu bir miktar ısıttığı için solüsyonun viskozitesinin değiştiği tespit edilmiştir. Sıcaklıkla beraber viskozitesi değişen solüsyonun elektrospin işlemi sırasında çokça yere damladığı tespit edilmiştir. Bu yüzden her nanoelyafi üretiminde hazırlanan solüsyon öncelikle oda sıcaklığına getirilmiş, nanoelyafi üretimine sonra geçilmiştir.

### 3.3.3.4. Toplayıcı (Kolektör) tipi seçimi

Hem naylon 6.6 nanoelyaflar için hem de grafen katkılı nanoelyaf üretimi için toplayıcı olarak iki tip toplayıcı denenmiş ve arasından seçim yapılmıştır.

İlk olarak düz bir plaka üzerine alüminyum folyo sabitlenmiş ve üretime başlanmıştır. Üretilen nanoelyafların homojen olarak dağılmadığı, plakanın ortasında nanoelyaf miktarının fazla olduğu ve köşelerde nanoelyafi oluşumun az olduğu gözlemlenmiştir. Makro boyuttaki bu homojensizlik tedirginlik yaratmıştır. Zaten birçok parametreye bağlı olan yapıştırma işleminde homojen kalınlıkta olmayan nanoelyafların kullanımı riskli bulunmuştur.

İkinci olarak dönen bir tambur üzerine alüminyum folyo sabitlenmiş ve tambur kayda değer bir hızda döndürülerek üretime başlanmıştır. Tambur üzerinde oluşan nanoelyafların makro boyutta homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Ancak yüksek hızda dönen nanoelyaflar birbirlerine paralel olarak yönlendirilmiştir. Bu yönlendirme sonucunda nanoelyafların alüminyum folyo üzerinden ayrılması oldukça zorlaşmıştır.

Tambur, hızı önemsenmeyecek derecede yavaş döndürüldüğünde ise hem makro boyutta homojen nanoelyaf dağılımı gözlemlenmiş hem de nanoelyafların alüminyum folyodan ayrılması yönlendirilmedikleri için kolay olmuş ve ayırma işlemleri sırasında nanoelyaflar zarar görmemiştir.

### 3.3.3.5. Şırınga iğnesi çapı optimizasyonu

Bu tez çalışmasında hem naylon 6.6 nanoelyaflar için hem de grafen katkılı nanoelyaf üretimi için eczanelerde bulunan insanlar için kullanılan 5 mililitrelik klasik yeşil iğne uçlu şırıngalar kullanılmıştır. Nanoelyaf üretimi başarılı olunca ikinci bir iğne ucu denenmeye ihtiyaç doğmamıştır.

Ancak düşük çaplı iğne ucu kullanılırsa şırınga ucunda kurumayla beraber nanoelyaf üretiminin zorlaşacağı öngörülmektedir.

### 3.3.3.6. Toplayıcı ile şırınga iğnesi arası mesafe optimizasyonu

Şırınga ucu ile tambur arası mesafe ise yaklaşık olarak literatür araştırmasına da bağlı kalınarak 13 cm olarak belirlenmiştir. 13 cm den daha az mesafede deney yapıldığında toplayıcı tambur üzerinde kısa ve mesafeden dolayı droplar meydana gelmiştir. Droplar sıvı halde toplayıcıya sıçradıklarında içerisinde barındırdıkları asit toplayıcı üzerinde hali hazırda bulunan nanoelyaf polimerleri tekrar çözerek nanoelyaf formunu bozmaktadır. Bu şekilde sağlıklı bir nanoelyaf üretimi olamamıştır.

Mesafe 13 cm fazla tutulduğunda ise elektrik akımı düşmüş ve şırınga ucunda Taylor konisi oluşumu gözlemlenememiştir. Solüsyon yere damlamaya başlamıştır.

### 3.3.4. Tekrarlanabilirlik

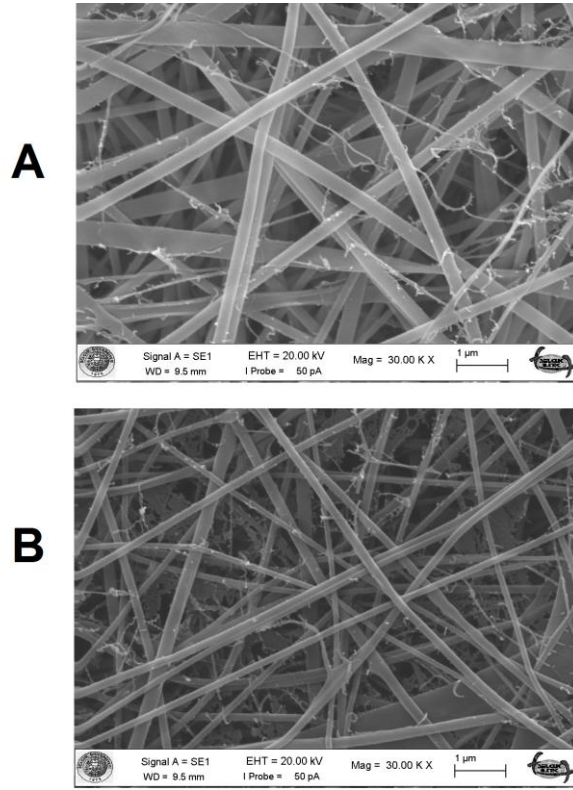
Nanoelyaf üretim deneyleri onlarca defa tekrar edilmiş ve hepsinde başarıya ulaşılmıştır. Çözelti içeriği aynı olduğu sürece 13 cm mesafede 20 kV değerinde oda sıcaklığında nanoelyaf üretimi sürekli olarak gerçekleştirmek mümkündür. Nanoelyaf üretimi bu koşullarda sürekli olarak tekrarlanabilir.

### 3.3.5. Nanoelyafların Karakterizasyonu

Nanofiberler yukarıda anlatılan parametrelere bağlı kalınarak üretilmiştir. Bu parametrelerin dışına çıkıldığında gözle görülür hatalar olduğundan bu parametrelerin dışına çıkılarak üretilen hatalı numunelerin karakterizasyonları yapılmamıştır.

Üretilen nanofiberlerin SEM görüntüleri alınmış ve nanofiber oldukları ispat edilmiştir. Şekil 3.7.' de saf ve grafen ilave edilmiş Naylon 6.6 nano fiberler

gösterilmiştir. Grafen ilavesi ile naylon 6.6 çözeltisinin iletkenliği arttığı için nanofiber üretim esnasında daha küçük çaplı nanofiberler üretildiği görülmüştür.



Şekil 3.7. A) Naylon 6.6 nanoelyafları B)Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyafları

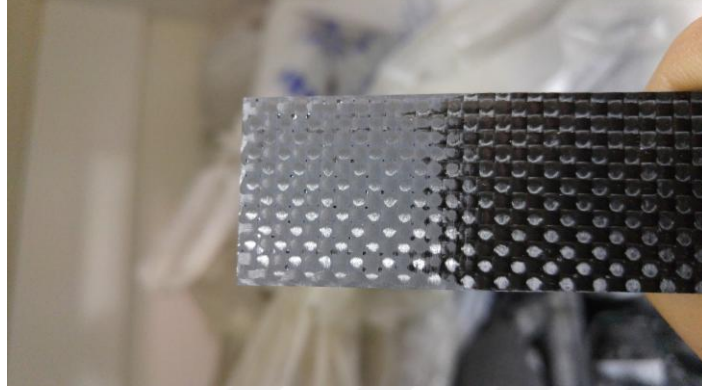
### 3.4. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Yüzey Hazırlıkları

Yüzey hazırlama işlemi yapıştırma bağlantısında maksimum yük kapasitesi üzerinde önemli bir rol oynar. Kir, yağ ve zayıf yüzeylerin giderilmesi, iyi ıslanabilirliğin ve uzun vadeli yapışma güvenilirliğinin sağlanması için çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler vakum infüzyon yöntemi ile İzoreel firmasında üretilmiştir. Üretilen karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarında kullanılacağı için ASTM D 5868-01 standartlarına uygun olacak biçimde 25x101.6 mm boyutlarında kesilmiştir. Daha sonra kompozit malzemenin yapıştırılacak yüzeyinde bulunan fazla epoksi, kirlilik vb. gibi olumsuzlukların ortadan giderilmesi için numuneler P 180 grid su zımpara kâğıdı ile aksel çekme testininin çekme yönüne dik olacak şekilde zımparalanmıştır. Bir başka deyişle kompozit malzemeye çekme eksenine 90° lik bir açı yapacak şekilde zımparalama yapılmıştır. Sonrasında numune,



yüzeydeki tozlardan arındırılmak için ilk başta aseton ile direk olarak yıkanmış sonrasında ise 4 defa 15 dakikalık ultrasonik aseton banyosundan geçirilmiş ve yapıştırma testlerine hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Yüzeyi yapıştırma işlemi için hazır karbon fiber kompozit

Yüzey hazırlıkları tamamlanan karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırılacak bölgelerinin pürüzlüğüne “Mitutoyo SJ-301” cihazı ile bakılmış ve  $Ra=0.95$ ,  $Rz=7.11$  mikrometre değerlerine ulaşılmıştır.

Yüzey hazırlıkları biten kompozit numuneleri üzerinde toz konmasın diye temiz bir dolapta saklamıştır.

### 3.5. Alüminyum Malzemelerin Yüzey Hazırlıkları

Lazer kesimde kestirilen alüminyum 2024-T3 plakaları (25x101,6 mm ebatlarında) yüzeylerinin çapaksız ve pürüzsüz olduğundan emin olmak için (lazer giriş kısmının çapağı dâhil) eğe ve zımpara ile temizlenmiştir. (Bu temizleme işleminde yüzeylerin kenarlarında pah oluşmamasına dikkat edilmiştir.)

Bu çalışmada alüminyum yüzeylerin hazırlığı için sülfürik asit - sodyum dikromat solüsyonu ile dağlama (ASTM D2651) ve fosforik asit ile anotlama (ASTM D3933) metotları kullanılmıştır.

#### 3.5.1 Sodyum dikromat solüsyonu ile dağlama

Dağlama işlemi ASTM D2651 standartına göre yapılmıştır. Dağlama ile yüzey hazırlamada yağ ve kir gibi maddelerden arındırmak öncelikle alüminyum numuneler boş büyük bir kaba birbirine değmeyecek şekilde konulmuştur. Numunelerin üzerine 3

litre kaynamakta olan çeşme suyu dökülmüş ve 150 gram sodyum hidroksit (NaOH) yavaş yavaş ilave edilmiştir. Numuneler 10 dakika boyunca sıcak sodyum hidroksit – su karışımında bekletilmiştir. Bu işlem sırasında sodyum hidroksit içerisindeki oksijen alüminyum yüzeyine bağlanmış, laboratuvar ortamına ise keskin hidrojen gazı açığa çıkmıştır. Sodyumlar ise suyun içerisine karışmıştır. Bu işlemde kısaca alüminyum yüzeyleri oksitlenmiştir ve renkleri siyah olmuştur. Oksitlenen alüminyum yüzeylerinde düzgün bir pürüzlülük elde edilmiş, fabrikasyon işlemlerden gelen kir, yağ giderilmiştir.

Daha sonra numuneler sıcaklığı en az 45°C olan saf suda 3 kez toplamda 10 dakika durulanmıştır. Bu esnada alüminyumun yüzeyleri mümkün olduğunca hava ile temas ettirilmemiştir.

NaOH ile oksitlenen ve saf suda durulama işlemleriyle yüzey kirlerinden kısmen arındırılmış alüminyum plakalarının üzerindeki oksit tabakasını gidermek için numuneler; %26,7 sülfirik asit, %5 sodyum dikromat, %%68,3 saf sudan oluşan çözeltinin içerisinde 65 - 71°C sıcaklıkta 13 dakika bekletilmiştir. Böylece alüminyum üzerindeki siyah oksit tabakası giderilmiş, alüminyum yüzeyleri temiz ve yapıştırmaya uygun hale gelmiştir. Numuneler oda sıcaklığındaki saf su ile durulanmıştır. Böylece dağlama işlemi tamamlanmıştır. Dağlama işlemi tamamlanan numunelerin yüzeylerine çıplak elle dokunulmamıştır (Şekil 3.9.)

### 3.5.2 Fosforik asit ile anotlama

Sodyum dikromat solüsyonu ile dağlama işlemi tamamlanan alüminyumların yüzeyleri yapıştırma işlemi için hazır hale gelmiştir. Ancak literatürde dağlama işlemi üzerine fosforik asit ile anotlama yapılan numunelerin yüzeylerinde daha iyi bir yapışma gözlemlenmiştir (Kinloch, 1987). Bu yüzden dağlama sonrası ASTM D3933 numaralı fosforik asit ile anotlama standardı numunelere uygulanarak yüzeyler yapıştırmaya daha da uygun hale getirilmiştir (Şekil 3.9.).

Anodizasyon işlemi ise şu şekilde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle %90 saf su, %10 fosforik asit oranına sahip asit çözeltisi büyük bir kaba alınmıştır. Alüminyum yüzeylerin yapıştırılacak bölgeleri bu solüsyona batırılmıştır. Üstte kalan kısımlarına ise kısıkaçlar ile elektroliz cihazına bağlanmıştır. Elektroliz gerilimi 15.5 volt olacak şekilde 20-25 dakika arası uygulanmıştır. Daha sonra numuneler 3 kere saf suda yıkanmış ve 80 °C de fırında kurutulmuştur. Anodizasyon işlemi ile alüminyum numuneler yapıştırmaya hazır hale gelmiştir. Bu aşamada alüminyum havadaki oksijen ile tekrar

oksitlenebilir. Bu oksitlenme yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Bu yüzden standartta bu alüminyumlara 72 saatlik bir süre biçilmiştir. Bu nedenle yüzeyleri hazırlanan alüminyumlar 72 saat içerisinde yapıştırılmıştır. Tüm bu anodizasyon işlemleri ASTM D3933 standartına göre yapılmıştır.

Anodizasyon işleminden sonra iyi durulanmayan numunelerin üzerlerinde, fosforik asitten dolayı sarı lekeler olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey hazırlıkları kusursuz numuneler üretilinceye kadar devam etmiştir. Çünkü yüzeylerdeki en ufak olumsuzluk çekme testlerinde adesiv kırılmalara yol açabilir.

Yüzey hazırlıkları biten alüminyum numuneleri üzerine toz konmasını diye 72 saat içinde kullanmak şartıyla temiz bir dolapta saklamıştır.

Yüzey hazırlıkları tamamlanan alüminyum malzemelerin yapıştırılacak bölgelerin pürüzlüğüne "Mitutoyo SJ-301" cihazı ile bakılmış ve  $R_a=1.89$ ,  $R_z=11.18$  mikrometre değerlerine ulaşılmıştır.

Anotlama işlemi sonucunda yapıştırma yüzeyi yapıştırmaya daha uygun, sert ve seramik alüminyum oksit tabakası ile kaplanmıştır.

Bu işlemin amacı, alüminyum yüzeyi sertleştirmek ve bunun neticesinde yapıştırma bağlantısının alüminyum yüzeyine yük geldiğinde çabuk deforme olmasını engellemektir.



Şekil 3.9. Alüminyum yüzey hazırlıkları

### 3.6. Yüzeylerin Yapıştırılması

Bu tez çalışması kapsamında üretilen tüm numunelerin kodları açıklamalarıyla beraber maddeler halinde aşağıda yer almaktadır.

- E (Saf epoksi)
- E-1 (Saf epoksi 1 gün şartlandırılmış)
- E-7 (Saf epoksi 7 gün şartlandırılmış)
- E-14 (Saf epoksi 14 gün şartlandırılmış)
- E-21 (Saf epoksi 21 gün şartlandırılmış)
- N66E (Epoksi + naylon6.6 nanoelyaf)
- N66E-1 (Epoksi + naylon6.6 nanoelyaf 1 gün şartlandırılmış)
- N66E-7 (Epoksi + naylon6.6 nanoelyaf 7 gün şartlandırılmış)
- N66E-14 (Epoksi + naylon6.6 nanoelyaf 14 gün şartlandırılmış)
- N66E-21 (Epoksi + naylon6.6 nanoelyaf 21 gün şartlandırılmış)
- %1GN66E (Epoksi + %1 grafenli naylon6.6 nanoelyaf)
- %1GN66E-1 (Epoksi + %1 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 1 gün şartlandırılmış)
- %1GN66E-7 (Epoksi + %1 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 7 gün şartlandırılmış)
- %1GN66E-14 (Epoksi + %1 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 14 gün şartlandırılmış)
- %1GN66E-21 (Epoksi + %1 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 21 gün şartlandırılmış)
- %3GN66E (Epoksi + %3 grafenli naylon6.6 nanoelyaf)
- %3GN66E-1 (Epoksi + %3 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 1 gün şartlandırılmış)
- %3GN66E-7 (Epoksi + %3 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 7 gün şartlandırılmış)
- %3GN66E-14 (Epoksi + %3 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 14 gün şartlandırılmış)
- %3GN66E-21 (Epoksi + %3 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 21 gün şartlandırılmış)
- %5GN66E (Epoksi + %5 grafenli naylon6.6 nanoelyaf)
- %5GN66E-1 (Epoksi + %5 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 1 gün şartlandırılmış)
- %5GN66E-7 (Epoksi + %5 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 7 gün şartlandırılmış)
- %5GN66E-14 (Epoksi + %5 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 14 gün şartlandırılmış)
- %5GN66E-21 (Epoksi + %5 grafenli naylon6.6 nanoelyaf 21 gün şartlandırılmış)



Şekil 3.10.Yapıştırılmış numuneler

### 3.7. Eksenel Çekme Testlerinin yapılması

Eksenel çekme testleri ASTM D1002-10 standardına göre Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında Shimadzu AGS-X cihazı ile yapılmıştır. Tüm deneyler standarttaki hıza göre (2mm/dk) oda sıcaklığında (25°C) yapılmıştır.

Deneyler yapılırken yapıştırma numunelerinde eksenel kaçıklık olmasın diye kompozit tarafına 25x25 milimetrelik alüminyum parça, alüminyum tarafına ise 25x25 milimetrelik karbon fiber takviyeli kompozit parça konulmuştur.

Yüzde uzama değerleri hesaplanırken sadece yapışma bölgesinin uzaması önemli olduğu için eksenel çekme deneyleri yine Shimadzu firmanın ekstansometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstansometrenin bağlanabilmesi için numunelerin yapıştırma bölgelerinin bittiği yer küçük çentikler eğe yardımı ile açılmıştır.

Her deney başında cihaz uzama ve kuvvet değerleri sıfırlanmıştır. Çene kaymasının önüne geçebilmek için çeneler sıkıca kapatılmıştır.

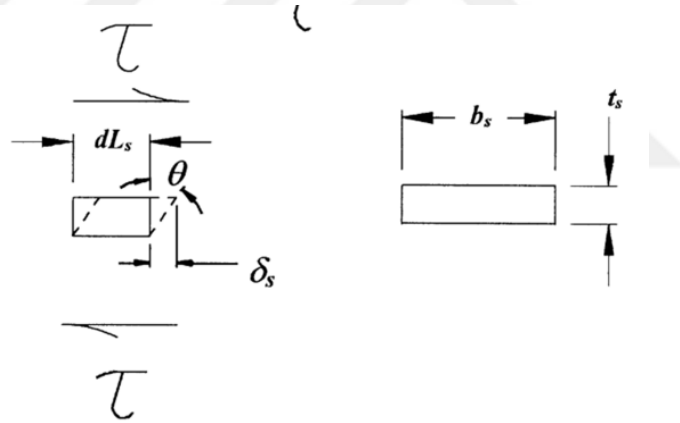
Çekme testi sırasında tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarına gelen yükler eksenel olarak aynı hizada bulunmadığından dolayı yapıştırma bağlantısı üzerinde önemsenmeyecek derece moment oluşur. Oluşan bu moment yapıştırma bağlantısı üzerinde çekme basma gerilmesi oluşturur. Ancak bu gerilmeler oluşan kayma gerilmeleri ile kıyaslandığında önemsenmeyecek derecede az olduğundan numuneler kıyaslanırken sadece kayma gerilmeleri hesaplanmış ve oluşan momentler hesap kolaylığı için göz ardı edilmiştir.

### 3.7.1. Kayma gerilmesinin hesaplanması

Akademik çalışmalarda kullanılan en yaygın bağlantılardan biri olan tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarında basit lineer elastik analiz kullanılır. Bu analizde yapıştırıcı rijit olarak kabul edilir. Sadece kayma yönünde deforme olduğu varsayılır. Soyulma ve eğilme gerilmeleri, kayma gerilmeleri ile kıyaslandığında önemsenmeyecek derecede az olduğundan ve hesap kolaylığı için ihmal edilir. Kayma gerilmesi ( $\tau$ ), yapıştırıcının uzunluğu boyunca sabittir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{P}{bl} \quad (3.1)$$

Burada P uygulanan kuvvet, b bağlantının genişliği, ise üst üste bindirme uzunluğudur.



Şekil 3.11. Yapıştırıcının kayma yer değiştirmesi

Şekil 3.11. 'de görüldüğü gibi yapıştırıcının kayma yer değiştirmesi  $\delta_s$  olarak gösterilir. Kayma birim şekil değişimi ( $\gamma$ ) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\gamma = \tan \theta = \frac{\delta_s}{t_s} \quad (3.2)$$

Denklemden gösterilen  $\gamma$  işareti kayma birim şekil değişimi;  $\theta$  işareti kayma düzlemi nedeniyle oluşan kayma açısı;  $\delta_s$  işareti kayma düzlemine göre yapıştırıcının

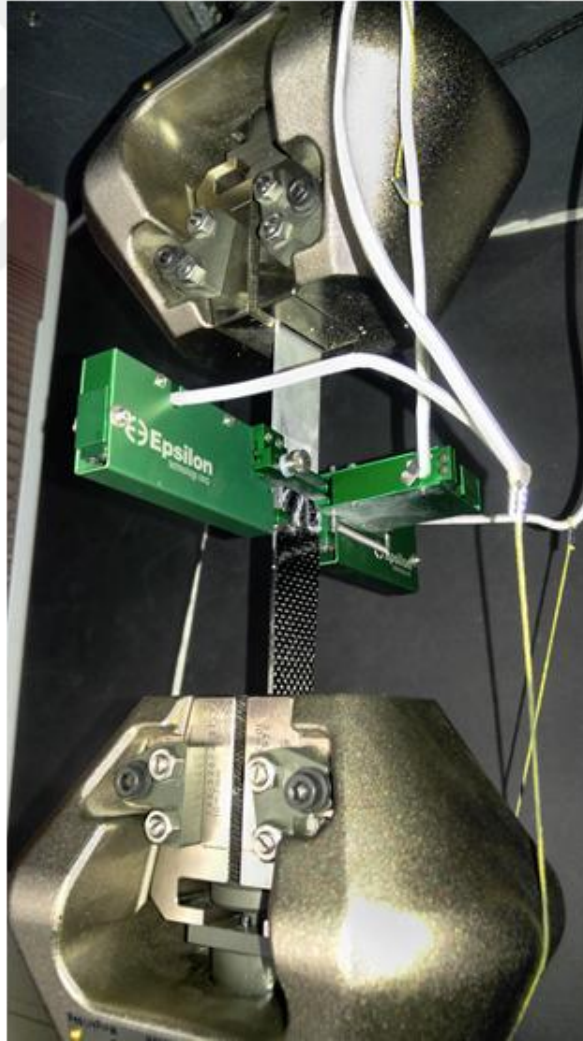


eksenel yer değiştirmesi ve  $t_s$  işareti ise yapıştırıcının kalınlığıdır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü ise aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad (3.3)$$

$$\tau = \frac{P}{A_{kayma}} \quad (3.4)$$

Bu formüllerde  $\tau$ , yapıştırıcının kayma gerilmesi;  $G$ , yapıştırıcının kayma modülü;  $A_{kayma}$  yapıştırıcının kayma alanı ve  $P$  ise yapıştırılan malzemeye uygulanan çekme kuvvetidir.



şekil 3.12. Eksenel çekme testlerinin ekstansometre ile gerçekleştirilmesi



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında yapılan deneysel işlemler birkaç bölümden oluşmaktadır. Anlam karmaşasını gidermek için bu çalışmaların sonuçlarını ayrı ayrı vermek gerekir.

İlk aşamada nanoelyaflar üretilmiştir. İlk önce saf naylon 6.6 nanoelyaflar üretilmiş ve optimizasyonu yapılmıştır. Üretilen nanoelyaflar elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiş ve düzgün nanoelyaf üretildiğinden emin olunduktan sonra grafen katkılı nanoelyaflar üretilmiştir.

İkinci aşamada yapıştırma işlemleri yapılmış ve saf suda şartlandırmalar yapılarak elde edilen tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantıları aksel çekme testine tabii tutulmuştur.

### 4.1. Naylon 6.6 nanoelyaf karakterizasyonu

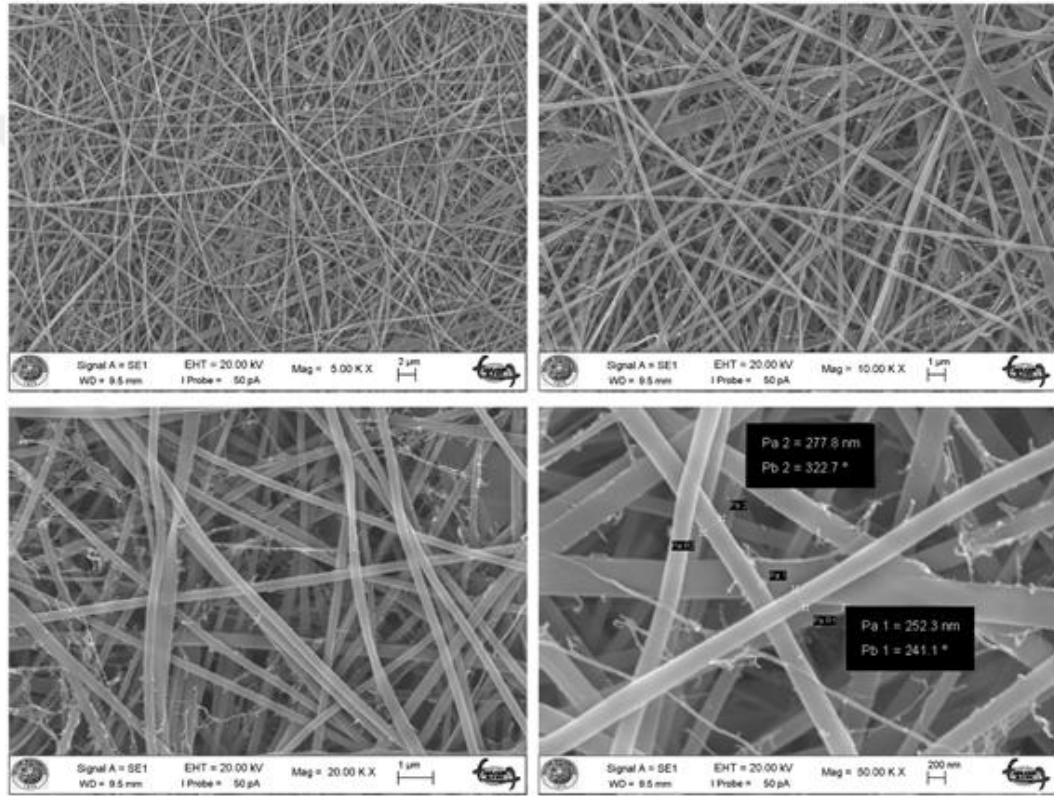
Bu tez çalışmasında Sigma-Aldrich (Merck) marka granül naylon 6.6 kullanılmıştır. Tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarında takviye elemanı olarak kullanılan nanoelyaflar bazı parametreler göz önüne alınarak üretilmiştir. Bu parametrelerin dışına çıkıldığında gözle görülür hatalar olduğundan bu parametrelerin dışına çıkılarak üretilen hatalı numunelerin karakterizasyonları yapılmamıştır. Üretilen numunelerin karakterizasyonları yapılmıştır. Öncelikle SEM görüntüleri ile nanoelyafların varlığı ispatlanmıştır. İkinci olarak FTIR analizleri yapılmış ve naylon6.6 nanoelyafların içindeki bağlar kendi aralarında kıyaslanmıştır.

#### 4.1.1. Naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri

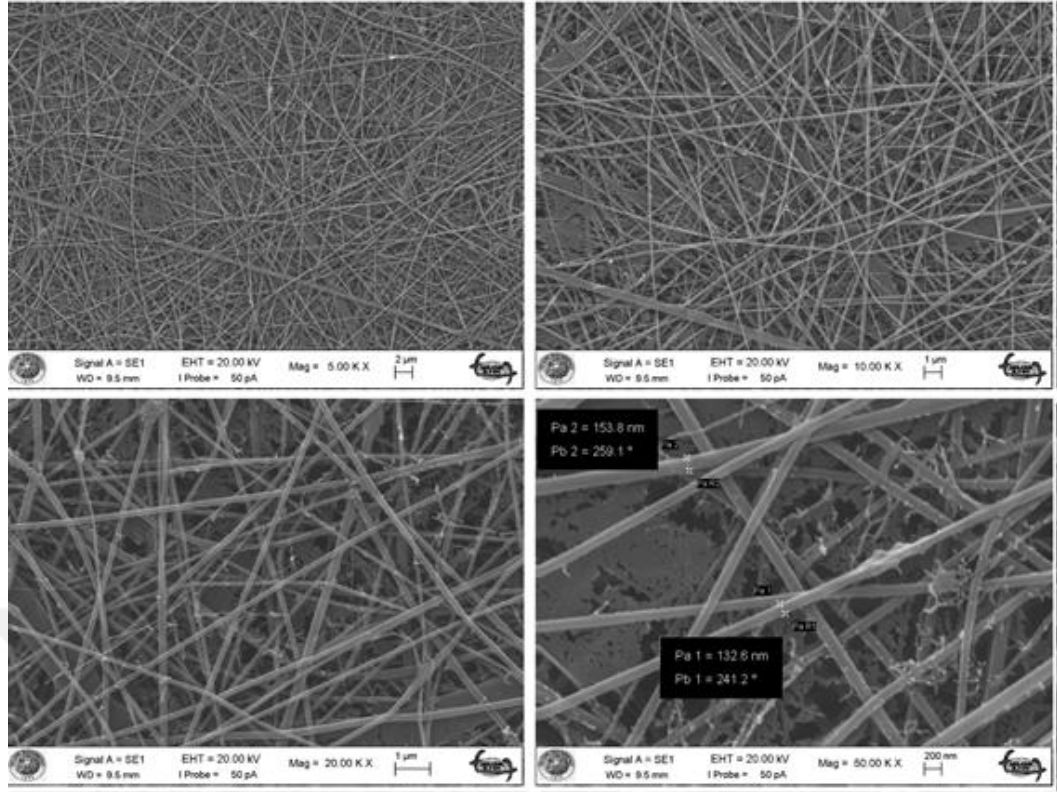
Üretilen naylon 6.6 nano elyafların SEM görüntüleri ZEISS marka Evo LS 10 modeli bir SEM cihazı ile 20 kV gerilimde ve yaklaşık 6 bar vakum altında elde edilmiştir. Öncelikle numuneler altınla kaplama işlemine tabii tutulmuş ve ardından SEM görüntüleri alınmıştır. Üretilen naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri ve nanoelyafların ispatı Şekil 4.1. dedir. Üretilen % 5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri ve nanoelyafların ispatı ise Şekil 4.2. dedir.

Şekil 4.2. deki % 5 grafenli naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntülerinde grafen parçacıkları gözükmemektedir. Çünkü grafenler nanoelyafların içerisinde gömülüdür ve SEM ile grafenleri görmek olanaksızdır.

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.' ye ilk bakıldığında fark gözükmemektedir. Ancak şekiller dikkatli incelendiğinde grafen ilavesi ile naylon 6.6 çözeltisinin iletkenliği arttığı için nanoelyaf üretim esnasında daha küçük çaplı nanoelyaf üretildiği görülmüştür. Saf naylon 6.6 nanoelyaf çapları yaklaşık 260 nanometre iken; % 5 grafenli naylon 6.6 nanoelyafların çapları yaklaşık 140 nanometredir.



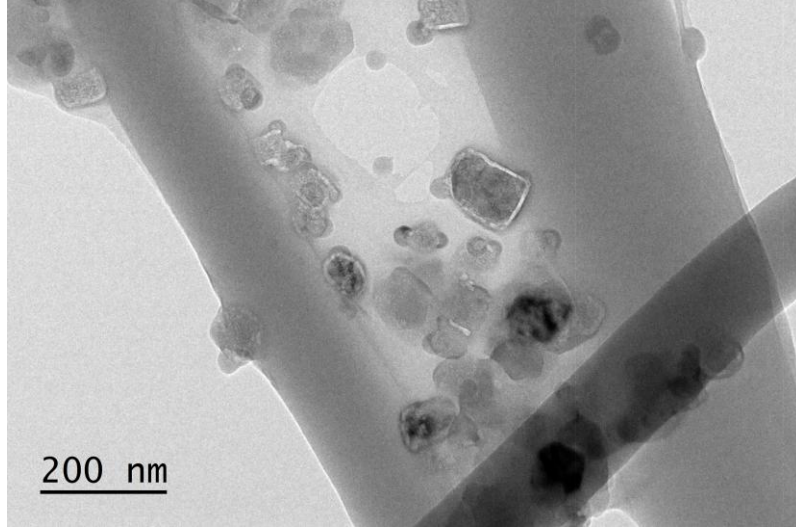
Şekil 4.1. naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri



Şekil 4.2. Grafenli naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntüleri

#### 4.1.2. Naylon 6.6 nanoelyafların TEM görüntüleri

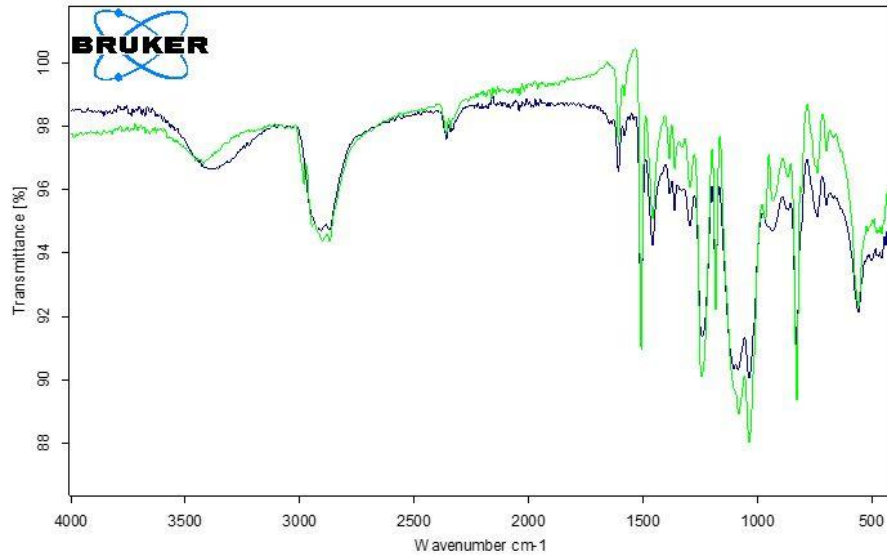
Grafenli naylon 6.6 nanoelyafların SEM görüntülerinde grafen parçacıkları gözükmemektedir. Çünkü grafenler nanoelyafların içerisinde gömülüdür ve SEM ile grafenleri görmek olanaksızdır. nanoelyafların içerisindeki nano boyuttaki grafenleri görebilmek için TEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.3. de %5 grafenli nanoelyafın geriçimli elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 4.3. de %5 grafenli nanoelyafın TEM görüntüleri

#### 4.1.3. Naylon 6.6 nanoelyafının FT-IR analizleri

FT-IR (Fourier Transform Infrared) spektrum analiz cihazı, genellikle malzemeleri ve ürünleri anlamak için kullanılır. Bir kızılötesi absorpsiyon spektrumu üreterek bir moleküldeki kimyasal bağların tanımlanmasına yardımcı olur. Bu analiz sayesinde, numunenin ayırt edici bir moleküler parmak izi elde edilir. (FT-IR) analizleri grafenlerin naylon 6.6 nanoelyaflarla kimyasal olarak etkisinin olup olmadığının anlaşılması için yapılmıştır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Saf (mavi) ve grafen takviyeli (yeşil) nanoelyafının (FT-IR) sonuçları

FTIR analiz grafiklerinde önemli olan yerler grafiğin tepe (peak) noktalarıdır. Geçirgenlik miktarı bağların yapısı hakkında bilgi vermez. Şekil 4.4. e bakıldığında kimyasal bağlarda bir bozulma tespit edilmemiştir. Bu sebeple yapılan (FT-IR) analizleri sonucu grafenlerin naylon 6.6 nanoelyaflara kimyasal olarak etkisi yoktur.

#### 4.1.4. Grafenli naylon 6.6 nanoelyafların DSC sonuçları

Diferansiyel kalorimetre taraması (DSC) deneyleri Selçuk Üniversitesi içerisinde bulunan İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu nanoelyaflar; erime sıcaklığı, erime entalpisi, kristal yüzdesi cinsinden kıyaslanmıştır (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. nanoelyafların termal davranışları

Nanoelyaf Türleri	Erime Sıcaklığı °C	Erime Entalpisi (mj/mg)	Kristalin Yüzdesi
Saf naylon 6.6	274.9	79.2	52.99
% 1 grafenli naylon 6.6	276.1	87.2	57.48
% 3 grafenli naylon 6.6	278.2	99	46.42
% 5 grafenli naylon 6.6	275.3	79.5	46.16

Grafenler 500m<sup>2</sup>/gr yüzey alanına sahiptir. Bu grafenlerin polimer içerisindeki zincirlerin arasına girmesine ve fiziksel bir engel olmasına olanak sağlamıştır. Literatürde de benzer sonuçlar bulunmuştur (Baji ve ark., 2010; Cheng ve ark., 2011).

Ancak grafen yüzdesi arttıkça aglomerasyonlar meydana gelmeye başlamış ve grafenler iyi bir ısı iletkeni olduğu için bu olumlu sonuç olumsuz hale gelmeye başlamıştır.

#### 4.2. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri

Yapıştırma bağlantılarında kayma modülü ve kayma gerilmesini bulabilmek için ASTM D1002-10 standardına uyularak çekme numuneleri hazırlanmıştır.

Yapıştırma bağlantılarında mekanik özellikler naylon 6.6 takviyesi ve grafen katkısıyla bir miktar artmıştır.

Suda şartlandırılmış numunelerin mekanik özellikleri hiç şartlandırılmamış numunelere göre oldukça düşük çıkmıştır.

Bu tezde sırsıyla 1, 7, 14 ve 21 günlük saf suda şartlandırmalar incelenmiş Diğer yandan ise naylon 6.6 ve grafen takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Çok yapıştırma numunesi olduğu için incelemeleri alt başlıklar halinde yapmak daha doğru olacaktır. Ancak detaylı incelemeye geçmeden önce tüm numunelerin mekanik özelliklerine bakmak akıllardaki soru işaretlerini giderecektir.

Çekme testleri yapılan yapıştırma numunelerinin maksimum taşıyabildikleri yükler Newton cinsinden tablo halinde verilmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Yapıştırma numunelerinin taşıyabildikleri yükler (Newton)

Numuneler/Şartlandırma Süreleri (Gün)	0 GÜN	1 GÜN	7 GÜN	14 GÜN	21 GÜN
<b>Epoksi</b>	5857	5407	4582	3737	2882
<b>Naylon6.6 + Epoksi</b>	6611	6204	4734	4404	3438
<b>%1Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi</b>	6943	6709	5354	4404	4124
<b>%3Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi</b>	7884	7404	6369	6238	4701
<b>%5Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi</b>	7010	6678	6220	6008	4282

Çizelge 4.2.' de tüm saf suda şartlandırma parametreleri için %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların maksimum yük taşıma kapasitelerinin en fazla olduğu gözükmektedir. Bunun yanı sıra epoksiye naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma kapasitelerinde artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.2. incelendiğinde saf suda şartlandırma süresi uzadıkça maksimum yük taşıma kapasitesinin tüm numuneler için düştüğü gözlemlenmiştir. Bu düşüşlerin sebepleri ancak kırılma yüzeylerinin incelenmesi ile anlaşılabilir.

Çekme testleri yapılan yapıştırma numunelerinin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzamaları milimetre cinsinden tablo halinde verilmiştir.(Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Yapıştırma numunelerinin maksimum uzamaları (mm)

Numuneler/Şartlandırma Süreleri (Gün)	0 GÜN	1 GÜN	7 GÜN	14 GÜN	21 GÜN
Epoksi	0.0194	0.0177	0.0145	0.0079	0.0044
Naylon6.6 + Epoksi	0.0219	0.0194	0.0160	0.0153	0.0100
%1Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi	0.0226	0.0198	0.0172	0.0160	0.0123
%3Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi	0.0274	0.0201	0.0191	0.0189	0.0183
%5Grafen+ Naylon6.6 + Epoksi	0.0195	0.190	0.0179	0.0146	0.0139

Çizelge 4.3. e bakıldığında ise tüm saf suda şartlandırma parametreleri için %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların maksimum uzama değerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra epoksiye naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının uzama kapasitelerinde artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.3.' e bakılırsa saf suda şartlandırma süresi uzadıkça maksimum uzama kapasitesinin tüm numuneler için azaldığı gözlemlenebilir. Bu azalmaların sebepleri ancak kırılma yüzeylerinin incelenmesi ile anlaşılabilir.

Sonuç olarak naylon 6.6 ilavesi yapıştırma bağlantısının dayanımını ve maksimum uzama miktarını arttırmıştır. Naylon 6.6 nanoelyafa grafen takviyesi ise sadece belirli bir orana (%3) kadar arttırmıştır.

#### 4.2.1. Suda şartlandırılmamış numunelerin Mekanik Özellikleri

Hiç suda şartlandırılmamış yapıştırma bağlantılarının çekme testleri sonucunda elde edilen yük-uzama grafikleri Şekil 4.5. 'de verilmiştir.

Yük-uzama grafiklerinde görüldüğü gibi; saf epoksili yapıştırma numunesi, naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi, %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi farklı farklı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca numunelerin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzama değerleri de değişkenlik göstermektedir.

Epoksi yapıştırıcıya; naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma değerleri 5857 Newton dan

sırasıyla 6611, 6943, 7885 ve 7010 Newton'a çıkmış ve yine sırasıyla saf epoksili numuneye göre %12.87, %18.54, %34.62 ve %19.68 oranında artmıştır.

Hiç suda şartlandırılmamış yapıştırma bağlantılarının yapıştırma bölgelerinin alanı tüm numunelerde aynı olduğu için deney sonuçlarını yük-uzama grafiği üzerinde tartışmak yeterlidir. Ancak bu tez çalışmasının literatür ile kıyaslanabilmesi için ve daha bilimsel bir ifade için, hiç suda şartlandırılmamış numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri Şekil 4.6. da toplu olarak verilmiştir. Böylece hiç suda şartlandırılmamış yapıştırma bağlantılarına grafenin ve naylon 6.6 nanoelyafların etkisi daha rahat anlaşılmıştır.

Şekil 4.6. da saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımının 11.71 MPa' dır. Yapıştırma bölgesine naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile kayma dayanımı 13.22 MPa' a çıkarak %12.9 artış sağlanmıştır.

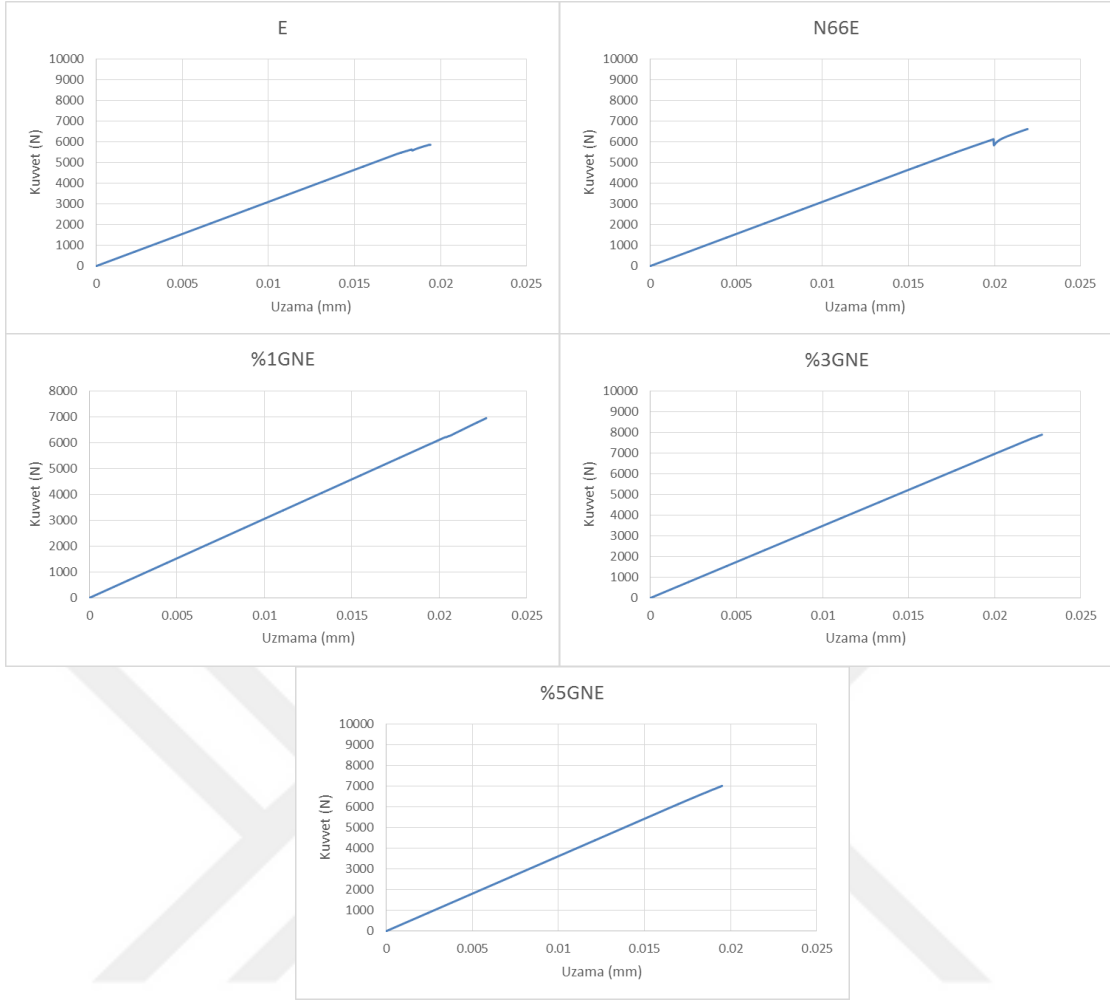
Hiç suda şartlandırılmamış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 15.77 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre %34.6 artış sağlanmıştır.

%1 ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantıları ise sırayla 13.88 ve 14.2 Mpa maksimum kayma gerilmesi değerlerine sahipken saf epoksili yapıştırma numuneye göre 18.5 19.7 artış sağlamışlardır.

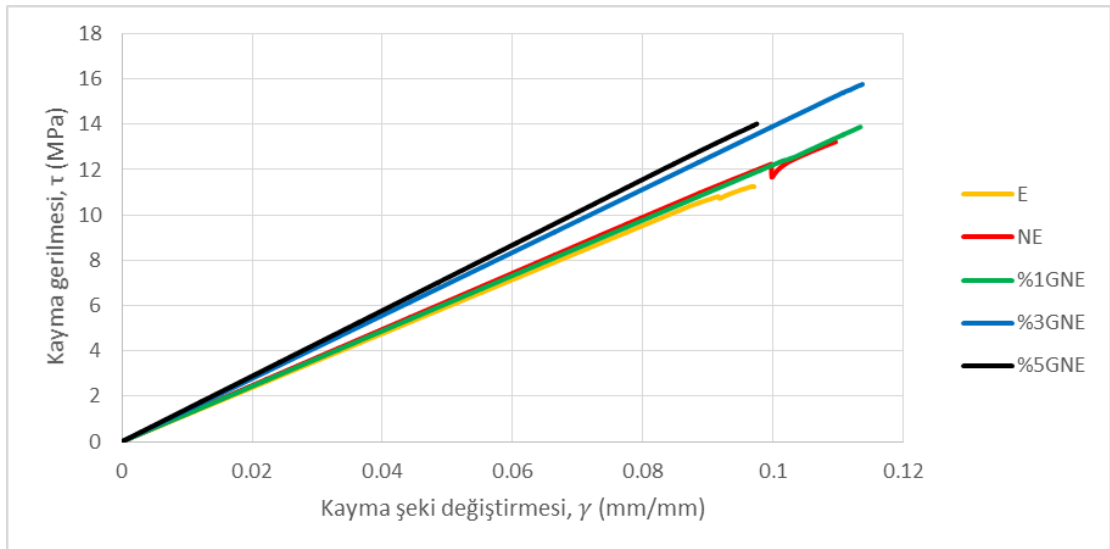
Hiç suda şartlandırılmamış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 15.77 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre %34.6 artış sağlanmıştır.

Grafikler incelendiğinde bazı grafiklerin tepe noktalarında ani düşüşler olduğu ve daha sonra artışın devam ettiği görülmektedir. Bu düşüşler bir deney hatası değildir. Buralarda numunelerin çenelerden kayması gibi bir durum da söz konusu değildir. Bu ani düşüşler tamamen epoksi çatlamları ile ilgilidir. Nitekim deneyler yapılırken grafikler anlık olarak incelenmiş ve bu düşüşlerin olduğu zamanlarda epoksi çatlama sesleri duyulmuştur. Epoksi çatlamları yaşansa da bağlantı tamamen kopmadığı için yük taşımaya devam etmiştir.





Şekil 4.5. Hiç suda şartlandırılmamış bağlantıların yük-uzama grafikleri



Şekil 4.6. Hiç suda şartlandırılmamış bağlantıların kayma gerilmesi-kayma şekli değişimi grafiği

#### 4.2.2. Saf suda 1 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri

Saf suda 1 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantıların çekme testleri sonucunda elde edilen yük-uzama grafikleri Şekil 4.7. 'de verilmiştir.

Saf suda 1 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafiklerinde görüldüğü gibi saf epoksili yapıştırma numunesi, naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi, %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi farklı farklı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca numunelerin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzama değerleri de değişkenlik göstermektedir.

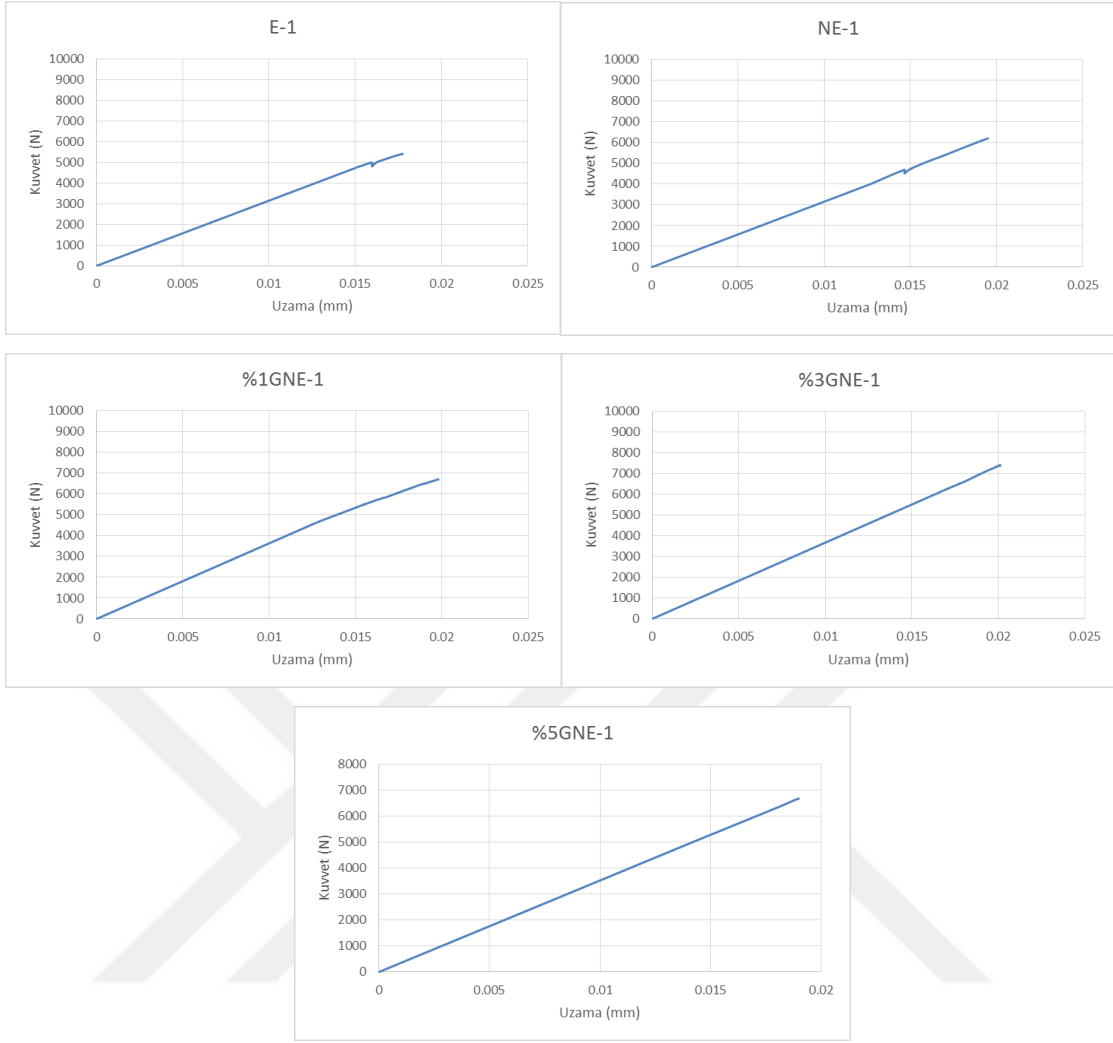
Saf suda 1 gün bekletilmiş numuneler için epoksi yapıştırıcıya; naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma değerleri 5407 Newton dan sırasıyla 6204, 6709, 7404 ve 6678 Newton'a çıkmış ve yine sırasıyla saf epoksili numuneye göre %14.74, %24.08, %36.93 ve %23.51 oranında artmıştır.

Saf suda 1 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının yapıştırma bölgelerinin alanı tüm numunelerde aynı olduğu için deney sonuçlarını yük-uzama grafiği üzerinde tartışmak yeterlidir. Ancak bu tez çalışmasının literatür ile kıyaslanabilmesi için ve daha bilimsel bir ifade için, 1 gün saf suda şartlandırılmış numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri Şekil 4.8. de toplu olarak verilmiştir. Böylece saf suda 1 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarına grafenin ve naylon 6.6 nanoelyafların etkisi daha rahat anlaşılmıştır.

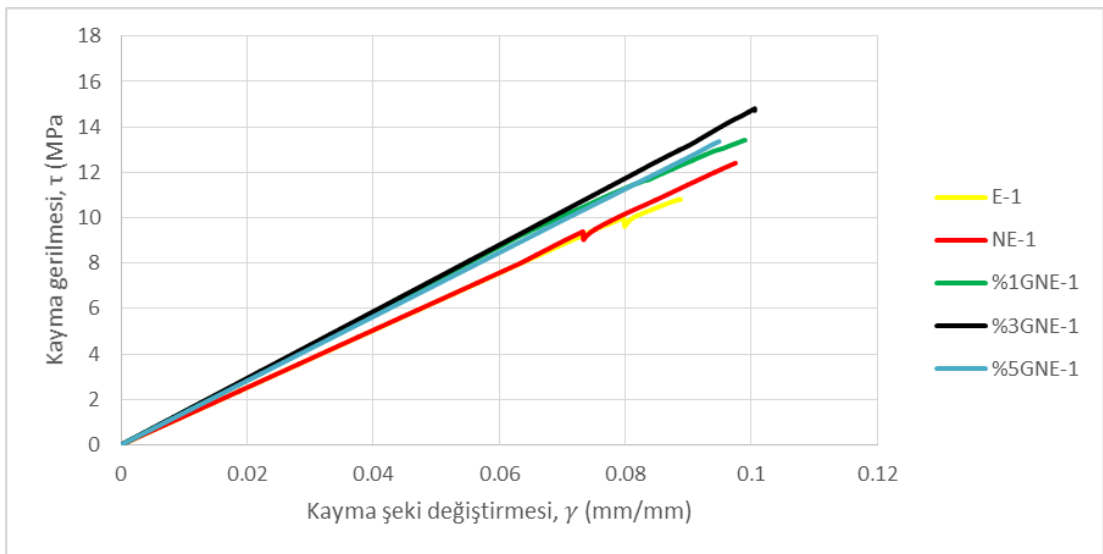
Şekil 4.8. de saf suda 1 gün şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımının 10.81 MPa' dır. Yapıştırma bölgesine naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile kayma dayanımı 12.41 MPa' a çıkarak %14.7 artış sağlanmıştır.

Saf suda 1 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 14.81 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre % 36.9 artış sağlanmıştır.

%1 ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantıları ise sırayla 13.42 ve 13.35 MPa maksimum kayma gerilmesi değerlerine sahipken saf epoksili yapıştırma numuneye göre 24.1 ve 23.5 artış sağlamışlardır.



Şekil 4.7. Saf suda 1 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafikleri



Şekil 4.8. Saf suda 1 gün şartlandırılmamış bağlantıların kayma gerilmesi-kayma şekil değişimi grafiği

### 4.2.3. Saf suda 7 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri

Saf suda 7 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının çekme testleri sonucunda elde edilen yük-uzama grafikleri Şekil 4.9.' da verilmiştir.

Saf suda 7 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafiklerinde görüldüğü gibi saf epoksili yapıştırma numunesi, naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi, %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi farklı farklı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca numunelerin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzama değerleri de değişkenlik göstermektedir.

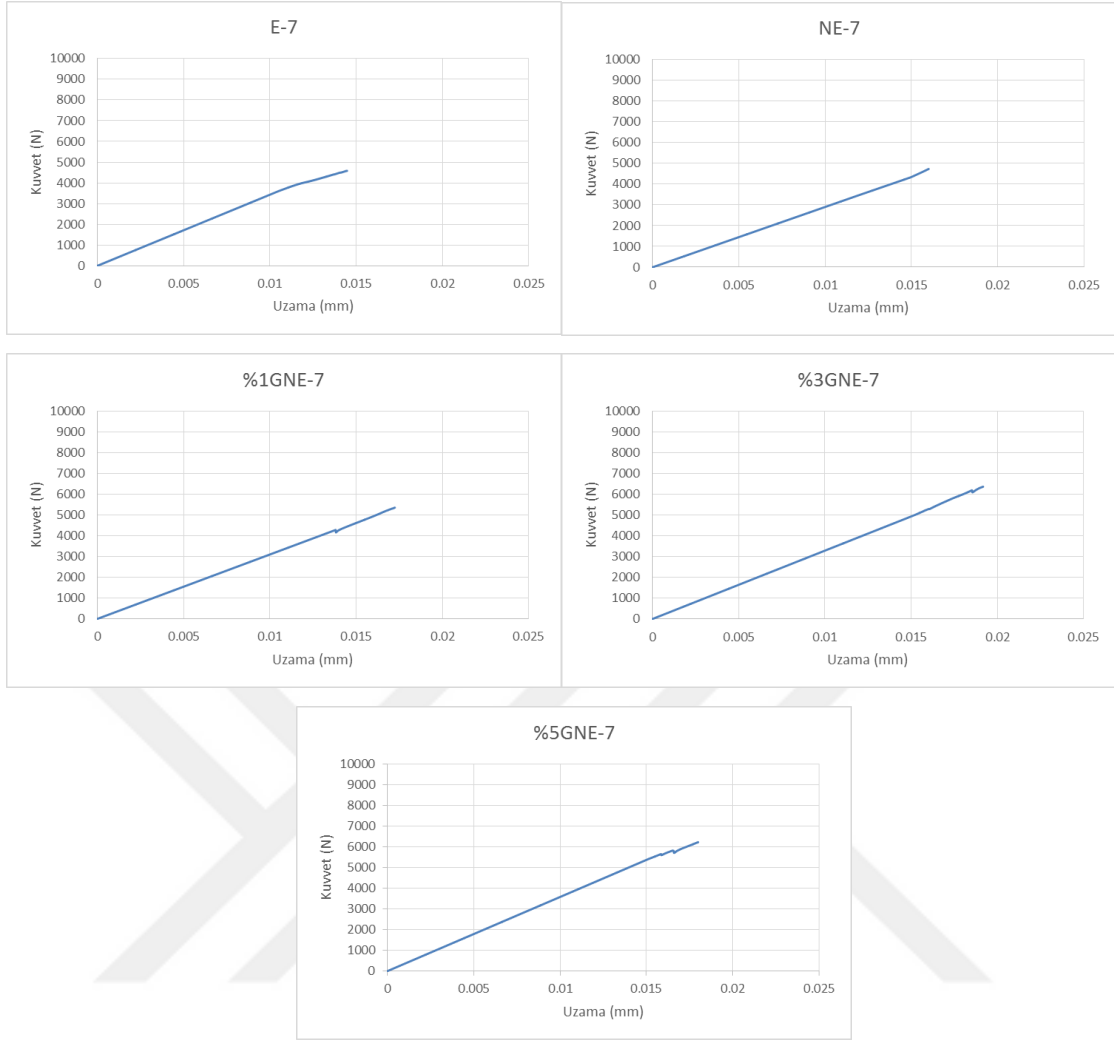
Saf suda 7 gün bekletilmiş numuneler için epoksi yapıştırıcıya; naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma değerleri 4582 Newton dan sırasıyla 4734, 5354, 6369 ve 6220 Newton'a çıkmış ve yine sırasıyla saf epoksili numuneye göre %3.32, %16.84, %39.01 ve %35.74 oranında artmıştır.

Saf suda 7 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının yapıştırma bölgelerinin alanı tüm numunelerde aynı olduğu için deney sonuçlarını yük-uzama grafiği üzerinde tartışmak yeterlidir. Ancak bu tez çalışmasının literatür ile kıyaslanabilmesi için ve daha bilimsel bir ifade için, 7 gün saf suda şartlandırılmış numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri Şekil 4.10. da toplu olarak verilmiştir. Böylece saf suda 7 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarına grafenin ve naylon 6.6 nanoelyafların etkisi daha rahat anlaşılmıştır.

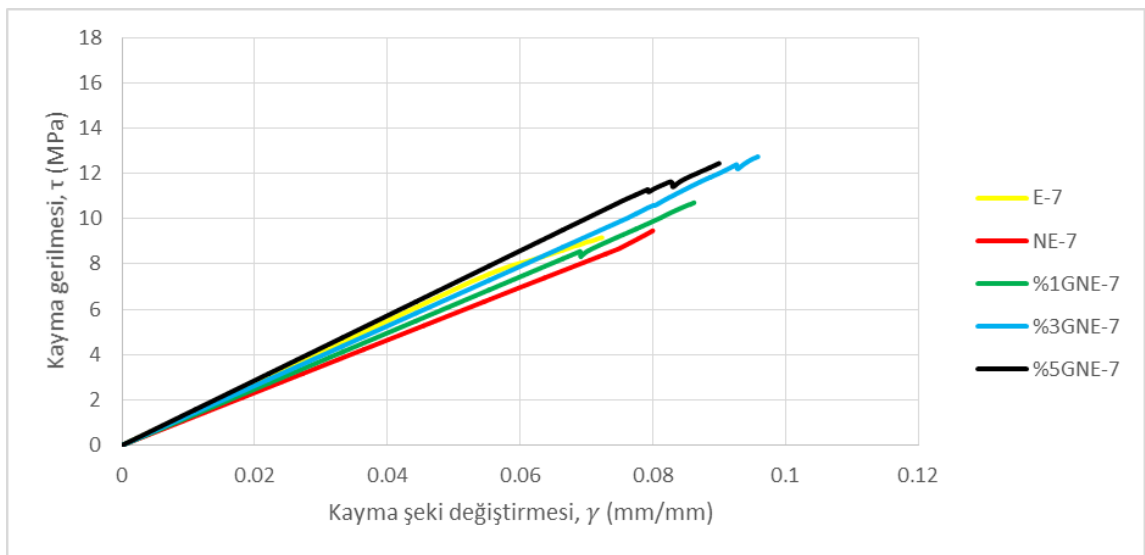
Şekil 4.10. da saf suda 7 gün şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımının 9.16 MPa' dır. Yapıştırma bölgesine naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile kayma dayanımı 9.46 MPa' a çıkarak %3.3 artış sağlanmıştır.

Saf suda 7 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 12.74 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre %39.1 artış sağlanmıştır.

%1 ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantıları ise sırayla 10.71 ve 12.44 MPa maksimum kayma gerilmesi değerlerine sahipken saf epoksili yapıştırma numuneye göre 16.8 ve 35.7 artış sağlamışlardır.



Şekil 4.9. Saf suda 7 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafikleri



Şekil 4.10. Saf suda 7 gün şartlandırılmamış bağlantıların kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi grafiği

#### 4.2.4. Saf suda 14 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri

Saf suda 14 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının çekme testleri sonucunda elde edilen yük-uzama grafikleri Şekil 4.11. 'de verilmiştir.

Saf suda 14 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafiklerinde görüldüğü gibi saf epoksili yapıştırma numunesi, naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi, %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi farklı farklı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca numunelerin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzama değerleri de değişkenlik göstermektedir.

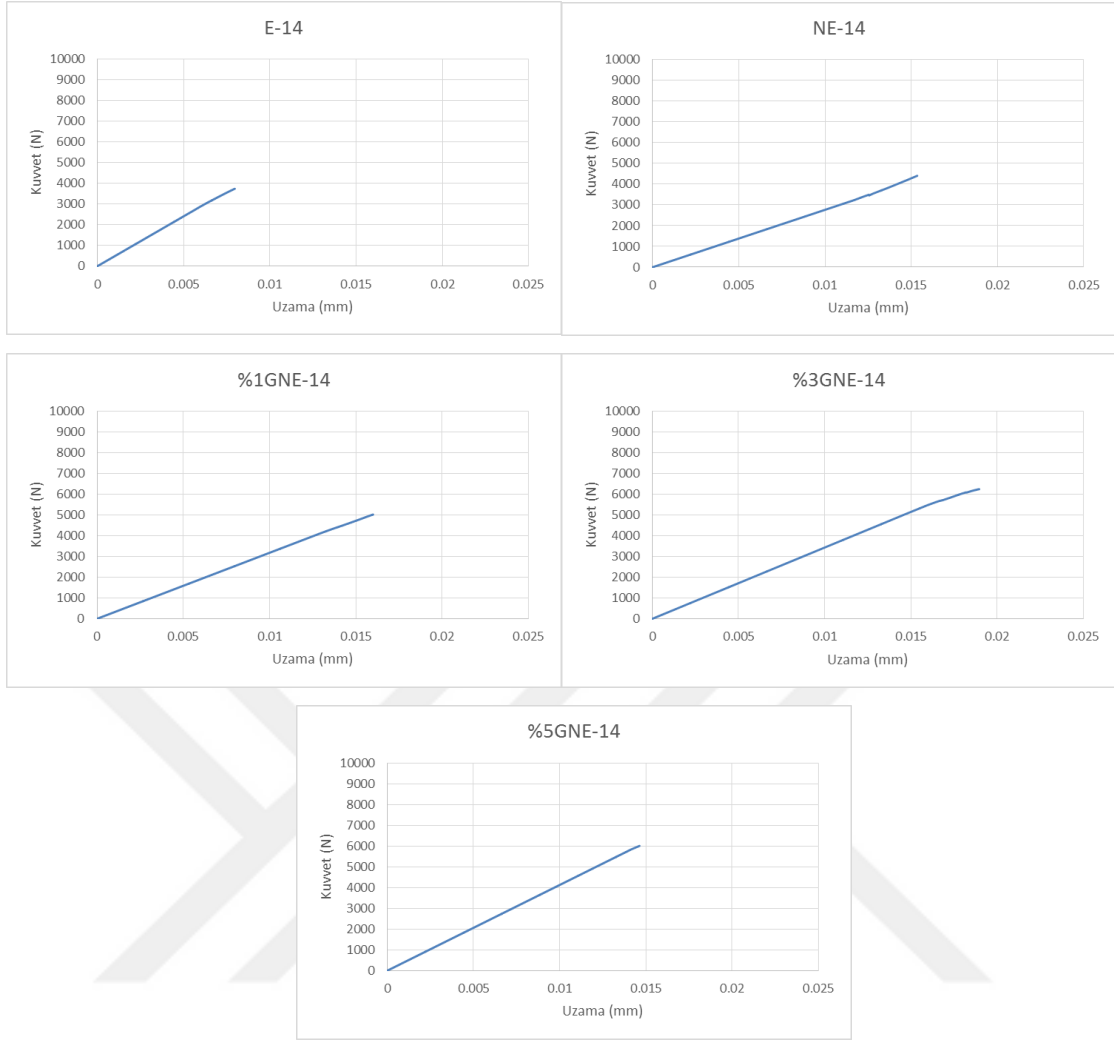
Saf suda 14 gün bekletilmiş numuneler için epoksi yapıştırıcıya; naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma değerleri 3737 Newton dan sırasıyla 4404, 5014, 6239, 6008 Newton'a çıkmış ve yine sırasıyla saf epoksili numuneye göre %17.84, %34.17, %66.95 ve %60.77 oranında artmıştır.

Saf suda 14 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının yapıştırma bölgelerinin alanı tüm numunelerde aynı olduğu için deney sonuçlarını yük-uzama grafiği üzerinde tartışmak yeterlidir. Ancak bu tez çalışmasının literatür ile kıyaslanabilmesi için ve daha bilimsel bir ifade için, 14 gün saf suda şartlandırılmış numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri Şekil 4.12. de toplu olarak verilmiştir. Böylece saf suda 14 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarına grafenin ve naylon 6.6 nanoelyafların etkisi daha rahat anlaşılmıştır.

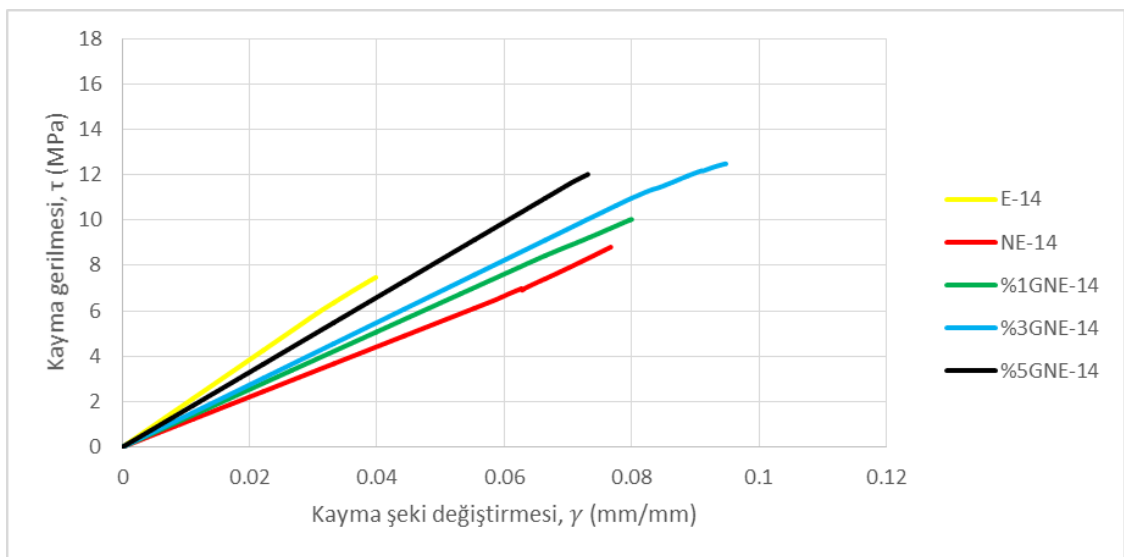
Şekil 4.12. de saf suda 14 gün şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımının 7.47 MPa' dır. Yapıştırma bölgesine naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile kayma dayanımı 8.81 MPa' a çıkarak %17.8 artış sağlanmıştır.

Saf suda 14 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 12.48 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre %66.9 artış sağlanmıştır.

%1 ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantıları ise sırayla 10.02 ve 12.02 MPa maksimum kayma gerilmesi değerlerine sahipken saf epoksili yapıştırma numuneye göre 34.2 ve 60.8 artış sağlamışlardır.



Şekil 4.11. Saf suda 14 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafikleri



Şekil 4.12. Saf suda 14 gün şartlandırılmamış bağlantıların kayma gerilmesi-kayma şekli değişimi grafiği

#### 4.2.5. Saf suda 21 gün şartlandırılmış numunelerin Mekanik Özellikleri

Saf suda 21 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının çekme testleri sonucunda elde edilen yük-uzama grafikleri Şekil 4.13. 'de verilmiştir.

Saf suda 21 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafiklerinde görüldüğü gibi saf epoksili yapıştırma numunesi, naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi %1 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi, %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma numunesi farklı farklı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Ayrıca numunelerin yapıştırma bölgelerinin maksimum uzama değerleri de değişkenlik göstermektedir.

Saf suda 21 gün bekletilmiş numuneler için epoksi yapıştırıcıya; naylon 6.6 nanoelyaf, %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf, %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 ilavesi ile yapıştırma bağlantılarının maksimum yük taşıma değerleri 2882 Newton' dan sırasıyla 3438, 4124, 4701, 4282 Newton'a çıkmış ve yine sırasıyla saf epoksili numuneye göre %19.29, %43.09, %63.12 ve %48.57 oranında artmıştır.

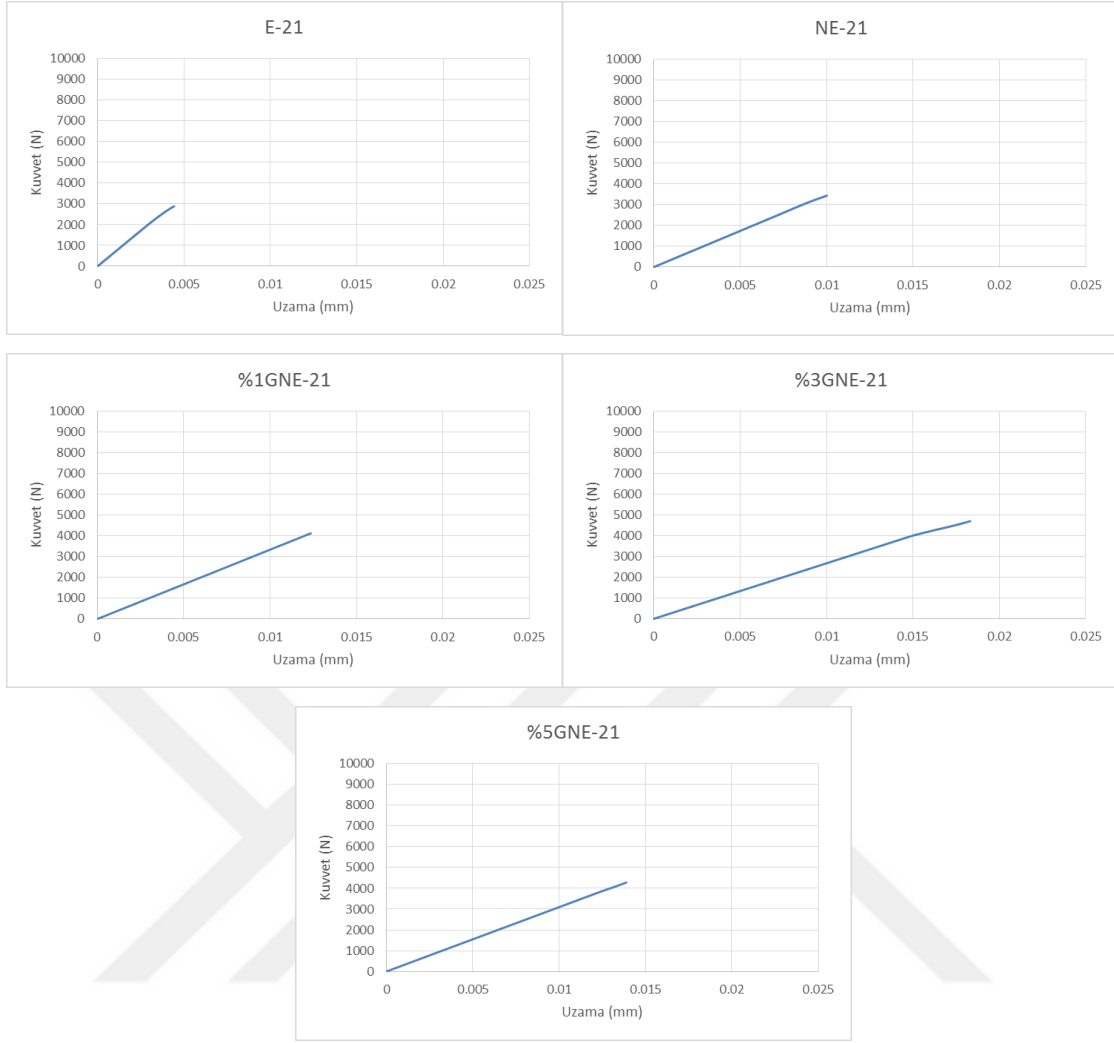
Saf suda 21 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının yapıştırma bölgelerinin alanı tüm numunelerde aynı olduğu için deney sonuçlarını yük-uzama grafiği üzerinde tartışmak yeterlidir. Ancak bu tez çalışmasının literatür ile kıyaslanabilmesi için ve daha bilimsel bir ifade için, 21 gün saf suda şartlandırılmış numunelerin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri Şekil 4.14. de toplu olarak verilmiştir. Böylece saf suda 21 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarına grafenin ve naylon 6.6 nanoelyafların etkisi daha rahat anlaşılmıştır.

Şekil 4.14. de saf suda 21 gün şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımının 5.76 MPa' dır. Yapıştırma bölgesine naylon 6.6 nanoelyaf ilavesi ile kayma dayanımı 6.87 MPa' a çıkarak %19.3 artış sağlanmıştır.

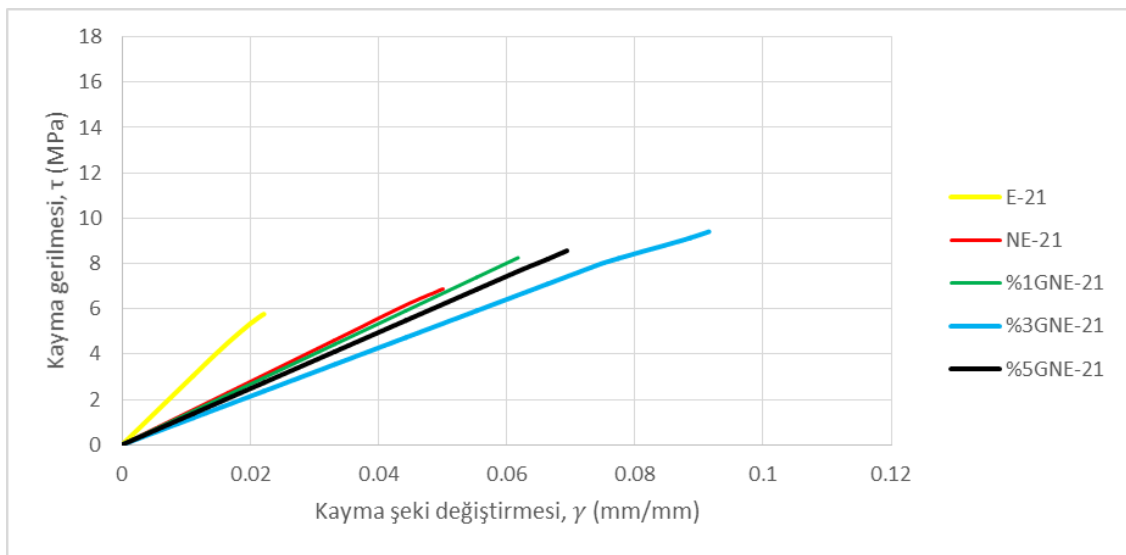
Saf suda 21 gün şartlandırılmış yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiklerindeki en fazla artış %3 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısında olmuştur. Bu numunede kayma dayanımı 9.40 MPa iken saf epoksili yapıştırma numunesine göre %63.1 artış sağlanmıştır.

%1 ve %5 grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksili yapıştırma bağlantıları ise sırayla 8.25 ve 8.56 MPa maksimum kayma gerilmesi değerlerine sahipken saf epoksili yapıştırma numuneye göre 43.1 ve 48.6 artış sağlamışlardır.





Şekil 4.13. Saf suda 21 gün bekletilmiş numunelerin yük-uzama grafikleri



Şekil 4.14. Saf suda 21 gün şartlandırılmamış bağlantıların kayma gerilmesi-kayma şekli değişimi grafiği

#### 4.2.6. Saf suda şartlandırmanın etkisi

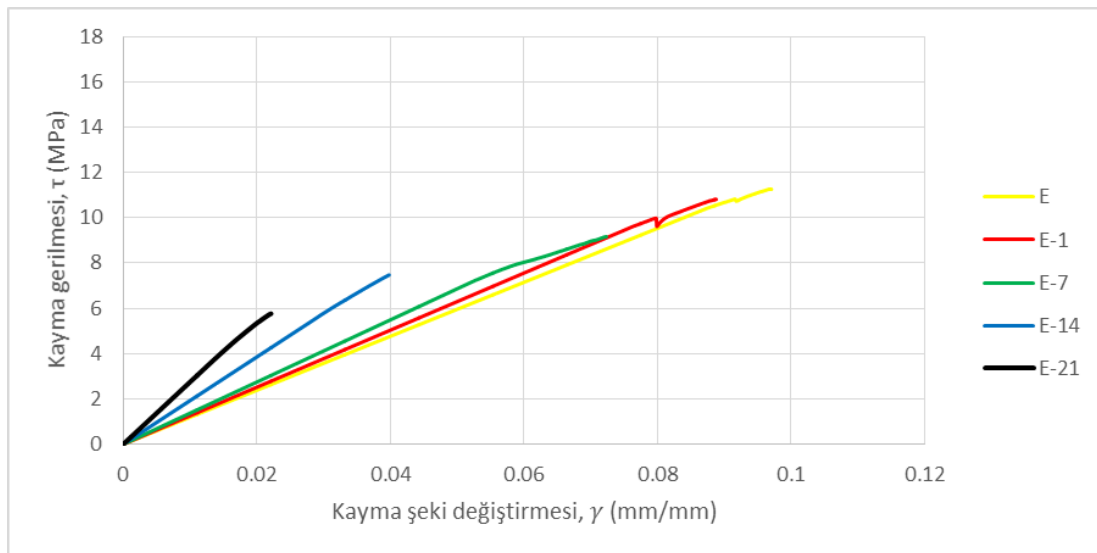
1, 7, 14, 21 günde saf suda şartlandırılmış tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarının aksenal çekme testleri yapılmış ve kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri önceki başlıklarda irdelenmiştir. Bu bölümde ise her bir numune türünün saf suda şartlandırma etkisi incelenecektir.

Farklı günlerde suda şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği Şekil 4.15. de verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi saf suda bekletme işlem süresi arttıkça saf epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma gerilmeleri ve maksimum şekil değişimlerinde azalma olmuştur.

Şekil 4.15. de hiç şartlandırılmamış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımı 11.71 MPa dır. Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda ise bu değerler sırasıyla 10.81 MPa, 9.16 MPa, 7.47 MPa, 5.76 MPa' a düşmüştür.

Hiç şartlandırılmamış saf epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımında Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda sırasıyla %7.7, %21.8, %36.2, %50.8 düşüş yaşanmıştır.

Bu durum saf epoksili yapıştırıcıların saf sudan oldukça fazla miktarda etkilendiğini göstermektedir.



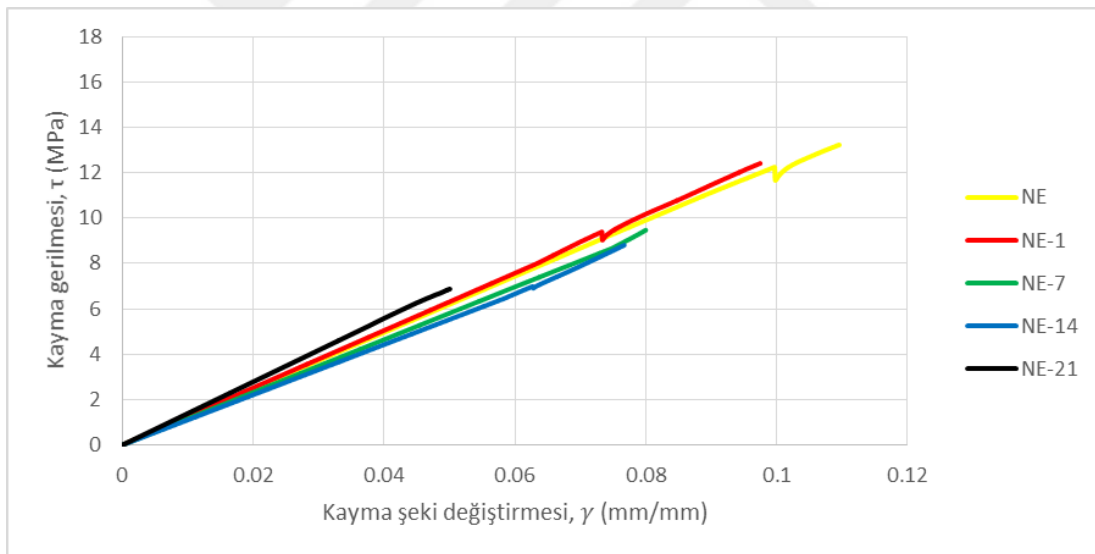
Şekil 4.15. Farklı günlerde suda şartlandırılmış saf epoksili yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği

Farklı günlerde suda şartlandırılmış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği Şekil 4.16. da verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi saf suda bekletme işlem süresi arttıkça naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma gerilmeleri ve maksimum şekil değişimlerinde azalma olmuştur.

Şekil 4.16. da hiç şartlandırılmamış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımı 13.22 MPa dır. Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda ise bu değerler sırasıyla 12.41 MPa, 9.46 MPa, 8.81 MPa, 6.87 MPa' a düşmüştür.

Hiç şartlandırılmamış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımında Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda sırasıyla %6.1, %28.4, %33.4, %48.0 düşüş yaşanmıştır.

Bu durum naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların saf sudan oldukça fazla miktarda etkilendiğini göstermektedir.

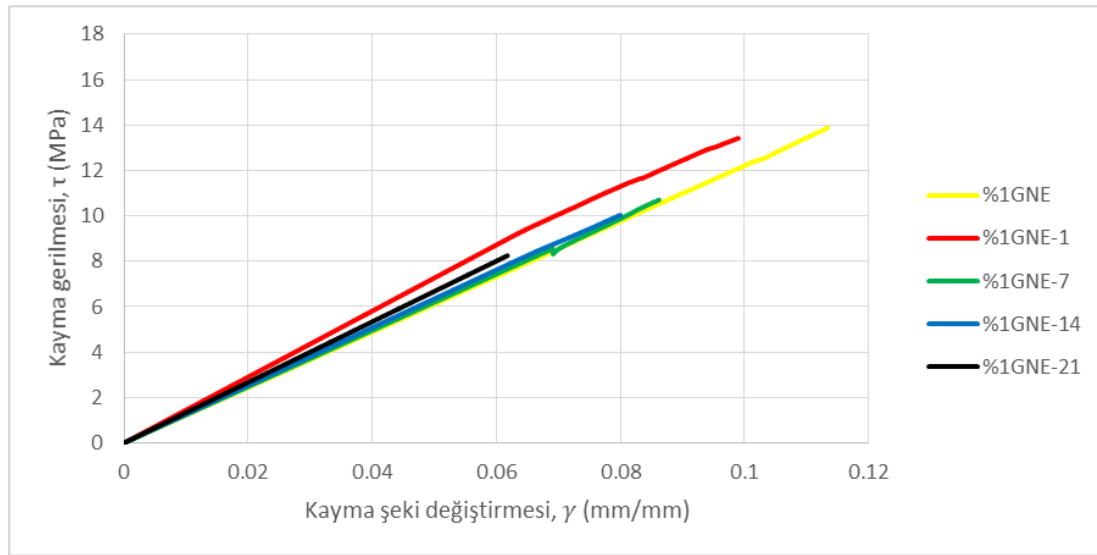


Şekil 4.16. Farklı günlerde suda şartlandırılmış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği

Farklı günlerde suda şartlandırılmış %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafiği Şekil 4.17. da verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi saf suda bekletme işlem süresi arttıkça %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma gerilmeleri ve maksimum şekil değişimlerinde azalma olmuştur.

Şekil 4.17. da hiç şartlandırılmamış %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımı 13.88 MPa dır. Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda ise bu değerler sırasıyla 13.42 MPa, 10.71 MPa, 10.02 MPa, 8.25 MPa' a düşmüştür.

Hiç şartlandırılmamış %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımında Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda sırasıyla %3.3, %22.8, %27.8, %40.6 düşüş yaşanmıştır.

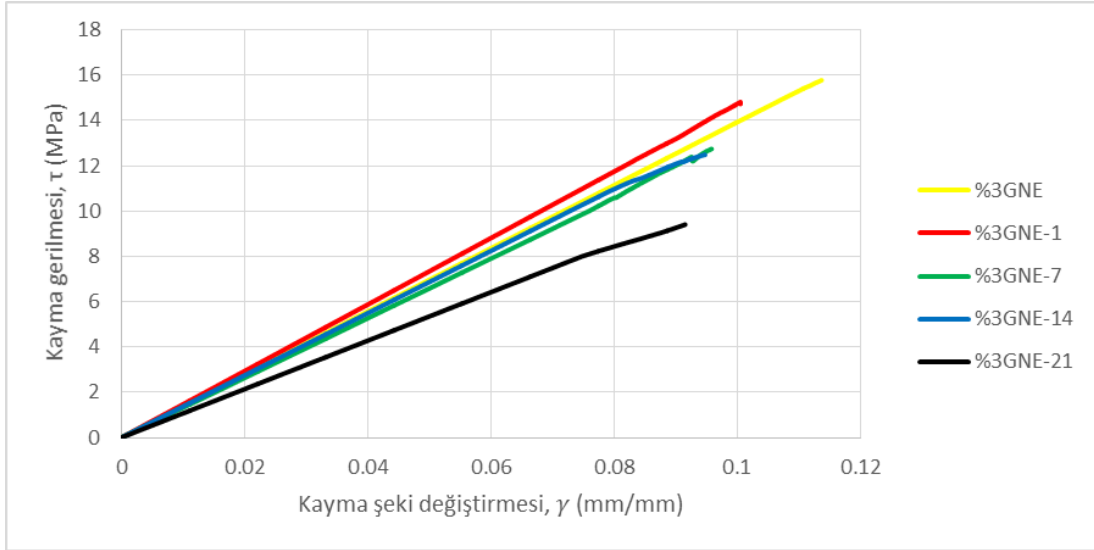


Şekil 4.17. Farklı günlerde suda şartlandırılmış %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değişimi grafiği

Farklı günlerde suda şartlandırılmış %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değişimi grafiği Şekil 4.18. de verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi saf suda bekletme işlem süresi arttıkça %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma gerilmeleri ve maksimum şekil değişimlerinde azalma olmuştur.

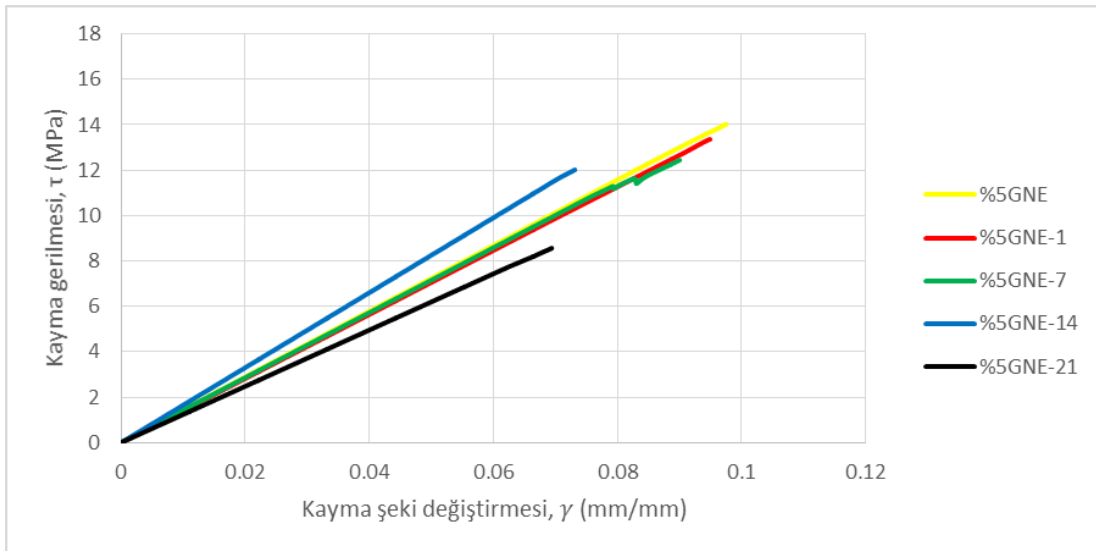
Şekil 4.18. de hiç şartlandırılmamış %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımı 15.77 MPa dır. Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda ise bu değerler sırasıyla 14.81 MPa, 12.74 MPa, 12.48 MPa, 9.40 MPa' a düşmüştür.

Hiç şartlandırılmamış %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımında Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda sırasıyla %6.1, %19.2, %20.9, %40.4 düşüş yaşanmıştır.



Şekil 4.18. Farklı günlerde suda şartlandırılmış %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi grafiği

Farklı günlerde suda şartlandırılmış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi grafiği Şekil 4.19. da verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi saf suda bekletme işlem süresi arttıkça %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma gerilmeleri ve maksimum şekil değışimlerinde azalma olmuştur.



Şekil 4.19. Farklı günlerde suda şartlandırılmış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi grafiği

Şekil 4.19. da hiç şartlandırılmamış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımı 14.2 MPa dır. Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda ise bu değerler sırasıyla 13.35 MPa, 12.44 MPa, 12.02 MPa, 8.56 MPa' a düşmüştür.

Hiç şartlandırılmamış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısının kayma dayanımında Saf suda 1, 7, 14, 21 gün şartlandırma sonunda sırasıyla %6.0, %12.4, %15.3, %39.7 düşüş yaşanmıştır.

Genel olarak bakıldığında saf su tüm yapıştırma numuneleri hem maksimum kayma gerilmesi hem de maksimum uzama kapasitesi bakımından olarak olumsuz etkilemiştir. Ancak tüm suda şartlandırma koşullarında kendi içlerinde %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcılar en iyi sonucu vermiştir.

Ayrıca tüm grafikler dikkatli incelendiğinde genel olarak naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli numuneler saf epoksili numunelere kıyasla saf sudan yüzde oranı olarak daha az etkilenmiştir.

Naylon 6.6 nanoelyafın yanı sıra grafen katkıları da yapıştırma bağlantılarının sudan etkilenme oranlarını azaltmıştır.

### 4.3 Yapıştırma Yüzeylerinin Hasar Analizi

Tez çalışması kapsamında yapılan eksenel çekme testlerinin grafikleri bize maksimum kuvvet, maksimum uzama, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma şekil değiştirmesi konularında fikir verse de numunelerinin makroskobik, mikroskobik ve SEM görüntüleri olmadan sıhhatli yorumlar yapmak olanaksızdır. Bu yüzden bu başlık altında yapıştırma bölgelerinin çeşitli görüntüleri sayesinde oluşan mekanizmalar, kırılma hasarları incelenecektir.

Eksenel çekme testleri tamamlanan numuneler önce gruplar halinde ayrılmış ve fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde kırılma türleri hakkında genel yaklaşımlarda bulunulmuştur. Yapıştırıcının çalışma mekanizması nanoelyafların tahmini işleyişleri anlatılmıştır.

İkincil olarak ise fotoğrafları çekilen numunelerin yapıştırma bölgelerinin mikroskobik görüntülerine yüzeylere çok yaklaşılmadan bakılmıştır. Böylece gözle görülmesi zor olan detaylar açıklanmıştır.

Daha sonra numunelerin yapıştırma yüzeylerinden 1x1 cm<sup>2</sup> lik parçalar kesilerek SEM cihazında görüntüleri alınmıştır.

### 4.3.1 Yapıştırma yüzeylerinin makroskobik fotoğrafları

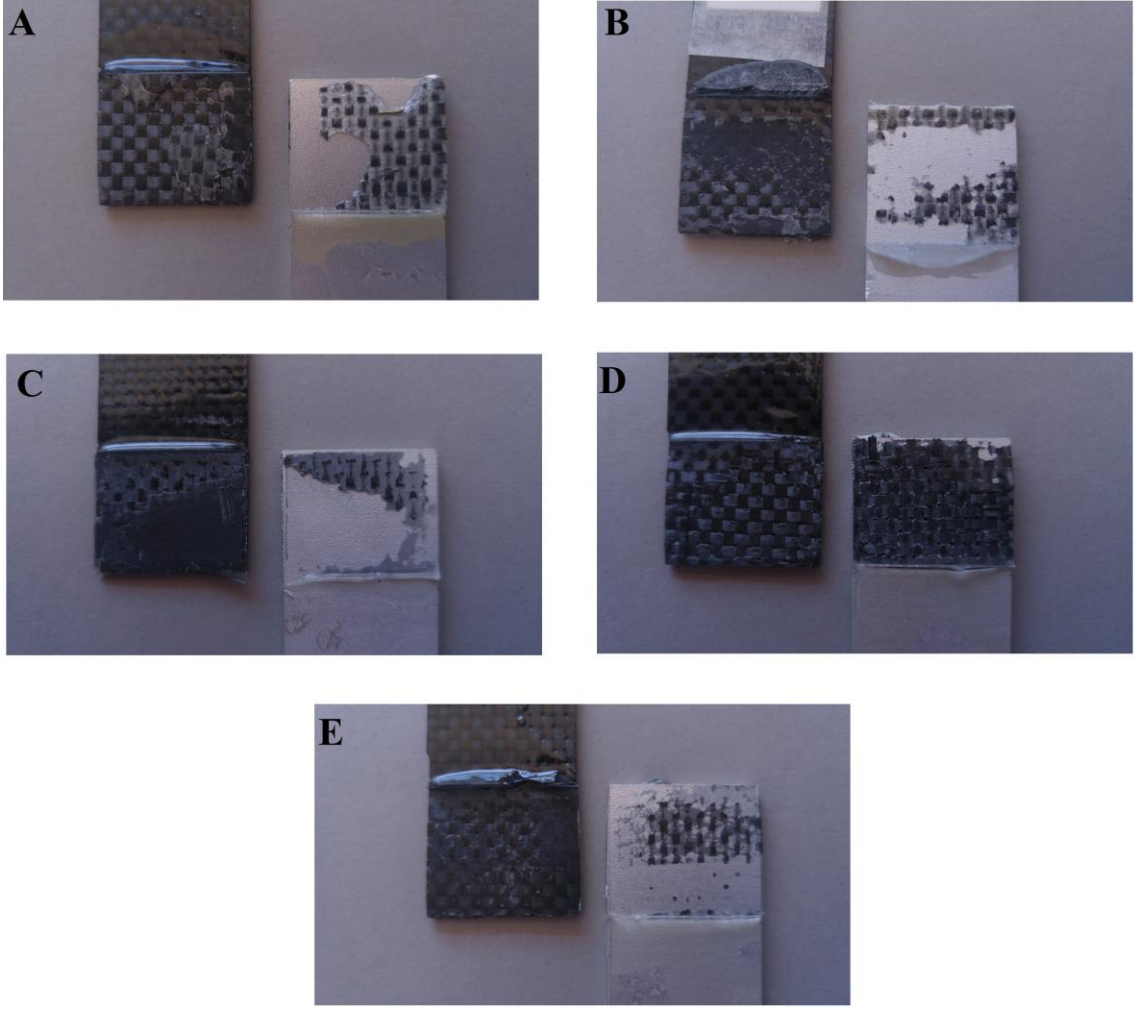
Epoksiye naylon 6.6 nanoelyaf ve grafen katkı nanoelyaf takviyeleri ile yapıştırmanın nasıl iyileştiğinin anlaşılması için hiç suda şartlandırılmamış numunelerin fotoğrafları Şekil 4.20. dedir. Fotoğrafta soldan sağa doğru sırayla hiç şartlandırılmamış epoksi, naylon 6.6 nano elyaf takviyeli epoksi, %1 grafen katkı naylon 6.6 nano elyaf takviyeli epoksi, %3 grafen katkı naylon 6.6 nano elyaf takviyeli epoksi ve %5 grafen katkı naylon 6.6 nano elyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların kırılma yüzeyleri gözükmetedir.

Fotoğrafa göre en iyi yapışmanın %3 grafen katkı naylon 6.6 nano elyaf takviyeli epoksidede olduğu aşıkardır. Bunun sebebi; çatlakların ilerlerken nano elyafın etkisi ile bazı bölgelerde yön değiştirmesidir. Yüzeyle bakıldığında nanoelyafların bir kısmının alüminyum yüzeyde, diğer kısmının ise kompozit yüzeyinde kaldığı görülmüştür. Ayrıca epoksi içerisindeki yük nanoelyaflara dağıtılmış ve nanoelyafların da yük taşıması sağlanmıştır. Bu fotoğrafa bakarak grafenin etkisinin anlaşılması imkânsızdır. Çünkü grafen gözle görülemeyecek nano boyuttadır. Dolayısı ile grafenin işleyişi hakkındaki bilgiler SEM fotoğraflarında verilecektir. SEM fotoğraflarında her ne kadar grafenler nanoelyaflar içinde saklandıklarından dolayı gözükme de elyafların yapısını ve kopma davranışlarını nasıl değiştirdikleri ifade edilecektir.

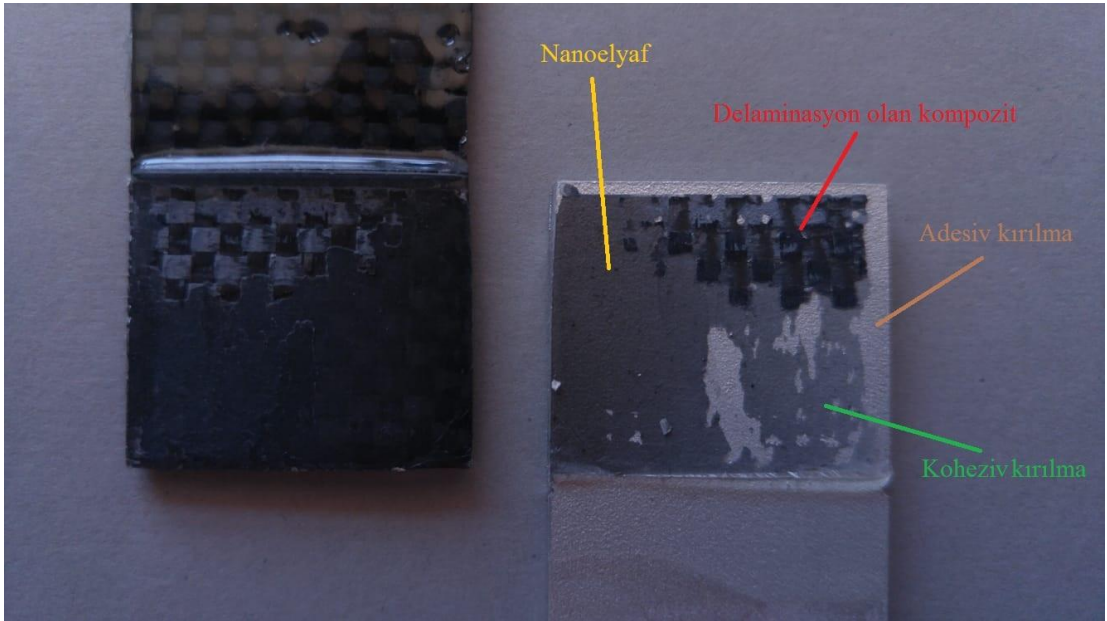
Tüm suda şartlandırma durumu için de Şekil 4.20. de ki görüntülerin benzerleri tespit edilmiştir. Bütün şartlandırma durumlarında %3 grafen katkı naylon 6.6 yapıştırıcılarda en iyi yapışma gözlemlenmiştir.

İyi bir yapışmada çatlaklar ilerlerken nano elyafın etkisi ile bazı bölgelerde yön değiştirir (Şekil 4.21.).

Şekil 4.21. de kırılma adesiv ve kohesiv kırılma türleri, kırılma sırasında oluşan hasar türleri gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Şekil 4.20. Suda şartlandırılmamış numunelerin kırılma yüzeylerinin fotoğrafları  
( A: E, B: N66E, C: %1GN66E, D: %3GN66E, E: %5GN66E )



Şekil 4.21. İyi yapışma sağlanmış grafen katkılı naylon 6.6 takviyeli epoksi yapıştırıcı

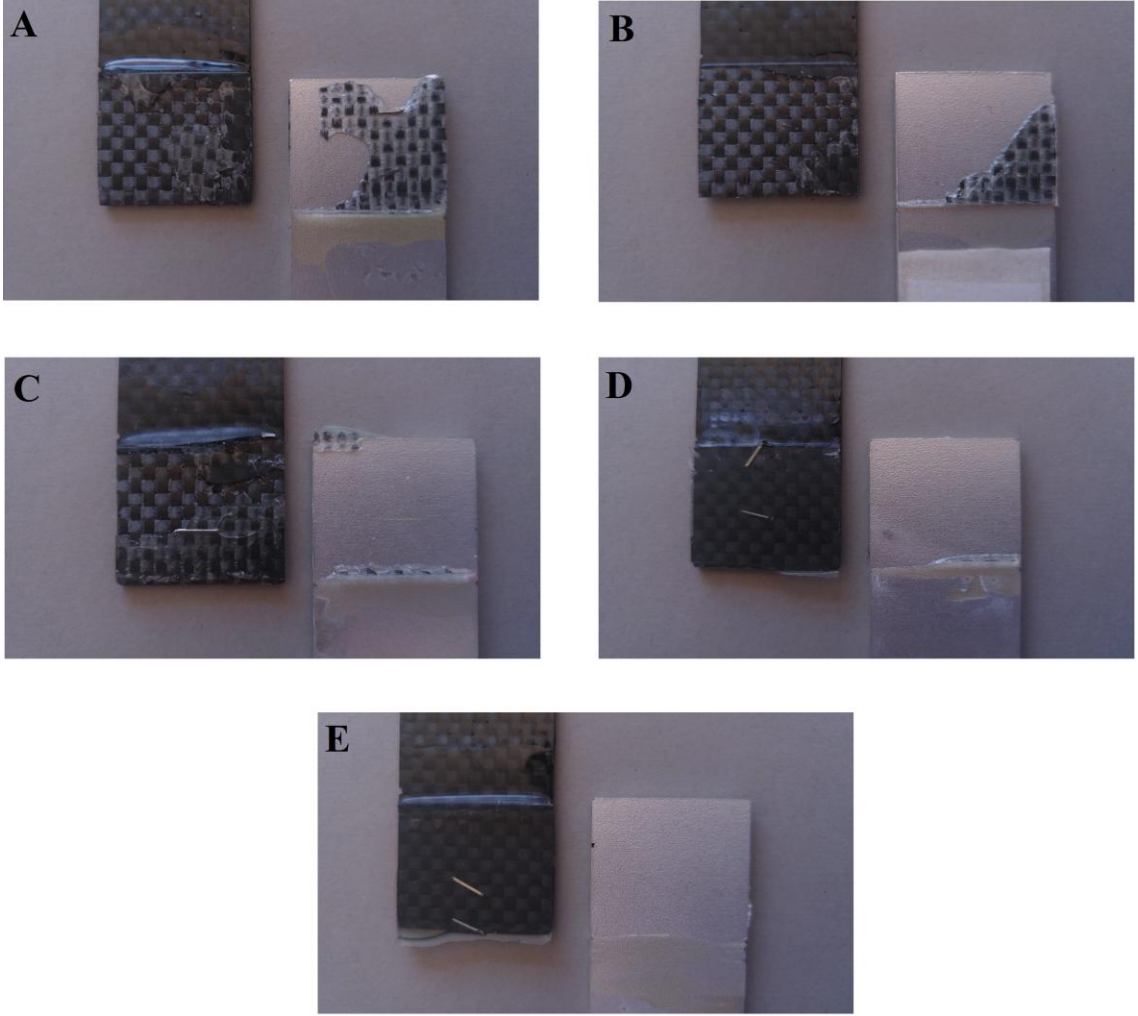


Saf suyun yapıştırma bağlantıları üzerindeki etkisinin gözlemlenebilmesi için her numune grubunun ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

Şekil 4.22 de farklı sürelerde saf suya maruz kalmış saf epoksili yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeylerinin fotoğrafı vardır. Fotoğrafta soldan sağa sırasıyla hiç suda şartlandırılmamış, 1, 7, 14, 21 gün saf suda şartlandırılmış numunelerin hasar görüntüleri vardır. Fotoğraf incelendiğinde saf suyun oluşturduğu olumsuz etki net bir şekilde gözükmemektedir. Ayrıca suda bekleme süresi uzadıkça yapıştırılmalardaki olumsuzluk artmıştır. Bu durum saf suyun yapıştırma yüzeylerinde, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasına sızmasından kaynaklanmaktadır. Yapıştırıcı ile yüzey arasına sızan su yapıştırma kalitesini düşürmüş ve adesiv kırılmalara neden olmuştur.

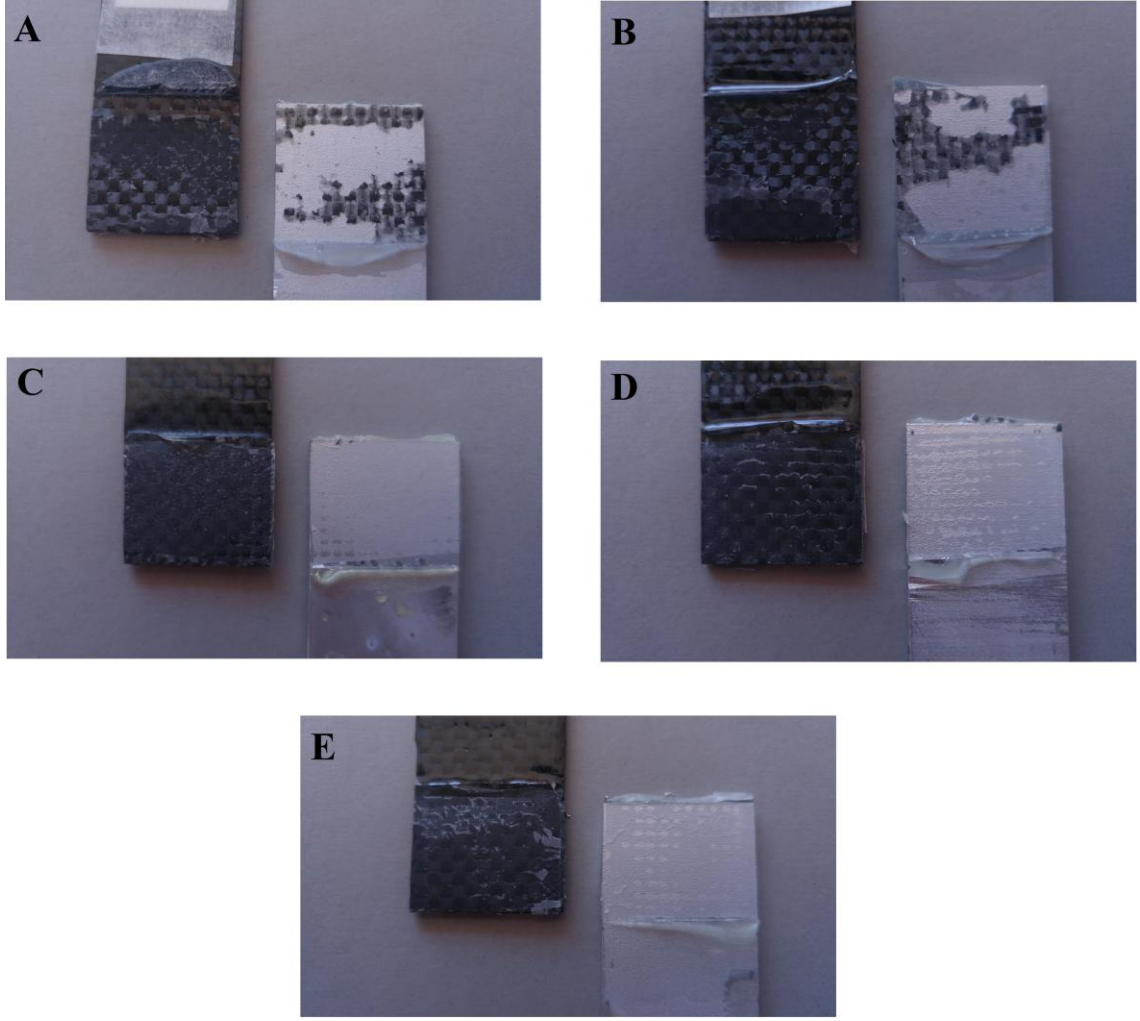
FTIR grafiklerinde saf su ile epoksinin kimyasal olarak tepkimeye girmediği grafiklerdeki bağların bulunduğu tepe noktalarının değerlerinin değişmemesinden anlaşılmaktadır. Dolayısı ile saf suyun yapıştırıcıdan daha çok ara yüzeyleri etkilediği çıkarımı yapılabilir.

Suda bekleme süresi arttıkça su, yapıştırıcı ile alüminyum yüzeyinin arasına daha çok girmiş ve daha çok tahribat yapmıştır. Bu durumun neticesi olarak alüminyum yüzeydeki adesiv kırılma miktarı artmıştır.



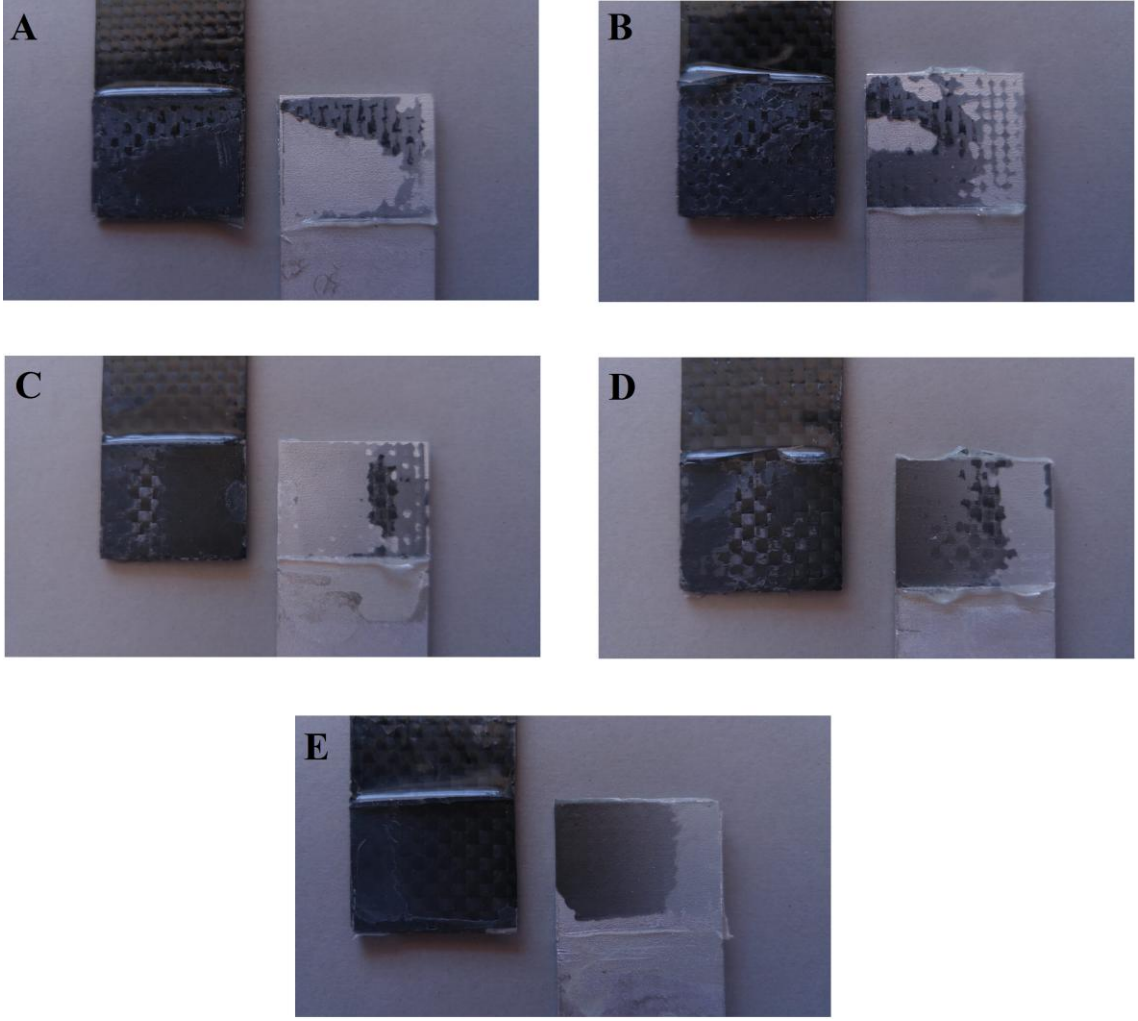
Şekil 4.22. Farklı günlerde saf suya maruz kalmış epoksi yapıştırıcılar  
(A: E, B: E-1, C: E-7, D: E-14, E: E-21 )

Farklı sürelerde saf suya maruz kalmış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeylerinin fotoğrafında saf suyun oluşturduğu olumsuz etki açık bir şekilde gözükmemektedir (Şekil 4.23.). Ayrıca suda bekleme süresi uzadıkça yapıştırma bağlantıları bu durumdan daha da fazla etkilenmiştir. Bu durum saf suyun yapıştırma yüzeylerinde, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasına yapıştırma işlemini zayıflatmasından kaynaklanmaktadır. Yapışmadaki kırılmanın naylon 6.6 nanoelyaflar ile epoksi arasında adesiv olarak gerçekleşmemesi; naylon 6.6 nanoelyafların ile epoksinin mükemmel bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.23. Farklı günlerde saf suya maruz kalmış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların fotoğrafları (A: N66E, B: N66E-1, C: N66E-7, D: N66E-14, E: N66E-21 )

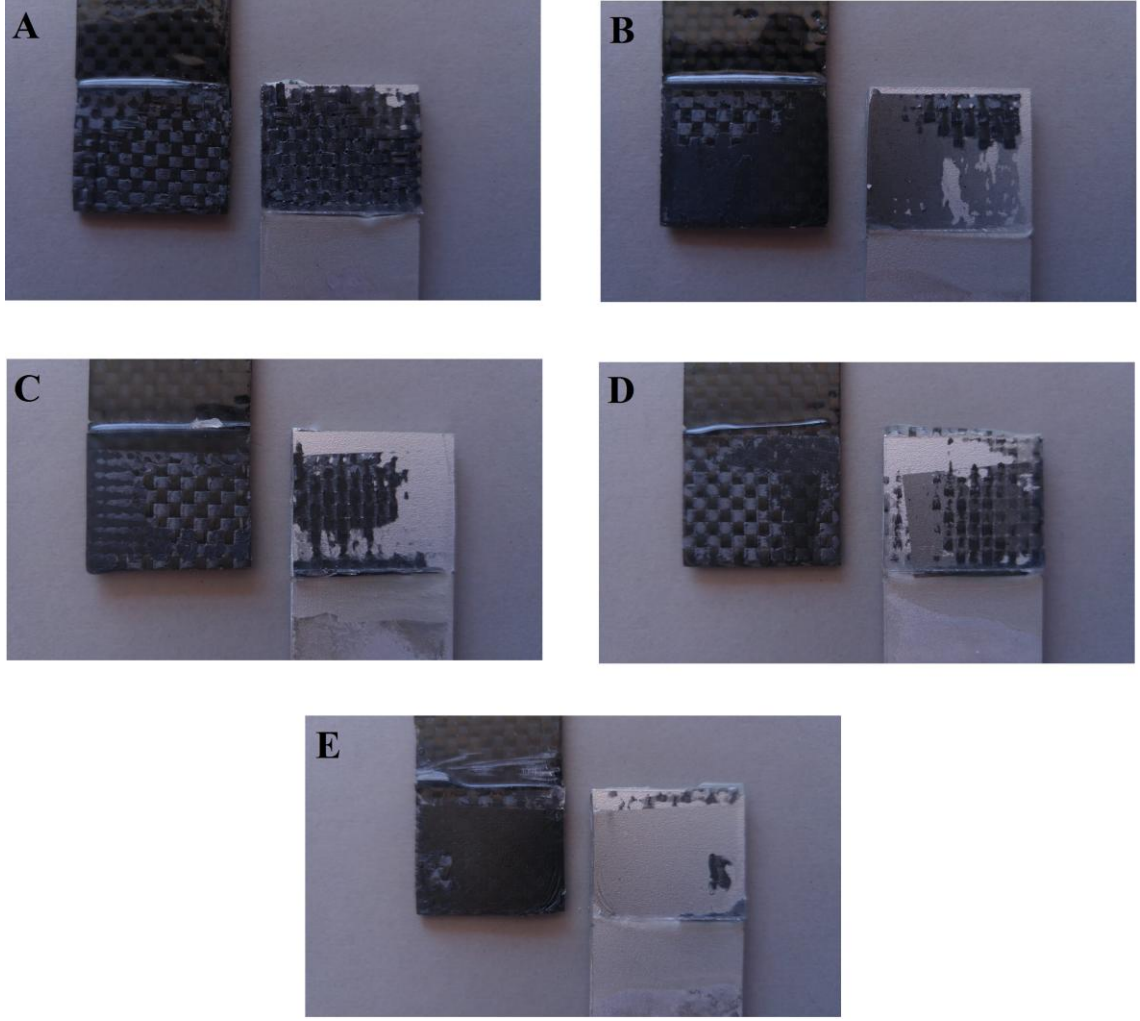
Şekil 4.24. de hiç suda şartlandırılmamış ve 1, 7, 14, 21 gün saf suya maruz kalmış %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeylerinin fotoğrafında saf suyun oluşturduğu olumsuz gözükmetedir. Ayrıca suda bekleme süresi uzadıkça %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantılarının şartlandırma işleminden daha da fazla etkilendiği görülmektedir. %1 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaflar ile epoksinin direk olarak birbirinden ayrılmaması; yapıştırıcı sisteminin mükemmel bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.24. Farklı günlerde saf suya maruz kalmış %1 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların fotoğrafları ( A: %1GN66E, B: %1GN66E-1, C: %1GN66E-7, D: %1GN66E-14, E: %1GN66E-21 )

Şekil 4.25. de farklı sürelerde saf suda şartlandırılmış ve hiç suda şartlandırılmamış %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf katkılı epoksili yapıştırma bağlantılarının kırılma yüzeylerinin fotoğrafı gösterilmiştir. Saf suyun oluşturduğu olumsuz etki net bir şekilde gözükmektedir. Suda bekleme süresi arttıkça yapıştırma bağlantıları bu durumdan daha da fazla etkilenmiştir.

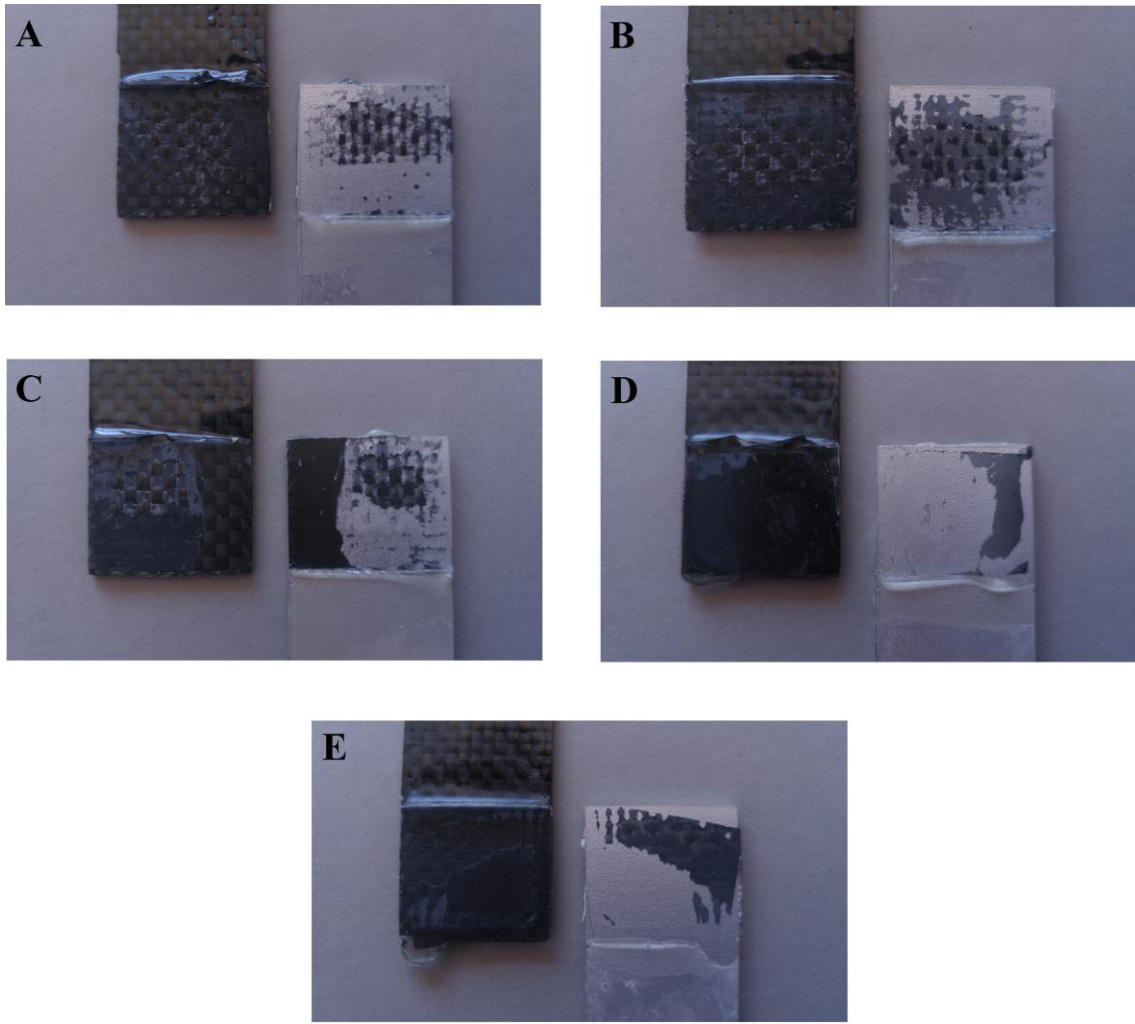
Hiç suda şartlandırılmamış %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırma bağlantısı tüm numuneler içinde en iyi yapışmaya sahip olsa da şartlanma etkisi ile bu yapıştırma bağlantısında zayıflamalar görülmüştür. Ancak bu zayıflamalar saf epoksili başta olmak üzere diğer tüm numune türlerine göre nispeten daha azdır.



Şekil 4.25. Farklı günlerde saf suya maruz kalmış %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların fotoğrafları ( A: %3GN66E, B: %3GN66E-1, C: %3GN66E-7, D: %3GN66E-14, E: %3GN66E-21 )

Hiç suda şartlandırılmamış ve 1, 7, 14, 21 gün suda şartlandırılmış %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların kırılma yüzeylerinin makroskobik görüntüleri Şekil 4.26. da verilmiştir. Suda bekleme süresi arttıkça numuneler bu durumdan etkilendiği ve yapıştırma sistemlerinde zayıflama meydana geldiği gözükmemektedir.

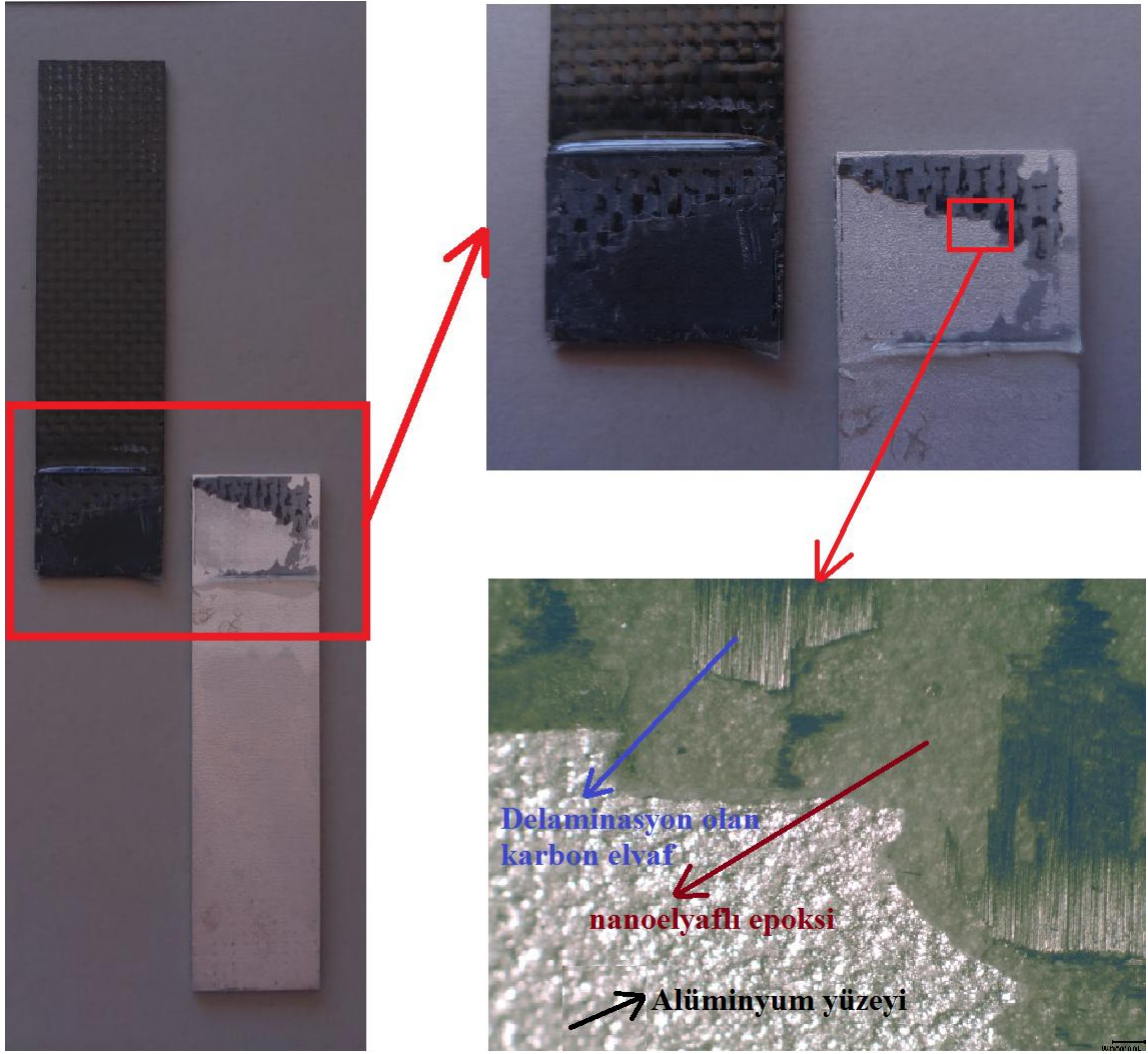




Şekil 4.26 Farklı günlerde saf suya maruz kalmış %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksi yapıştırıcıların fotoğrafları ( A: %5GN66E, B: %5GN66E-1, C: %5GN66E-7, D: %5GN66E-14, E: %5GN66E-21 )

#### 4.3.2 Yapıştırma yüzeylerinin mikroskopik fotoğrafı

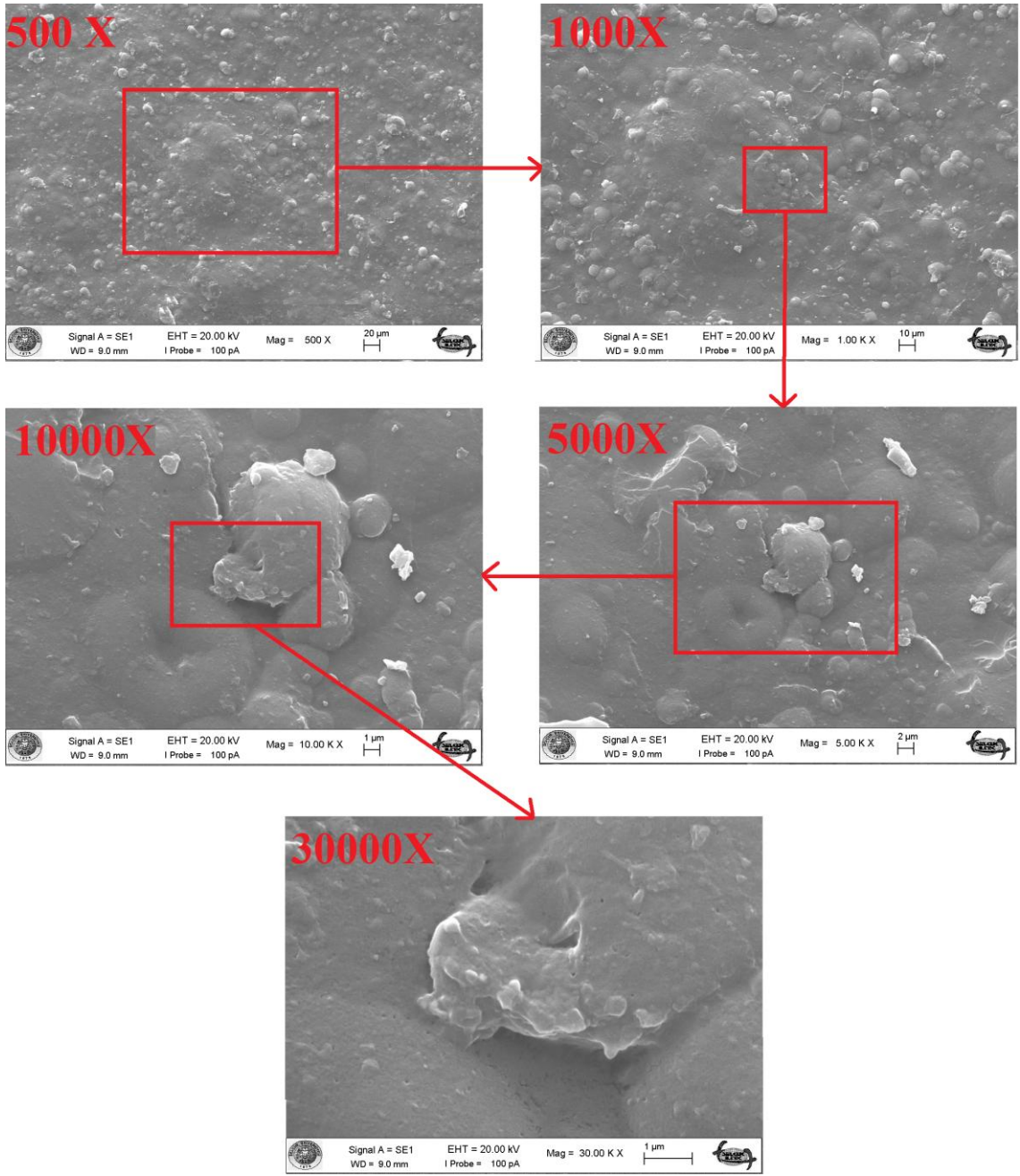
Bu bölümde saf su etkisinden ziyade kırılma yüzeylerindeki mekanizmalar anlatılmıştır. Mikroskop ile alınmış görüntülerde kırılma yüzeylerinin detayları görülmüştür (Şekil 4.27.). Böylece makroskopik görüntülere göre daha detaylı inceleme sağlanmıştır. Ancak makroskopik görüntülerde yorumların aynısı yapılmıştır. Çünkü mikroskopta yaklaştırma yeterli olmamış SEM görüntülerine ihtiyaç duyulmuştur. Kırılma mekanizmaları ve naylon 6.6 nanoelyafların işleyişleri sadece elyaflar görünebildiğinde yapılabilmektedir.



Şekil 4.27 Bir test numunesinin mikroskop görüntüsü ile detaylandırılması

#### 4.3.2 Yapıştırma yüzeylerinin SEM görüntüleri

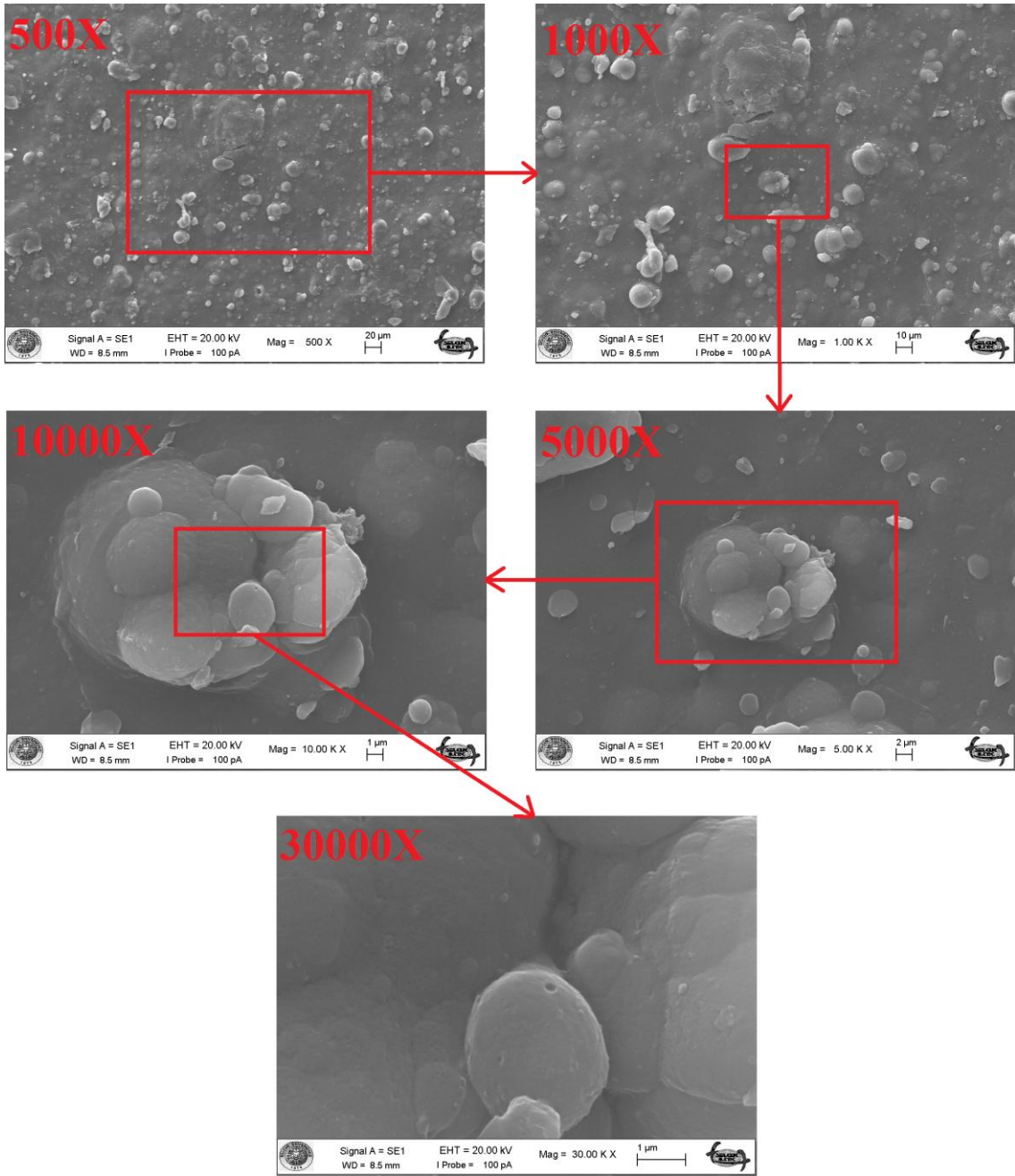
Bu tez çalışmasına deneyleri yapılan yapıştırma bağlantılarının çalışma mekanizmalarının işleyişlerinin anlaşılabilmesi için SEM görüntüleri alınmıştır. SEM görüntülerinde kırılma esnasında oluşan mekanik olaylar detaylı olarak açıklanmıştır. Şekil 4.28. de hiç suda şartlandırılmamış ve adesiv kırılmaya maruz kalmış saf epoksili yapıştırıcının SEM görüntüleri vardır.



Şekil 4.28. Suda şartlandırılmamış saf epoksi yapıştırıcının SEM görüntüleri

Her ne kadar yapıştırma işlemi çok titiz bir şekilde yapıldıysa da Şekil 4.28. de yapıştırıcının SEM görüntülerinde çeşitli yerlerde hava baloncukları görülmektedir. Makro boyuttaki hava kabarcıkları yapıştırma sırasında giderilebilirken bu mikro hava boşlukları giderilememiştir. Ayrıca şekilde mikro çatlaklar da görülmektedir. Bu numune saf epoksili numune olduğu için herhangi bir nano partiküle yada nanoelyafa rastlanmamıştır.



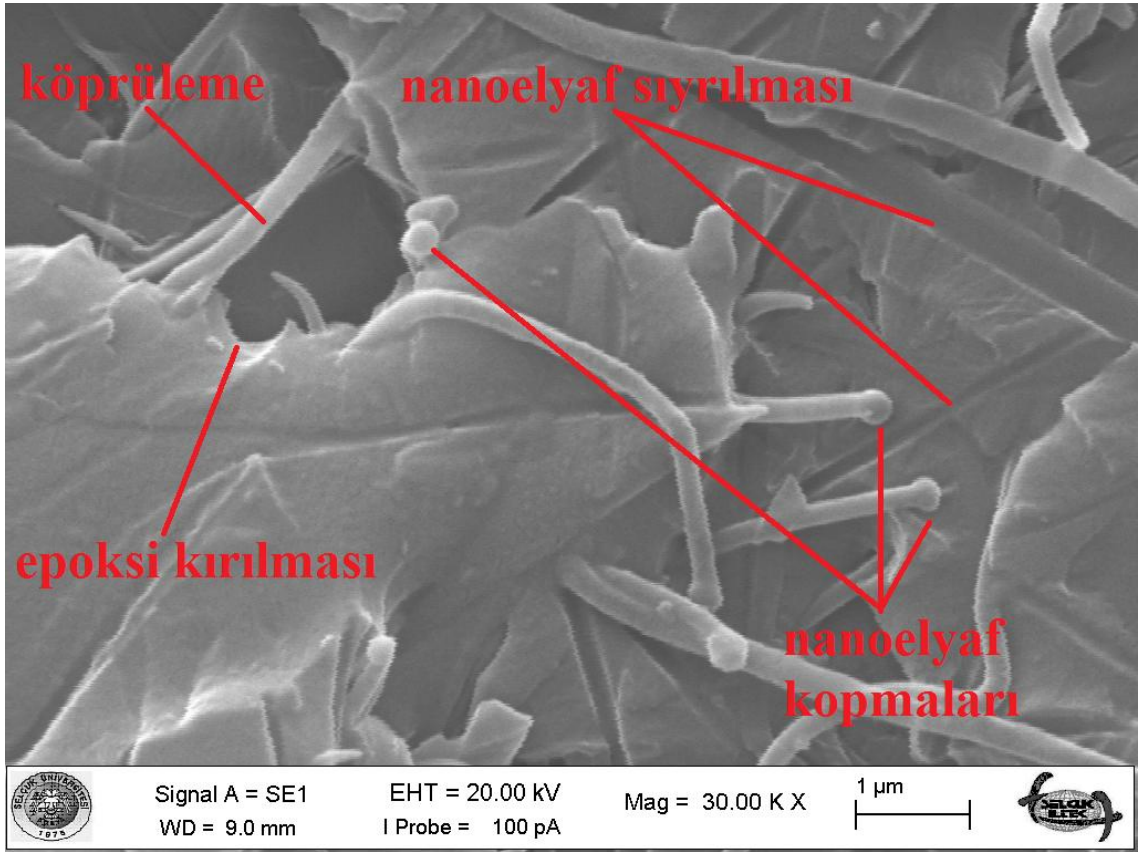


Şekil 4.29. Saf suda 21 gün şartlandırılmış ve tamamen adesiv kırılmış saf epoksi yapıştırıcının SEM görüntüleri

Şekil 4.29. da 21 gün saf suda bekletmenin etkisiyle ara yüzey bağlantısı zayıflamış ve tamamen adesiv kırılmış, bir epoksi yapıştırıcının SEM görüntüsü vardır.

Bu şekilde de aynı Şekil 4.28. deki yapıştırıcının SEM görüntülerindeki gibi çeşitli yerlerde hava baloncukları vardır. Kırılma tamamen adesiv olduğu için epoksi üzerinde çatlak oluşmadığı görülmektedir.

Şekil 4.28. ve 4.29. beraber incelendiğinde saf suyun ara yüzeylere girerek daha adesiv bir kırılmaya yol açtığı sonucu çıkartılabilir.



Şekil 4.30 Şartlandırılmamış nylon 6.6 nanoelyafly yapıştırıcının SEM görüntüsü

Şekil 4.30 da saf suda şartlandırılmamış nylon 6.6 nanoelyafly yapıştırıcının 30000X SEM görüntüsü verilmiştir. Gözle veya mikroskopta gözükmeyen nanoelyaflar burada yapıştırıcı içerisinde gözükmektedir. Nanoelyaflar epoksi ile bütünleşip daha iyi bir yapışma sağlamıştır. Daha iyi bir yapışma sağlanmasının temel nedeni nanoelyafların çatlayan epoksiyi köpülemesi ve bir arada tutmasıdır. Ayrıca bazı nylon 6.6 nanoelyaflar, yapıştırıcı içerisinde kırılmalar oluşurken epoksiden sıyrılarak kırılma enerjisinin dağıtılıp harcanmasına vesile olmuştur. Böylece yapıştırma bağlantısını kırmak için gereken enerji miktarı artmıştır. Bunların yanı sıra çekme testi sırasında bazı nanoelyaflar yük taşıyarak kopmuştur. Böylece nanoelyaflar takviye görevi görmüş ve yapıştırma bölgesi üzerine gelen kuvvetleri taşımıştır. Kopan nano elyaflar yine aynı şekilde kırılma enerjisinin dağıtılmasını ve harcanmasını sağlamıştır. Ayrıca nanoelyaflar kırılma çatlağının sürekli yön değiştirmesine ve böylece daha uzun çatlak yolu izlemesine neden olmuştur. Kırılma mekaniğinde kırılma; iki veya daha fazla yeni yüzey oluşumu için enerji harcanması olayı olarak tanımlanır (Anderson ve Anderson, 2005). Dolayısı ile nanoelyaflar, kırılma yüzey alanını yukarıda anlatılan çeşitli

mekanizmalarla arttırdığından dolayı yapıştırma bağlantısını kırmak için gereken enerji miktarı da artmıştır.

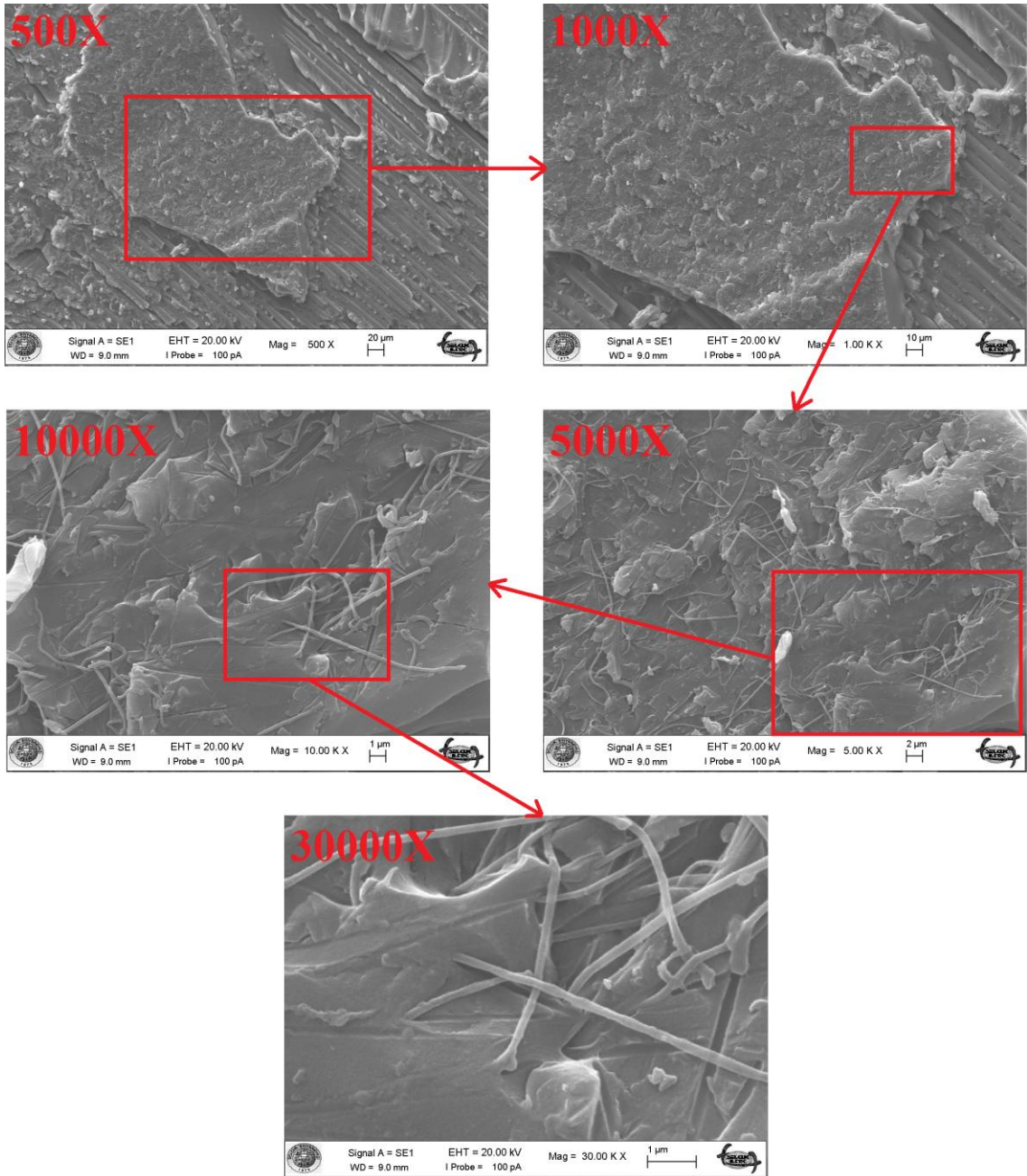
Şekil 4.31. de suda şartlandırılmamış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcının SEM görüntüleri vardır. Kohesif kırılmanın gerçekleştiği bölgeden karbon elyaf kompozit üzerinden alınan bu SEM görüntülerinde iyi bir yapışma gözlemlenmektedir. 500X ve 1000X yaklaşımlarda kırılan karbon elyaflar gözükürken 50000X, 100000X ve 300000X yaklaşımda nanoelyaflar gözükmektedir.

Nano elyaflara çeşitli yaklaşımlarda bakıldığında karmaşık dağılımları sayesinde yapıştırma ile yüzey arasında bağ görevi görerek yapıştırma ara yüzeyini güçlendirdiği söylenebilir.

Şekil 4.31. de hiçbir nanoelyaf üzerinde kalıntı epoksi bulunmamaktadır. Bu durum hasar sırasında naylon 6.6 nanoelyafın epoksi içerisinden sıyrıldığı anlamına gelir. Epoksi ile naylon 6.6 kimyasal olarak birbirine bağlanmadığı için kuvvet aktarımı sadece sürtünme yoluyla gerçekleşmektedir. Naylon 6.6 termoplastik ve epoksi termoset türü plastik olduğu için birbirleri arasında kimyasal bağ oluşmaz.

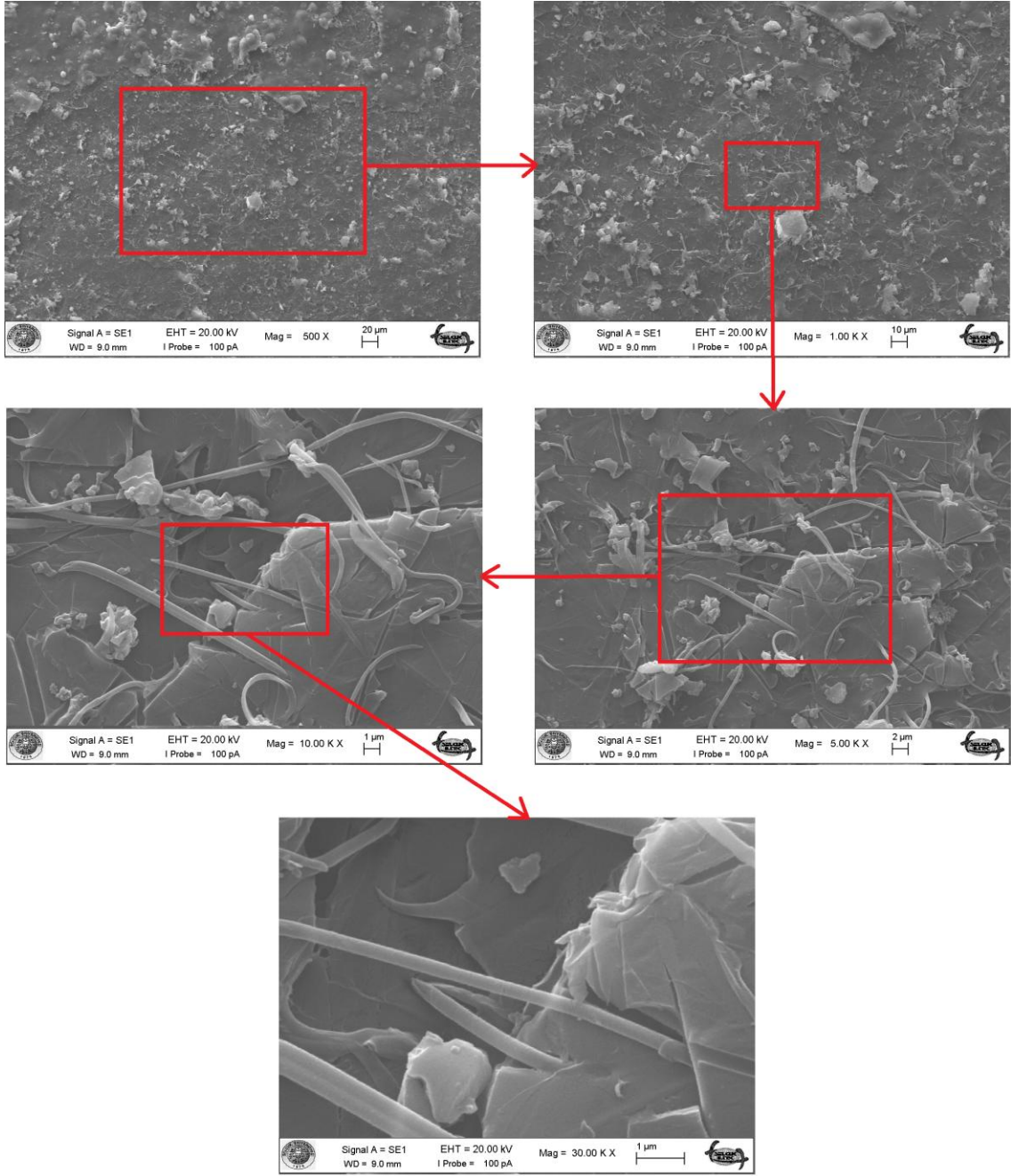
Şekil 4.32 de ise 21 gün suda şartlandırılmış naylon 6.6 nanoelyaf katkılı epoksili yapıştırıcıların SEM görüntüleri bulunmaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde nanoelyaf sıyrılmalarının, suda şartlandırılmamış numunelere göre (Şekil 4.31.) daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü saf su 21 gün içerisinde yavaş yavaş naylon 6.6 nanoelyaflar ile epoksi arasına sızmış ve nanoelyaf ile epoksi ara yüzeyini zayıflatmıştır.

Dolayısıyla yapıştırma bağlantısı üzerine eksenel yük geldiğinde 21 gün suda şartlandırılmış numunelerin naylon 6.6 nanoelyafları epoksi yapıştırıcısından, suda şartlandırılmamış bağlantılardaki nanoelyaflara göre daha kolay sıyrılmıştır.



Şekil 4.31. Suda şartlandırılmamış nylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

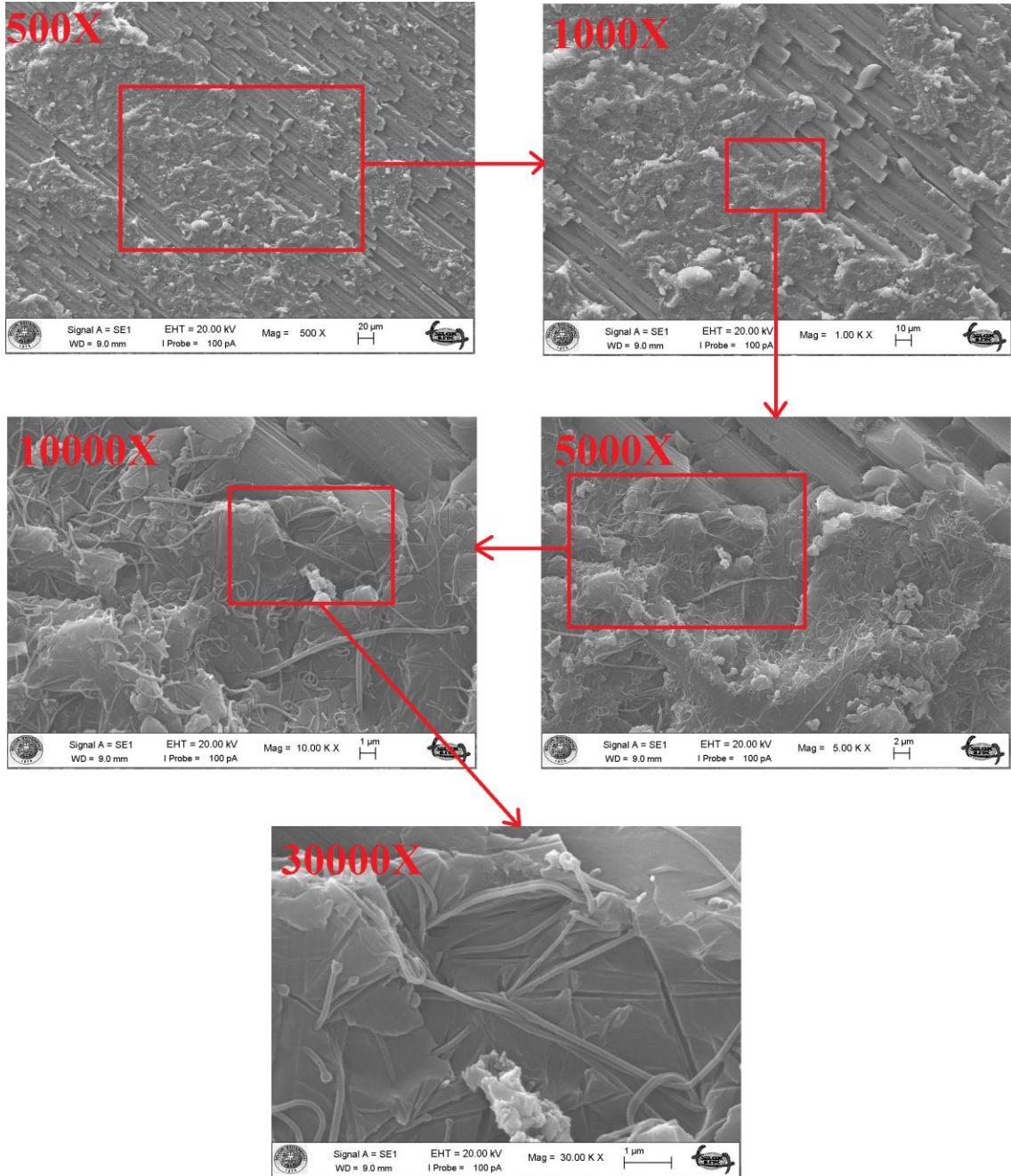




Şekil 4.32. Suda 21 gün şartlandırılmış naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

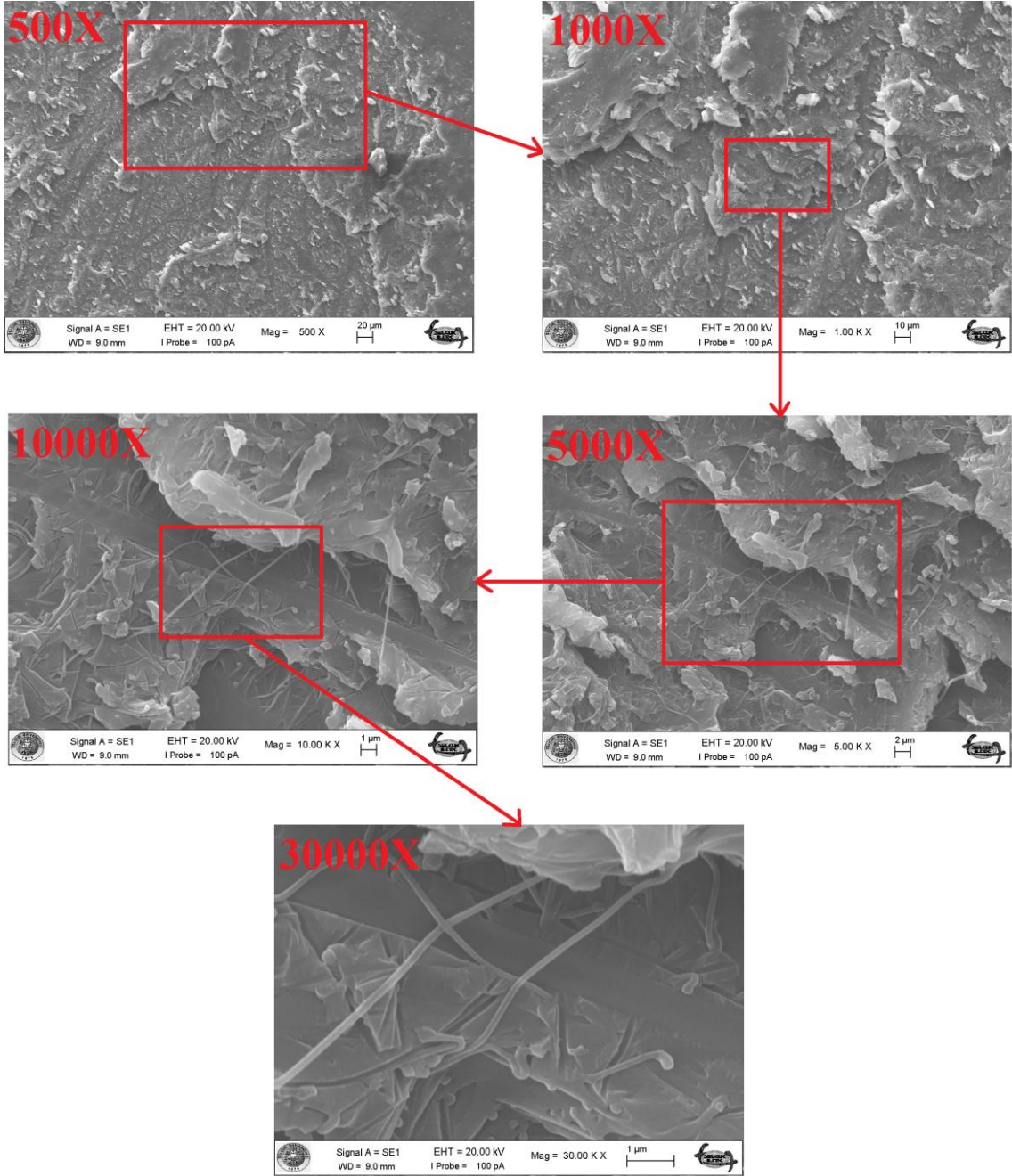
Şekil 4.33 de hiç suda şartlandırılmamış %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri bulunmaktadır. Kohesif kırılmanın gerçekleştiği bölgeden karbon elyaf kompozit üzerinden alınan bu SEM görüntülerinde iyi bir yapışma gözlemlenmektedir. 500X, 1000X, 5000X, 1000X yaklaşımlarda kırılan karbon elyaflar gözükürken 50000X, 10000X ve 30000X yaklaşımlarda grafen katkılı nanoelyaflar gözükmemektedir. Grafen nano parçacıkları bu SEM görüntülerinde bulunmamaktadır. Çünkü grafenler naylon 6.6 nanoelyafların

içerisinde gizlenmiştir. SEM yöntemi ile grafenleri görmek imkânsızdır. Grafenler sadece elyafların TEM görüntülerinde görüntülenebilmiştir. Grafen katkıli nano elyaflara çeşitli yaklaşımlarda bakıldığında karmaşık dağılımları sayesinde yapıştırma ile yüzey arasında bağ görevi görerek yapıştırma ara yüzeyini güçlendirdiği söylenebilir.



Şekil 4.33. Suda şartlandırılmamış %3 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Şekil 4.31. ve Şekil 4.33. kıyaslandığında grafen takviyesi ile birlikte nanoelyaf çapındaki azalma gözle görülür boyuttadır. Nanoelyaf çapı küçüldükçe istenilen yapıştırma yüzey alanı artışı sağlanmıştır. Böylece yapışma daha iyi sağlanmış ve grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcı daha yüksek eksenel gerilmelere dayanabilmiştir. Ayrıca grafen katkısı sayesinde nanoelyaflar daha dayanıklı hale gelmiştir.



Şekil 4.34. Suda 21 gün şartlandırılmış %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

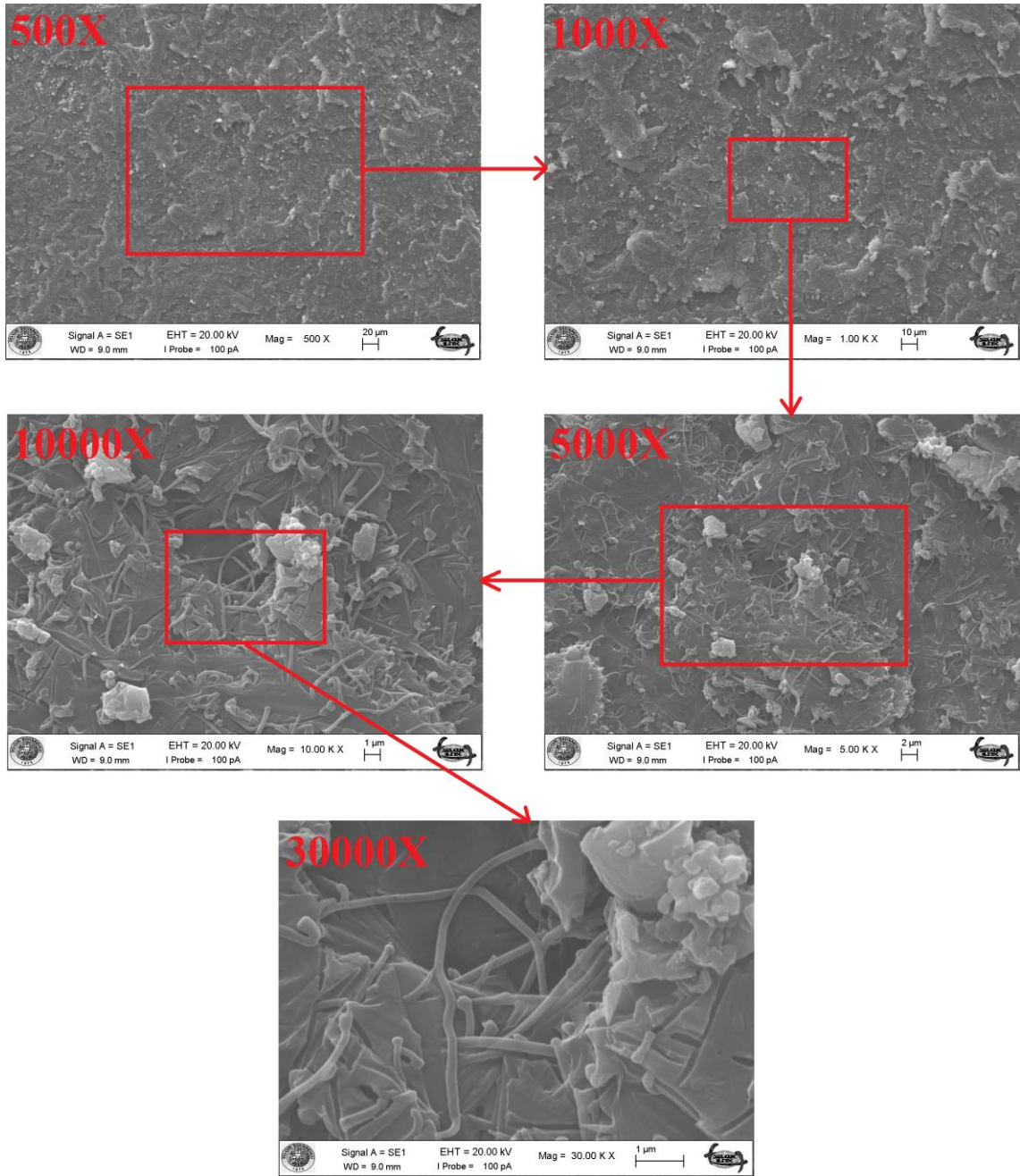


Şekil 4.34 de ise saf suda 21 gün boyunca bekletilmiş %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırma numunelerinin aksenal çekme testi sonucu oluşan yüzey hasarlarının SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntüler yapıştırıcının kohesif olarak kırılan bölgesinden alındığı için Karbon elyaflar bu SEM görüntülerinde gözükmemektedir. Ancak numuneler karbon elyaf takviyeli kompozit tarafından alındığı için aslında bu bölgelerin altında karbon elyaflar bulunmaktadır.

SEM görüntüleri incelendiğinde nanoelyaf sıyrılmalarının, suda şartlandırılmamış numunelere göre (Şekil 4.33.) daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü saf su 21 gün içerisinde yavaş yavaş grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaflar ile epoksi arasına sızmış ve nanoelyaf ile epoksi ara yüzeyini zayıflatmıştır. Şekil 4.34. ve şekil 4.33. kıyaslandığında saf suyun grafen ile naylon 6.6 nano elyaf arasında olumsuz etki oluşturduğu söylenemez. Çünkü elyaf kopmaları benzer şekilde gerçekleşmiştir.

Şekil 4.35 de hiç suda şartlandırılmamış %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri bulunmaktadır. Kohesif kırılmanın gerçekleştiği bölgeden karbon elyaf kompozit üzerinden alınan bu SEM görüntülerinde iyi bir yapışma gözlemlenmektedir. 500X, 1000X, 5000X, 1000X yaklaşımlarda kırılan karbon elyaflar gözükürken 50000X, 10000X ve 30000X yaklaşımlarda grafen katkılı nanoelyaflar gözükmemektedir. Yapıştırma bağlantısını zayıflatan grafen topaklanmaları SEM fotoğraflarında gözükmemektedir. Çünkü grafenler naylon 6.6 nanofiberlerin içerisinde gömülü olduğu için grafen topaklanmaları sadece TEM fotoğraflarında görülebilir. Ancak 30000X SEM görüntülerinde nanoelyafların şekillerinin bozuk olduğu ve bazı bölgelerde ani kalınlaşma olduğu gözükmemektedir. Bu durum grafen topaklanmasından dolayıdır. Ayrıca Şekil 4.35.; Şekil 4.33. ile kıyaslandığında grafenlerin topaklanmalarının nanoelyafları zayıflatığı ve bu durumdan dolayı daha çok fiber kopması olduğu gözlemlenmektedir. Grafen topaklanmaları ile beraber naylon 6.6 nanoelyafların homojen yapıları bozulmuştur. Bu durum yapıştırma bağlantısını olumsuz yönde etkilemiştir. Çünkü grafen topaklanmaları nanoelyaf içerisinde bir bölgede boğum halinde bulunarak bir nevi nanoelyafın sürekli olmasının önüne geçmiştir.

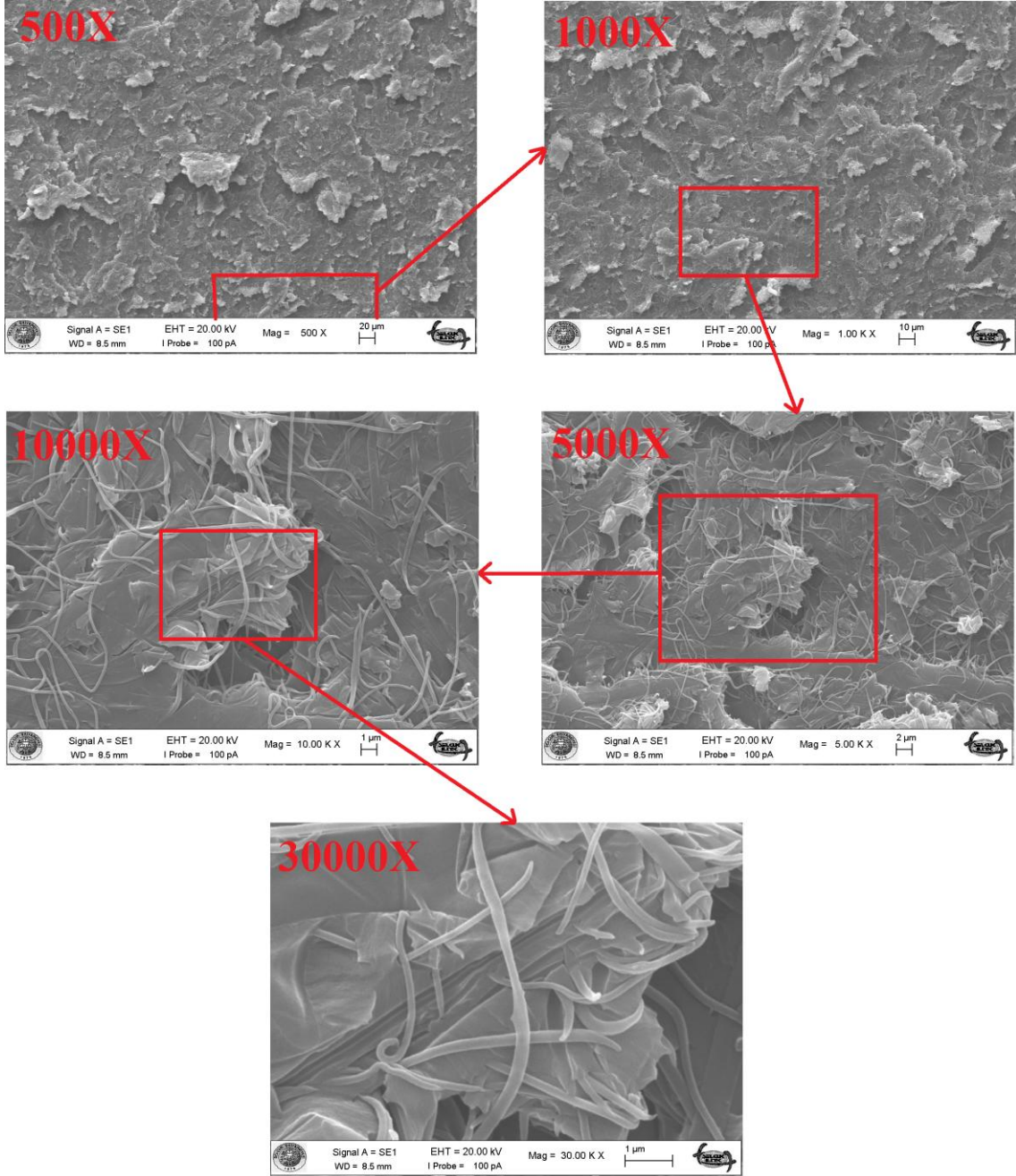




Şekil 4.35. Suda şartlandırılmamış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Şekil 4.36. da ise 21 gün saf suda şartlandırılmış %5 grafen katkıli naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli epoksili yapıştırıcıların kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri bulunmaktadır. Bu şekilde de aynı Şekil 4.35. de olduğu gibi grafen topaklanmaları görülememiş ancak topaklanmaların nanoelyaflar üzerindeki olumsuz etkileri görülmüştür. Grafen topaklanmaları düzgün ve sürekli naylon 6.6 nanoelyafların morfolojisini değiştirmiş ve homojenliğini bozmuştur. Kalitesi bozulan

nanoelyaflardaki kopma miktarı artmıştır. Ayrıca Şekil 4.36. ile Şekil 4.35. kıyaslandığında suda şartlanma sonrasında saf suyun nanofiberler ile epoksi arasına sızarak ara yüzey bağlantısını zayıflattığı gözükmektedir.



Şekil 4.36. Suda 21 gün şartlandırılmış %5 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcının kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında bir tarafı alüminyum diğer tarafı karbon elyaf kompozit olan epoksili yapıştırma bağlantıları hazırlanmıştır. Yapıştırma bağlantılarına naylon 6.6 nanoelyaflar konularak yapıştırıcının taşıyacağı yükün artması hedeflenmiştir. Ayrıca bu nanoelyafların içerisine ağırlıkça %1, %3, %5 oranlarında grafen konularak yapıştırma bağlantılarının daha fazla güçlendirilmesi hedeflenmiştir.

Yapıştırma bağlantılarının nano malzemelerle güçlendirilmesinin yanında tüm numune grupları 1, 7, 14, 21 günlerde saf su içerisinde bekletilmiş ve saf suyun bu yapıştırma bağlantıları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Naylon 6.6 nanoelyaf ve % 1, % 3 ve % 5 oranlarındaki grafen içeren nanoelyafların üretim aşamaları detaylı olarak açıklanmıştır. Nanoelyafların SEM, FT-IR, DSC analizleri yapılmış ve nanoelyaflar karakterize edilmiştir. Nano elyafların çapları, yönleri, yapıları, bozulma sıcaklıkları hakkında bilgiler verilmiştir.

Üretilen tüm numuneler aksel çekme testine tabi tutulmuş ve nanoelyaf takviyeli epoksili tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kayma dayanımı - birim şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. Grafiklerden çıkan sonuçlar ile kırılma yüzeylerinin makroskobik, mikroskobik ve SEM görüntüleri karşılaştırılmış, hasar mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

Bu tez yüksek lisans te çalışması kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan DSC testleri sonucunda naylon 6.6 nanoelyafların camsı geçiş sıcaklıklarının grafen takviyesi ile beraber arttığı gözlemlenmiştir.

Grafen takviyesi ile beraber nanoelyafların çapı azalmış, böylece yapıştırma için istenen yüzey alanı daha da arttırılmıştır

Epoksi ile hazırlanan yapıştırma bağlantılarına naylon 6.6 nanoelyaf takviyesi ile kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesinde artış sağlanmıştır.

Yapıştırma bağlantılarına takviye edilen naylon 6.6 nanoelyafların içine ağırlıkça %1 grafen konulunca elyafların çapları incelmış ve yapıştırma bağlantıları biraz daha dayanıklı hale gelmiştir.

Ancak naylon 6.6 nanoelyafların içine konulan grafen miktarı %5 olunca grafen nano partikülleri topaklanmış, naylon 6.6 nanoelyaflar bu birikmelerin olduğu yerden daha kolay kopmuş ve yapıştırma bağlantıları bu durumdan olumsuz etkilenmiştir.

Grafen topaklanmaları yapıştırma bağlantılarını kararsız hale getirmiştir. Bazı test sonuçları %1 grafen takviyesine göre daha iyi çıkarken bazıları daha kötü çıkmıştır. Ancak yine de %3 grafen takviyesi ile kıyaslandığında tüm numuneler kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesi açısından daha kötü çıkmıştır.

Kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesindeki maksimum artış ise %3 grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcılarda sağlanmıştır.

Saf suda şartlanma işlemi ile beraber saf epoksili yapıştırma bağlantılarının maksimum kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Üstelik şartlanma süresi uzadıkça bu değerler azalmaya devam etmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile kırılma yüzeylerinin makroskobik, mikroskobik ve SEM görüntüleri incelendiğinde saf suyun zaman içerisinde yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasına sızdığı ve yapıştırma bağlantısını zayıflattığı tespit edilmiştir.

Naylon 6.6 nanoelyaf takviyesi ile dayanımları artan yapıştırma numuneleri su içerisinde beklediğinde aynı şekilde maksimum kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Çünkü saf su zaman içerisinde yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasına sızmakla beraber aynı şekilde nanoelyaflar ile epoksi yapıştırıcı arasına da sızmıştır. Suda bekleme süresi uzadıkça bu olumsuz etki artmıştır Ancak yine de saf epoksi ile kıyaslandığında her şartlanma durumu için naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcıların dayanımları daha yüksek çıkmıştır.

Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyesi ile kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesi artan yapıştırma numuneleri su içerisinde şartlandırıldıklarında aynı şekilde yapıştırma bağlantısının zayıfladığı görülmüştür. Ancak yine de grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyesi ile hazırlanan tüm yapıştırmalar saf epoksili ve naylon 6.6 nanoelyaf takviyeli yapıştırıcılara göre daha iyi sonuç vermiştir.

Grafen katkılı naylon 6.6 nanoelyaf takviyesi ile hazırlanan tüm yapıştırmalar kendi aralarında değerlendirildiğinde ise %3 grafen katkısının tüm şartlandırma koşulları için kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirme değerlerinde en iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde kırılma mekanizmalarında nano elyafların etkisi gözlemlenmiştir.

SEM görüntüleriyle suda şartlandırma olayının nasıl gerçekleştiği, suyun yapıştırmayı nasıl etkilediği anlatılmıştır.

Sonuç olarak bu tezde epoksi yapıştırıcılar çeşitli takviyelerle güçlendirilmiş ve literatüre yeni bilgiler aktarılmıştır.

## 5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler sonucunda epoksi yapıştırıcılar daha yüksek kayma gerilmesi taşıyabilecek hale getirilmiştir. Diğer yandan ise geliştirilen yeni yapıştırıcının saf su ortamındaki davranışı incelenmiştir.

Yapıştırma alanında çalışmalar yapan araştırmacılar ve akademisyenler için ve havacılık sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar için aşağıdaki öneriler yapılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan grafen nanopartikülleri yerine, karbon nanotüp, bor nitür, nano kil gibi çeşitli nanopartiküller kullanılabilir ve sonuçlar bu tezdeki grafen katkıları ile kıyaslanabilir.

Bu tezde %3 grafen katkısı, %1 ve %5 grafen katkısına göre en iyi sonucu vermiştir. Dolayısı ile %2, %2.5, %4, %4.5 gibi ara değerler de denenerek optimizasyon çalışması yapılabilir.

Kullanılan naylon 6.6 nanoelyafına yerine mukavemeti daha yüksek olacağı tahmin edilebilen naylon 4.6, poliamit-imit, poliimit, polieterimit gibi diğer polimer türlerinin nanoelyafı üretilip yapıştırma bağlantıları üzerinde denenebilir.

Yapılan statik aksel çekme testlerinden başka aksel yorulma, aksel ve enine darbe testi gibi dinamik testlerde yapılabilir.

Bu tezde yapılan araştırma sonuçları 21 güne kadar suda beklemesi süresi arttıkça yapıştırma bağlantılarının zayıfladığını göstermiştir. Ancak 21 günden sonrası için bir çalışma yapılmamıştır. 6 ay ve 12 ay suda bekletilen numunelerin testleri yapılabilir.

Saf suda şartlandırma parametresi havacılık sektöründeki yağmuru taklit ettiği için iyi bir seçimdir. Ancak epoksi yapıştırıcılar deniz araçlarında da kullanılmaktadır. Dolayısı ile bu yapıştırma bağlantıları farklı sürelerde deniz suyu ile şartlanabilir ve bu durumdan nasıl etkilendikleri incelenebilir.

Havacılık sektöründe bulunan firmalar seri üretim ile nanoelyaf üretilip havacılıkta kullanılan epoksi yapıştırıcılara ekleyebilir ve yapıştırma bağlantılarını hava araçları üzerinde gerçek koşullarda test edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abbasi, A., Nasef, M. M., Takeshi, M. ve Faridi-Majidi, R., 2014, Electrospinning of nylon-6, 6 solutions into nanofibers: rheology and morphology relationships, *Chinese Journal of Polymer Science*, 32 (6), 793-804.
- Adams, R. D., Adams, R. D., Comyn, J., Wake, W. C. ve Wake, W., 1997, Structural adhesive joints in engineering, Springer Science & Business Media, p.
- Anderson, T. L. ve Anderson, T. L., 2005, Fracture mechanics: fundamentals and applications, CRC press, p.
- Andrady, A. L., 2008, Science and technology of polymer nanofibers, John Wiley & Sons, p.
- Aqel, A., El-Nour, K. M. A., Ammar, R. A. ve Al-Warthan, A., 2012, Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation, *Arabian Journal of Chemistry*, 5 (1), 1-23.
- Awaja, F., Gilbert, M., Kelly, G., Fox, B. ve Pigram, P. J., 2009, Adhesion of polymers, *Progress in polymer science*, 34 (9), 948-968.
- Baji, A., Mai, Y.-W., Wong, S.-C., Abtahi, M. ve Chen, P., 2010, Electrospinning of polymer nanofibers: effects on oriented morphology, structures and tensile properties, *Composites science and technology*, 70 (5), 703-718.
- Berger, C., Song, Z., Li, T., Li, X., Ogbazghi, A. Y., Feng, R., Dai, Z., Marchenkov, A. N., Conrad, E. H. ve First, P. N., 2004, Ultrathin epitaxial graphite: 2D electron gas properties and a route toward graphene-based nanoelectronics, *The Journal of Physical Chemistry B*, 108 (52), 19912-19916.
- Bernstein, R., Derzon, D. K. ve Gillen, K. T., 2005, Nylon 6.6 accelerated aging studies: thermal–oxidative degradation and its interaction with hydrolysis, *Polymer Degradation and Stability*, 88 (3), 480-488.
- Cheng, S., Chen, X., Hsuan, Y. G. ve Li, C. Y., 2011, Reduced graphene oxide-induced polyethylene crystallization in solution and nanocomposites, *Macromolecules*, 45 (2), 993-1000.
- Cognard, P., 2002, Adhesives and Sealants General Knowledge, Application Techniques, New Curing Techniques, Handbook of Adhesives and Sealants, Vol. 2, Elsevier, Great Britain.
- Corporation, L., 1995, Loctite Worldwide Design Handbook: 1996-97, Loctite Corporation, p.
- Da Silva, L. F., Öchsner, A. ve Adams, R. D., 2011, Handbook of adhesion technology, Springer Science & Business Media, p.
- Ebnesajjad, S., 2010, Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing, William Andrew, p.
- Ebnesajjad, S. ve Landrock, A. H., 2014, Adhesives technology handbook, William Andrew, p.
- Ekrem, M., 2006, Cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ekrem, M., 2015, Karbon nanotüp ve polivinil alkol nanoelyafla güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcıların alüminyum bağlantılar üzerindeki kırılma davranışları, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Fearn, S. ve Ray, S., 2016, Surface and interface analysis of functional proteins and peptides, *Amino Acids, Peptides and Proteins*, 41, 225.



- Ferrari, A. C., Meyer, J., Scardaci, V., Casiraghi, C., Lazzeri, M., Mauri, F., Piscanec, S., Jiang, D., Novoselov, K. ve Roth, S., 2006, Raman spectrum of graphene and graphene layers, *Physical review letters*, 97 (18), 187401.
- Fujihara, K., Teo, W., Lim, T., Ramakrishna, S. ve Ma, Z., 2005, An introduction to electrospinning and nanofibers, *National University of Singapore, USA*.
- Geim, A. K. ve Novoselov, K. S., 2010, The rise of graphene, In: *Nanoscience and Technology: A Collection of Reviews from Nature Journals*, Eds: World Scientific, p. 11-19.
- Habenicht, G., *Applied Adhesive Bonding-A Practical Guide for Flawless Results*. 2009, Weinheim, WILEY-VCH.
- Hagewood, J., 2004, Production of polymeric nanofibers, *International Fiber Journal*, 19 (1), 48-50.
- Hohman, M. M., Shin, M., Rutledge, G. ve Brenner, M. P., 2001, Electrospinning and electrically forced jets. II. Applications, *Physics of fluids*, 13 (8), 2221-2236.
- Huang, L., Nagapudi, K., P. Apkarian, R. ve Chaikof, E. L., 2001, Engineered collagen-PEO nanofibers and fabrics, *Journal of biomaterials science, Polymer edition*, 12 (9), 979-993.
- Huang, Z.-M., Zhang, Y.-Z., Kotaki, M. ve Ramakrishna, S., 2003, A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites science and technology*, 63 (15), 2223-2253.
- JC, K. E., 2010, Key issues in selecting the right adhesive, In: *Advances in Structural Adhesive Bonding*, Eds: Elsevier, p. 3-19.
- Jiang, H., Fang, D., Hsiao, B. S., Chu, B. ve Chen, W., 2004, Optimization and characterization of dextran membranes prepared by electrospinning, *Biomacromolecules*, 5 (2), 326-333.
- Kinloch, A., 1987, *Adhesion and adhesives: science and technology* eng in, London: Chapman and Hall.
- Kıralp, S., Özkoç, G., Erdoğan, S., Çamurlu, P., Baydemir, T. ve Doğan, M., 2006, *Plastikler*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Kornmann, X., 2001, Polymer Layered Silcate Nanocomposites, *EMP, Dübendorf, Switzerland*, 44-66.
- Koski, A., Yim, K. ve Shivkumar, S., 2004, Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning, *Materials Letters*, 58 (3-4), 493-497.
- Kuila, T., Bose, S., Khanra, P., Mishra, A. K., Kim, N. H. ve Lee, J. H., 2011, Recent advances in graphene-based biosensors, *Biosensors and bioelectronics*, 26 (12), 4637-4648.
- Kuilla, T., Bhadra, S., Yao, D., Kim, N. H., Bose, S. ve Lee, J. H., 2010, Recent advances in graphene based polymer composites, *Progress in polymer science*, 35 (11), 1350-1375.
- Kut, D. ve Güneşoğlu, C., 2005, Nanoteknoloji ve tekstil sektöründeki uygulamaları, *Tekstil&Teknik, Şubat*, 224-230.
- Lee, L.-H., 2013, *Fundamentals of adhesion*, Springer Science & Business Media, p.
- Li, D. ve Xia, Y., 2004, Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel?, *Advanced materials*, 16 (14), 1151-1170.
- Luther, W., 2006, *International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology*.
- Mit-uppatham, C., Nithitanakul, M. ve Supaphol, P., 2004, Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: effect of solution conditions on morphology and average fiber diameter, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 205 (17), 2327-2338.

- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V. ve Firsov, A. A., 2004, Electric field effect in atomically thin carbon films, *science*, 306 (5696), 666-669.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S., Jiang, D., Katsnelson, M. I., Grigorieva, I., Dubonos, S., Firsov ve AA, 2005, Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene, *nature*, 438 (7065), 197.
- Packham, D., 1992, Adhesion-Handbook of Adhesion, Published by Longman Scientific & Technical, Harlow (UK).
- Pan, F., 2014, Design Guidance for Electrospun Nylon 6 Nanofiber Morphology through Design of Experiment and Statistical Analysis Method and Mechanical Properties Characterization.
- Peijs, T., 2018, 6.7 Electrospun Polymer Nanofibers and Their Composites.
- Petrie, E., 1975, Plastics and adhesives as adhesives, *Handbook of plastics and elastomers*.
- Petrie, E. M., 2000, Handbook of adhesives and sealants.
- Petrie, E. M., 2006, Chapter 2: Theories of adhesion, *Handbook of adhesives and sealants, 2nd edn. McGraw-Hill, New York*.
- Pizzi, A. ve Mittal, K. L., 2017, Handbook of adhesive technology, CRC press, p.
- Pocius, A. V., 2012, Adhesion and adhesives technology: an introduction, Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, p.
- Reneker, D. H. ve Fong, H., 2006, Polymeric nanofibers: introduction, In, Eds: ACS Publications, p.
- Saçak, M., 1998, Polimer kimyasına giriş, *Ankara Üniversitesi Yayınları, Yayın (50)*.
- Selbes, M., 2013, Elektro-eğirme yöntemiyle nanofiber tabakalı hava filtresi üretimi ve performans testleri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sharpe, L., 1966, THE MATERIALS, PROCESSES, AND DESIGN METHODS FOR ASSEMBLING WITH ADHESIVES, *MACH DESIGN*, 38 (19), 178-200.
- Skeist, I., 2012, Handbook of adhesives, Springer Science & Business Media, p.
- Snogren, R. C., 1974, Handbook of surface preparation, Palmerton Publishing Company, p.
- Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., Piner, R. D., Nguyen, S. T. ve Ruoff, R. S., 2006, Graphene-based composite materials, *nature*, 442 (7100), 282.
- Şenyurt, M. A., 2017, Grafen ve naylon 6.6 nano elyaf katkılı yapıştırıcıların alüminyum-karbon elyaf takviyeli kompozit levhaların yapıştırma bağlantılarına farklı sıcaklık koşulları altında etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Thostenson, E. T., Ren, Z. ve Chou, T.-W., 2001, Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review, *Composites science and technology*, 61 (13), 1899-1912.
- Thostenson, E. T., Li, C. ve Chou, T.-W., 2005, Nanocomposites in context, *Composites science and technology*, 65 (3-4), 491-516.
- Tucker, N., Stanger, J. J., Staiger, M. P., Razzaq, H. ve Hofman, K., 2012, The history of the science and technology of electrospinning from 1600 to 1995, *Journal of engineered fibers and fabrics*, 7 (2\_suppl), 155892501200702S155892501200710.
- Verdejo, R., Bernal, M. M., Romasanta, L. J. ve Lopez-Manchado, M. A., 2011, Graphene filled polymer nanocomposites, *Journal of Materials Chemistry*, 21 (10), 3301-3310.



- YANILMAZ, M., 2018, Mechanical Properties Of Nylon 6, 6 Nanofiber Membranes, *Tekstil ve Mühendis*, 25 (112), 286-291.
- Zeng, J., Haoqing, H., Schaper, A., Wendorff, J. H. ve Greiner, A., 2003, Poly-L-lactide nanofibers by electrospinning—influence of solution viscosity and electrical conductivity on fiber diameter and fiber morphology, *e-Polymers*, 3 (1).
- Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y. ve Sheng, J., 2005a, Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats, *European polymer journal*, 41 (3), 423-432.
- Zhang, J.-s., Zhao, X.-h., Zuo, Y. ve Xiong, J.-p., 2008, The bonding strength and corrosion resistance of aluminum alloy by anodizing treatment in a phosphoric acid modified boric acid/sulfuric acid bath, *Surface and Coatings Technology*, 202 (14), 3149-3156.
- Zhang, Y., Small, J. P., Amori, M. E. ve Kim, P., 2005b, Electric field modulation of galvanomagnetic properties of mesoscopic graphite, *Physical review letters*, 94 (17), 176803.
- Zhang, Y., Tan, Y.-W., Stormer, H. L. ve Kim, P., 2005c, Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene, *nature*, 438 (7065), 201.
- Zhao, Z., Li, J., Yuan, X., Li, X., Zhang, Y. ve Sheng, J., 2005, Preparation and properties of electrospun poly (vinylidene fluoride) membranes, *Journal of applied polymer science*, 97 (2), 466-474.
- Zuo, W., Zhu, M., Yang, W., Yu, H., Chen, Y. ve Zhang, Y., 2005, Experimental study on relationship between jet instability and formation of beaded fibers during electrospinning, *Polymer Engineering & Science*, 45 (5), 704-709.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ahmet Caner TATAR  
**Uyruğu** : T. C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Fatih / 08.04.1993  
**Telefon** : +905388665116  
**Faks** : -  
**E-Posta** : acanertatar@ktun.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Karatay Toki A.L.	Karatay	Konya	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2015
Yüksek Lisans	: -			
Doktora	: -			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-Halen	Konya Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Kompozit malzemeler, polimer malzemeler, nanoteknoloji,

### YABANCI DİLLER

İngilizce (YDS:82,5 – YÖKDİL:83,75)

### YAYINLAR

1. **Tatar Ahmet Caner**, Şenyurt Muhammet Ali, Ulus Hasan, Kaybal Halil Burak, Ekrem Mürsel, Avcı Ahmet, Naylon 6.6 Nanofiberlerin Tek Taraflı Bindirme Bağlantılarına Etkisi, 3. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu 2018, 58-59 (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)
2. Kara Memduh, **Tatar Ahmet Caner**, Kırıcı Muhammed, Avcı Ahmet, Boron Nitrit Nanopartikül Katkılı Karbon Fiber/Epoksi Kompozit Boruların Kriyojenik Ortam Şartlarında Düşük Hızlı Darbe Davranışı, 3. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu 2018

3. Memduh Kara, Muhammed KIRICI, **Ahmet Caner Tatar**, Ahmet Avcı, Impact behavior of carbon fiber/epoxy composite tubes reinforced with multi-walled carbon nanotubes at cryogenic environment, *Composites Part B* 145 (2018) 145–154
4. **Ahmet C. Tatar**, Halil B. Kaybal, Hasan Ulus, Okan Demir and Ahmet Avcı Evaluation of low-velocity impact behaviour of epoxy nanocomposite laminates modified with silica nanoparticles at cryogenic temperatures. 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) March 22-24, 2018 Karabük, Turkey, 128-131
5. Halil Burak Kaybal, Hasan Ulus, **A. Caner Tatar**, Okan Demir, Ahmet Avcı, The Effect of Seawater Aging on the Mechanical Performance of SiO<sub>2</sub>/Epoxy Polymer Nanocomposites, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) March 22-24, 2018 Karabük, Turkey, 142-144
6. Halil Burak Kaybal, Hasan Ulus, Okan Demir, **Ahmet Caner Tatar**, Ahmet Avcı, Investigations on the Mechanical Properties of the Nano SiO<sub>2</sub> Epoxy Nanocomposite, *Applied Engineering Letters*, Vol.2, No.4, 121-124 (2017)
7. Hasan Ulus, Halil Burak Kaybal, Okan Demir, Muhammet Ali Senyurt, **Ahmet Caner TATAR**, Ahmet Avcı, Improvement in Adhesive Performance of Single-Lap Joining Composite, Laminates by Using Nano-Montmorillonite Modified Epoxy, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* Vol: 5, No: 1, 2018 (163-167)