

**POLİÜRE MATRİS MALZEMESİ VE CAM,
ARAMİD, KARBON ELYAF KUMAŞ
TAKVİYELERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN
KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Ömer ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nursen ÖNTÜRK

2015

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİÜRE MATRİS MALZEMESİ VE CAM, ARAMİD, KARBON ELYAF KUMAŞ
TAKVİYELERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

ÖMER ÖZTÜRK

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. NURŞEN ÖNTÜRK

TEKİRDAĞ-2015

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK danışmanlığında, Ömer ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “POLİÜRE MATRİS MALZEMESİ VE CAM, ARAMİD, KARBON ELYAF KUMAŞ TAKVİYELERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİÜRE MATRİS MALZEMESİ VE CAM, ARAMİD, KARBON ELYAF KUMAŞ TAKVİYELERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ömer ÖZTÜRK

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

Bu çalışmada; kumaş kalınlığı ve kumaş türlerinin, cam elyaf kumaş, aramid (kevlar) elyaf kumaş, karbon elyaf kumaş takviyeleri ve poliüre matris malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Numuneler ile 5 mm/dk hız ve ISO 527 standardına göre çekme testi yapılmıştır. Tarayıcı elektron mikroskopu ile kompozit malzemelerden alınan numunelerin iç yapısı incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda; cam elyaf, aramid elyaf ve karbon elyaf kumaş takviyeleri arasında en yüksek çekme mukavemeti ve kopma uzaması aramid elyaf kumaş kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek elastiklik modülü ise karbon elyaf kumaş takviyeli numunelerde gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: poliüre matrisli kompozit, cam/aramid/karbon kumaş, mekanik özellikler

2015, 40 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

PRODUCED USING WITH POLYUREA MATRIX MATERIALS AND GLASS,
ARAMID, CARBON FIBER TEXTILES COMPOSITES REINFORCEMENTS
INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF THIS MATERIALS

Ömer ÖZTÜRK

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineer

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

In this study, the effects of fabric thickness and fabric type on mechanical behavior of composite materials produced using with polyurea matrix material and glass, aramid, carbon fiber fabric reinforcements were investigated. According to ISO 527 standard the specimens were tested under tensile load with 5 mm/min velocity. Internal structure of the specimens were investigated by means of scanning electron microscopy (SEM). As a result of these tests the highest tensile strength and elongation at break was obtained in aramid fiber fabric reinforced specimens. In addition to this the highest Young's modulus has been observed in carbon fiber fabric reinforced specimens.

Keywords: polyurea-matrix composite, glass/aramid/carbon fabric, mechanical properties

2015, 40 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Cam Elyaf lar	3
1.2. Karbon Elyaf lar	5
1.3. Aramid Elyaf lar	5
1.4. Üre ve Poliüre	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Cam elyaf kumaş lar.....	15
3.1.2. Aramid (kevlar) elyaf kumaş	15
3.1.3. Karbon elyaf kumaş.....	16
3.2. Metod.....	16
3.2.1. Kompozit malzemelerin üretimi	16
3.2.2. Çekme deney numunesi modellenmesi ve lazer kesim makinesiyle numunelerin hazırlanması.....	18
3.2.3. Çekme deney cihazı ve çekme deneyi.....	19
3.2.4 Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntü analizi.....	21
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	22
4.1. Çekme Deneyi Sonuç ları	22
4.1.1. 163 gr/m ² ağırlığındaki cam elyaf kumaş tan üretilen numunelerin deney sonuç ları	22
4.1.2. 280 gr/m ² ağırlığındaki cam elyaf kumaş tan üretilen numunelerin deney sonuç ları	23
4.1.3. Aramid elyaf kumaş tan üretilen numunelerin deney sonuç ları	24
4.1.4. Karbon elyaf kumaş tan üretilen numunelerin deney sonuç ları	25
4.2. Tarayıcı Elektron Mikroskobu İle Tespit Edilen Görüntüler	26
4.2.1. 163 gr/m ² lik CEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler	26
4.2.2. 280 gr/m ² lik CEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler	26
4.2.3. AEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler	26
4.2.4. KEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler	26
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	27
6. KAYNAKLAR	28
EKLER	31
EK-1 163 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a	32
EK-2 163 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b	32
EK-3 163 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c	33
EK-4 163 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d	33
EK-5 280 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a	34
EK-6 280 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b	34
EK-7 280 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c	35
EK-8 280 gr/m ² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d	35

EK-9 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a	36
EK-10 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b	36
EK-11 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c.....	37
EK-12 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d	37
EK-13 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a.....	38
EK-14 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b	38
EK-15 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c.....	39
EK-16 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d	39
ÖZGEÇMİŞ	40

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri.....	4
Çizelge 1.2. Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları.....	4
Çizelge 1.3. Bazı karbon elyafların mekanik özellikleri.....	5
Çizelge 1.4. Bazı kevlarların mekanik özellikleri.....	5
Çizelge 1.5. Poliürenin özellikleri.....	9
Çizelge 3.1. Cam elyaf kumaşların özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Aramid (kevlar) elyaf kumaşın özellikleri.....	15
Çizelge 3.3. Karbon elyaf kumaşın özellikleri.....	16
Çizelge 4.1. 163 gr/m ² lik CEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri.....	22
Çizelge 4.2. 280 gr/m ² lik CEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 4.3. AEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 4.4. KEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri.....	25

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler (Akın 2008)	2
Şekil 1.2. Sürekli elyafların örgü çeşitlerinden örnekler (Yalçın 2012)	3
Şekil 1.3. Poliüre ve poliüretan sentez reaksiyonları (Çetin 2012)	7
Şekil 1.4. Sprey poliüre uygulama makinesi (Anonim 2014)	7
Şekil 1.5. Poliüre uygulaması (Anonim 2014)	8
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-1.....	16
Şekil 3.2. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-2.....	17
Şekil 3.3. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-3.....	17
Şekil 3.4. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-4.....	17
Şekil 3.5. Çekme deney numunesi.....	18
Şekil 3.6. Lazer kesim makinesiyle çekme numunelerin hazırlanması	18
Şekil 3.7. Çekme deney numuneleri	19
Şekil 3.8. Zwick marka çekme deney düzeneği ve çeneler (Anonim 2014).....	19
Şekil 3.9. Çekme testinde tipik kuvvet-uzama eğrisi (Yalçın 2012)	20
Şekil 3.10. Tarayıcı elektron mikroskobunda incelenen numuneler	21
Şekil 3.11. FEI, QUANTA FEG 250 tarayıcı elektron mikroskobu.....	21
Şekil 4.1. 163CEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri.....	22
Şekil 4.2. 280CEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri.....	23
Şekil 4.3. AEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri	24
Şekil 4.4. KEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri	25

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AEK	: Aramid elyaf kumaş takviyeli kompozit
Agt	: Maksimum gerilmedeki toplam uzama
Al	: Alüminyum
At	: Kopma noktasındaki toplam uzama
B	: Bor
CEK	: Cam elyaf kumaş takviyeli kompozit
Cu	: Bakır
E	: Elastiklik modülü (young modülü)
KEK	: Karbon elyaf kumaş takviyeli kompozit
L0	: İlk parça boyu
Ni	: Nikel
RB	: Kopma noktasındaki çekme mukavemeti
ReH	: Üst akma mukavemeti
Rm	: Çekme mukavemeti
SEM	: Tarayıcı elektron mikroskobu
S0	: İlk kesit alanı
Zn	: Çinko
ϵ ReH	: Üst akma noktasındaki toplam uzama

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana yol gösteren, bilgi birikimi ve tecrübesiyle çalışmama ışık tutan tez danışmanım değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana yol gösteren, derin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım T.C. Kırklareli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri değerli hocalarım, Yrd. Doç. Dr. S. Sencer KARABEYOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Olcay EKŞİ' ye ve bana daima destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2015

Ömer ÖZTÜRK
(Makine Mühendisi)

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, mevcut konvansiyonel malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi sonucunda ortaya çıkmışlardır. Kompozit malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri artarak devam etmektedir. Kompozit malzemelerin gelişimi için gerekli unsur, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranının elde edilmesidir. Bu malzemeler, özel dizilimlerle değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan ürünler olduklarından çok fazlı olarak da adlandırılmaktadırlar. Bu durumları sayesinde kompozit malzemelerin üstün mekanik ve fiziksel özellikleri elde edilmektedir (Şahin 2006).

Kompozit malzemeler, aynı ve ya farklı türdeki iki ya da daha fazla sayıdaki malzemenin makro boyutta birleştirilmesiyle ve bu malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla oluşturulan malzemelerdir (Şahin 2006).

Kompozit malzeme, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını saran matris malzemesinden oluşmaktadır. Kısa ve uzun elyaflar, kırılmış veya parçacıklı malzemeler takviye elemanı olarak kompozitler de kullanılmaktadır. Takviye elemanlarının temel görevi, gelen yükü taşımak, matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmaktır. Matris malzemelerinin görevi ise; kompozit malzemeyi oluşturan unsurları bir arada tutmak, takviye elemanlarının dış yüzeyle temas halinde olan yerlerini çevresel etkilere karşı korumaktır. Üstün plastiklik ve süneklik özellikleri ile elyaflarda kırılma çatlaklarının yayılmasını matris malzemesi önlemektedir (Şahin 2006).

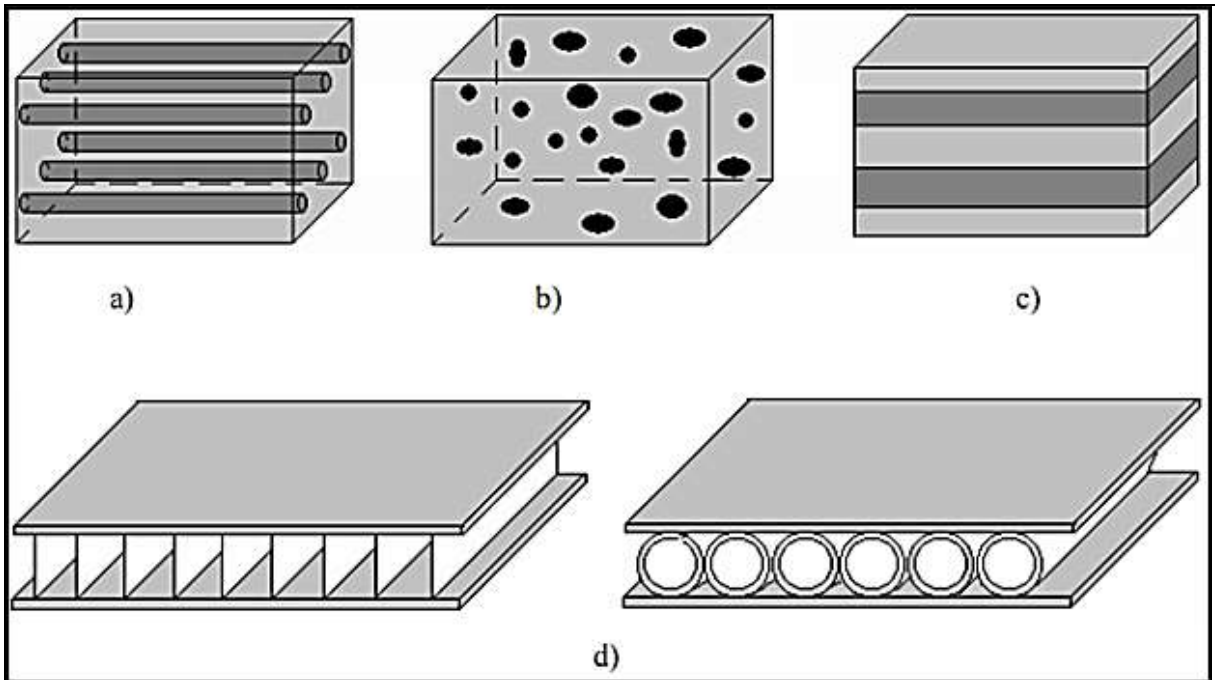
Kompozit malzemelerin günümüzde mühendisler ve tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılmasındaki en önemli etken, sunduğu değişik performans avantajlarıdır. Kompozitlerin sağlayacağı bu avantajların iyi bir şekilde idrak edilmesi tasarımcı ve mühendislerin işlerini daha kolay hale getirmektedir. Gerekli mekanik değerleri sağlayan kompozit malzemeler kullanılacak şartlara göre dizayn edilebilmektedir. Bu şartlar; çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımı gibi istenilen mekanik özellikleri sağlamaktadır. Kompozitler, hem takviyesiz plastiklere hem de metallere göre birim alanda daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadır. Yüksek mukavemet/hafiflik özellikleri yaygın olarak kullanılmalarındaki en önemli etkenlerden biridir (Alyanak 2013).

Kompozit ürünler, en az bakım gereksinimi duyacak ve uzun süreli hizmet ömrüne sahip olacak şekilde dizayn edilmektedir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan araç

ve gereçlerin maliyeti çelik, alüminyum ve metal alaşımlı malzemeler gibi geleneksel malzemelerin üretiminde kullanılan araç ve gereçlere kıyasla daha ekonomiktir. Kompozit malzemelerin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

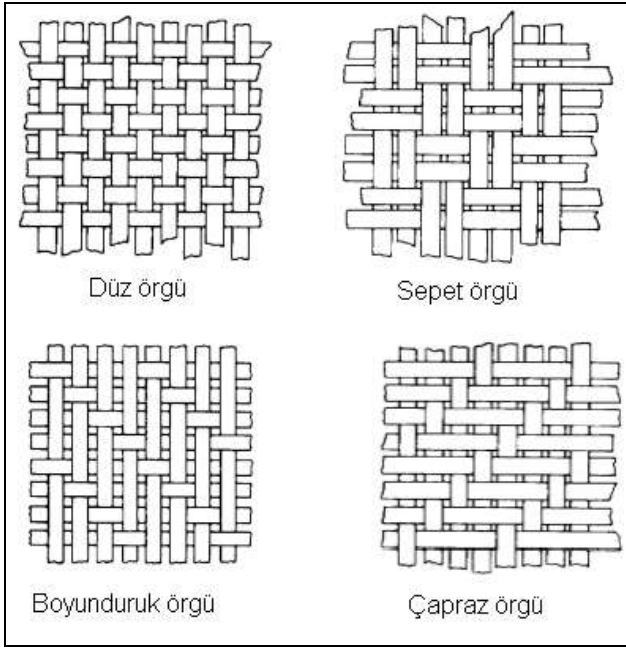
- Sınırsız kalıplama boyutları,
- Çok sayıda üretim tekniği,
- Diğer malzemelerle uyuşma özelliği,
- Takviye amacı ile köpük kullanımı,
- Kendinden renklendirilme olanağı,
- İsteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretilebilme olanağı gibi avantajlara sahiptir (Kayrak 1999).

Plastik, metal ve seramik matrisler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılan bu ürünler içerisinde, elyaflar, whiskerler, parçacıklar ilave edilerek veya değişik tabaka katmanlarından oluşan takviye elemanları eklenerek kompozitler üretilebilmektedirler (Şahin 2006).



Şekil 1.1. En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler (Akın 2008)

Kompozit malzemelerde, matris içerisinde yüksek dayanım sağlanması istenen yönlerde dayanımı arttırmak için takviye elemanlar kullanılmaktadır. Bu takviye elemanlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar cam elyaf, aramid elyaf ve karbon elyaflardır. Kompozit malzemelerde, uygulama alanı ve üretim yöntemine uygun elyaf şekli seçilmektedir. Bu tez çalışmasında; cam, aramid ve karbon sürekli elyafların çapraz örülmesiyle elde edilen kumaşlar kullanılmıştır. Şekil 1.2.'de sürekli elyafların örgü çeşitlerinden örnekler verilmiştir (Rouchan 1987, Eren 2007, Şahin 2006).



Şekil 1.2. Sürekli elyafların örgü çeşitlerinden örnekler (Yalçın 2012)

1.1. Cam Elyaf

Cam elyaflar, ağırlık olarak % 50 den fazlası silisyum dioksit (SiO_2) olmakla birlikte, cam elyaf türlerine göre belirli oranlarda alüminyum, bor, demir, kalsiyum ve sodyum gibi elementlerin oksitlerinden oluşmaktadır. Matris malzemelerin kullanım amaçlarına uygun olarak birçok cam elyaf türü geliştirilmiştir. E-cam, C-cam ve S-cam bunların arasında en yaygın olarak kullanılan cam elyaf türleri arasında yer almaktadır. Çizelge 1.1.'de E-cam, C-cam ve S-cam elyafların % ağırlık olarak bileşenleri verilmiştir (Şahin 2006, Yalçın 2012).

Çizelge 1.1. Cam çeşitlerinin % ağırlık olarak bileşenleri (Yalçın 2012)

Bileşen	E-cam (%)	C-cam (%)	S-cam (%)
SiO ₂	52,4	64,4	64,4
Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	14,4	4,1	25,0
CaO	17,2	13,4	-
MgO	4,6	3,3	10,3
Na ₂ O.K ₂ O	0,8	9,6	0,3
Ba ₂ O ₃	10,6	4,7	-

Cam elyafların çekme dayanımları ve birim ağırlık başına düşen dayanımları çelikten daha yüksek olmakla birlikte, ısıl dayanımları çelikten daha düşüktür. S-cam elyaf, E-cam elyaf takviyeli ve epoksi matrisli kompozit malzemelerin, epoksi matrisli ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin, alüminyum, titanyum ve çeliğin; çekme dayanımı, elastiklik modülü ve yoğunlukları çizelge 1.2.'de verilmiştir (Yalçın 2012).

Çizelge 1.2. Bazı kompozitler ve metallerin karşılaştırmaları (Yalçın 2012)

	Epoksi/ S-cam Elyaf	Epoksi /E-cam Elyaf	Epoksi /Karbon Elyaf	Alüminyum (7075T6)	Titanyum (6Al-4V)	Çelik (4130)
Çekme Dayanımı [N/mm ²]	1751	1103	1482	572	1103	1300
Elastiklik Modülü [GPa]	59	52	145	69	114	207
Yoğunluk [g/cm ³]	1,99	1,99	1,55	2,76	4,43	8,01

Çizelge 1.2.'de gösterildiği gibi; cam elyafların düşük yoğunluk ve yüksek dayanımları, maliyetlerinin düşük oluşu, üretim parametrelerinden; sıcaklık, viskozite ve çekme hızının değiştirilmesiyle farklı çaplarda üretilebilmeleri cam elyafların plastik esaslı kompozitler de yaygın olarak kullanılmalarının başlıca sebeplerindendir (Yalçın 2012).

1.2. Karbon Elyaf lar

Düşük yoğunluk, yüksek darbe dayanımı, tokluk, sürünme, aşınma ve yorulma dayanımları karbon elyaf ların en önemli özellikleri arasında yer almaktadır. Karbon elyaf lar çoğunlukla plastik matrislerden epoksi reçinelerle birlikte kullanılmakta olup, alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılmaktadır (Rouchan 1987, Kayrak 1999).

Çizelge 1.3.'te bazı karbon elyaf ların mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.3. Bazı karbon elyaf ların mekanik özellikleri (Yalçın 2012)

Ürün Kodu	Çekme Dayanımı [N/mm ²]	Elastiklik Modülü [GPa]	Yoğunluk [g/cm ³]
T300 3K	3650	231	1,76
T650/35 3K	4550	241	1,77
Thornel P25	1400	160	1,90
Thornel P75	930	320	1,70

1.3. Aramid Elyaf lar

Aramid elyaf lar, cam elyaf lardan daha hafif ve daha rijittirler. Ayrıca cam elyaf dışındaki diğer birçok elyaf türünden daha ucuzdur. Aramid elyaf lar piyasada sıklıkla kevlar olarak ta adlandırılır. Aramid elyaf ların nem tutma özellikleri ve basma dayanımları düşüktür. Havacılık sanayisinde özellikle de uçak imalatında, aramid elyaf ların düşük basma dayanım özellikleri karbon elyaf lar ile birlikte hibrit kompozit olarak kullanılarak iyileştirilmektedir (Kayrak 1999).

Çizelge 1.4.'te yaygın olarak kullanılan bazı kevlarların mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı kevlarların mekanik özellikleri (Yalçın 2012)

	Çekme Dayanımı [N/mm ²]	Elastiklik Modülü [GPa]	Uzama [%]	Yoğunluk [g/cm ³]
Kevlar 29	2920	70	3,6	1,44
Kevlar 49	3000	112	2,4	1,44
Kevlar 149	3450	179	2	1,47

1.4. Üre ve Poliüre

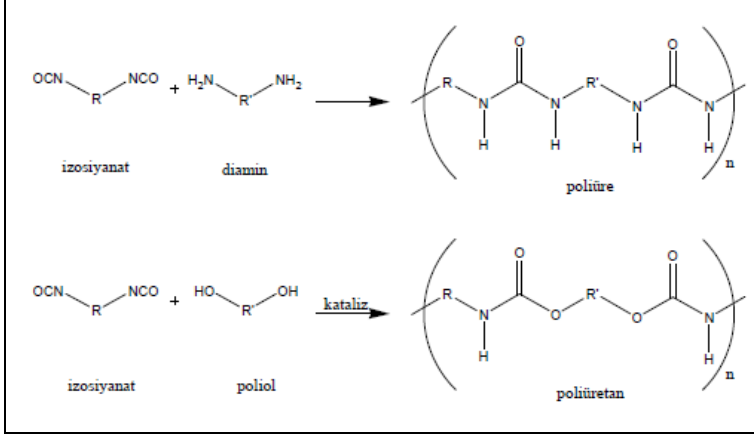
Üre kimyasal özellikleri nedeniyle biyolojik yoldan bozunmaktadır. Bu özelliği nedeniyle çeşitli poliüreler kaplama malzemesi olarak önemli avantajlara sahip olmakla birlikte bu özellik aynı zamanda dayanıklılık ile ilgili sorunları da beraberinde getirmektedir. Su ile etkileşmesi ve maruz kaldığı ultraviyole ışınlarının da etkisiyle bozunabilmesi nedeniyle, dayanımlarının artırılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, suda çözünmeyen sentetik reçine yardımıyla kompozit bir kaplama malzemesi geliştirilmiştir. Poliürelerin sentezi, şekil 1.3.'te görüldüğü gibi izosiyanat ve aminler arasında meydana gelen kondensasyon tepkimesi yardımıyla gerçekleşmektedir. Tepkimede kullanılan amin ve izosiyanatların kimyasal yapıları çeşitli fonksiyonel gruplar yardımıyla değiştirilebildiğinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip poliürelerin sentezlenmesi mümkündür. Poliürelerin, termal dayanım özellikleri iyi olduğundan geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmesi mümkündür. Poliürenin düşük sıcaklıklarda küreleşebilme yeteneği ve yoğun moleküller arası etkileşmeler nedeniyle sergilediği mekanik özellikler de önemli avantajları arasında gösterilmektedir. Bir diğer önemli özelliği de poliürelerin sentez reaksiyonlarında, yan ürün olarak sadece su açığa çıkması ve çevreye gaz salınımının gerçekleşmemesidir(Çetin 2012).

Poliürelerin, son yıllarda kaplama malzemesi olarak kullanılmasının başlıca nedenleri:

- Gelişen kaplama teknikleri,
- Kompozit malzemelerin hazırlanmasında kaydedilen teknolojik gelişmeler,
- Çevre dostu ürünlere duyulan ihtiyaçtır (Çetin 2012).

Poliüre yapı ve sentezi itibariyle poliüretanlara son derece benzerdir. Poliüretanlar, termoset ve termoplastik özellikte olabilen, ana polimer zincirinde üretan bağlantılı birimleri içeren polimerlerdir. Poliüretanlar amber (kehribar) renklidir ve kolaylıkla gerdirilebilme özellikleriyle elastomere benzetilmektedir. Poliüretanlar çizilmeye, yırtılmaya ve darbeye dayanıklıdır. Poliüretanlar yoğunluklarının fazla olmasına rağmen çok iyi darbe soğurma özelliklerine sahiptir. Poliüretanlar, organik solventler, asitler ve yağlara dayanıklıdır. Poliüretanların çoğu, yüksek oranda çapraz bağ içerirler ve ısı etkisiyle küreleşerek termoset özelliğe kavuşabilmektedir. Çapraz bağlı olmayan bazı poliüretan polimerler de bulunmaktadır ve bunlar doğrusal moleküller içerdiklerinden termoplastik özellik göstermektedir. Şekil 1.3.'te Poliüre ve poliüretanın sentez reaksiyonları gösterilmiştir (Çetin 2012).

Poliüre kaplama sistemleri 1980 den beri kullanılmasına rağmen elastomerik üretan sistemleri 1970’li yıllarda ortaya çıkmıştır. Ayrıca yaygın olarak birçok boyanın, bağlayıcı(reçine) bileşeni olarak ta kullanılmaktadır (Çetin 2012).



Şekil 1.3. Poliüre ve poliüretan sentez reaksiyonları (Çetin 2012)

Poliüre uygulaması için şekil 1.4.’te görülen yüksek basınçlı sprej püskürtme makineleri kullanılmaktadır.



Şekil 1.4. Sprej poliüre uygulama makinesi (Anonim 2014)

Bu makinelerde şekil 1.5.’te görüldüğü gibi; ısıtma tertibatlı, yüksek basınca ve sıcaklığa dayanıklı ortalama 90 metre uzunluğa sahip hortum bulunmaktadır. Hortumun ucunda bileşenlerin karıştırılarak püskürtüldüğü bir tabanca bulunmaktadır. Ayrıca tabancaya kadar giden hortum da ısıtma tertibatı bulunmaktadır. Bunun nedeni reaksiyonun kısa sürede gerçekleşmesidir. Poliüreyi oluşturan izosiyanat ve diamin bileşeni tabancanın ucuna kadar 80-90°C’ de ve 120 bar basınçta gelmektedir. Burada birbirine 1:1 oranında (hacimce) karışarak sprej olarak uygulama yüzeyine püskürtülmektedir. Poliüre uygulamasının en

büyük dezavantajı yüksek makine maliyetidir. Bu uygulama tam teçhizatlı bir sprey makinesi olmadan tatbik edilememektedir. Ortalama kat yüksekliğinin 3 metre olduğu düşünülürse 70-80 metre yükseklikteki binalarda yalıtım uygulaması rahatlıkla yapılabilmektedir.



Şekil 1.5. Poliüre uygulaması (Anonim 2014)

Poliürenin kürlenme süresi sadece birkaç saniyedir. Ürünün oluşmasında geçen bu kısa süre, zaman ve işçilik tasarrufu sağlamasının yanı sıra uygulama alanını hızlı servise açarak da önemli bir avantaj sağlar. Poliüre makineleri, günlük 700-800 m² uygulama kapasitesine sahiptirler. Bu değerler iklim koşullarına, zemin özelliklerine ve uygulama kalınlık değerlerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

Poliürenin özellikleri ve avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- İzosiyanat ve diamin bileşimi reaksiyonu sonucu %100 katıdır ve solvent içermez.
- Elastik yapıda olup %350-500 oranlarında esneme özelliğine sahiptir.
- Birçok kimyasala, solvente ve asite karşı dayanıklıdır.
- Korozif etkilere karşı dayanımı yüksektir.
- Çok düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı vardır.
- Diğer yalıtım ürünlerinden farklı olarak sıcak tatbik edilirler.
- Poliüre reaksiyonu için 80-90 °C sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. (İklim koşullarına bağlı olarak proses sıcaklıkları değişiklik gösterebilmektedir)
- Her yüzeye %100 yapışır ve güçlü bir aderans sağlar. Yüzeye tutunması için ek bir yapıştırıcıya ya da dübele ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Poliüre uygulamasının ek yerinin olmayışı, yekpare uygulanması su kaçaklarını engellemekte ve %100 su yalıtımı sağlamaktadır.

- İstenilen kalınlık ve yoğunlukta uygulama yapılabilir.

Poliürenin mekanik özellikleri çizelge 1.5.'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Poliürenin özellikleri (Anonim 2013)

	Birim	Değer	Yöntem
Yoğunluk	Kg/m ³	1000	DIN 53420
Sertlik	Shore A	92-95	DIN 53505
	Shore D	40-46	
Yanma		B3	DIN 4102, Ek1
Kopma Mukavemeti	N/mm ²	21	DIN 53504
Uzama	%	425	
Gerilme			
%100 Uzama	N/mm ²	12,4	
%300 Uzama		15,2	
Yırtılma Direnci	N/mm	58	DIN 53515
Esneme Kuvveti			
%5 Eğilme	N/mm ²	6,3	ASTM D790
%10 Eğilme		6,9	
Aşınma	mg	140	DIN 53516
Yapışma			
Beton (astar ile)	N/mm ²	2,5	EN ISO 4624
Çelik (astarsız)		6,5	
Su Buharı Geçirgenliği	g mm/m ² (24 saat)	16,5	DIN 53122
Metan Geçirgenliği	cm ³ mm/m ² (24 saat)	50	DIN 53380

Poliürenin uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Güneşin olumsuz etkileri, ultraviyole ışınlar ile tüm hava koşullarına dayanıklı, elastik, olası yüklere karşı mukavim, su sızdırmalarına karşı emniyetli olması, ek yeri sorunu olmaması ve mükemmel yapışma özelliklerinden dolayı metal, pvc, membran, shingle, eternit, kiremit vb çatı kaplamalarının üzerine uygulanmaktadır.
- Açık ve kapalı otopark zeminlerine, yanmazlık ve kaymazlık özelliği kazandırmakta, rampalarda fren yapılması durumunda riski azaltmakta, kimyasallara karşı dayanımı

ile betonu, tuzlu eriyik, akaryakıt, yağlı madde gibi kimyevi madde etkilerinden korumaktadır.

- Yeni ve eski yapılardaki duvar, döşeme, kolon, giriş yüzeylerinin kaplanmasında ve onarımında kullanılmaktadır.
- Üstün kimyasal dayanımları ile havuzlar, su depoları ve yağmur suyu oluklarının kaplaması için ideal bir kaplama malzemesidir.
- Tüm metal yüzeylerde, mekanik ve kimyasal aşınmayı engellemek için kullanılmaktadır.
- Asfalt, beton ve gevşek zeminler üzerinde köprü etkisi yaratarak, zeminlerin yüzey sularına, basınçlı sulara, zararlı cisimlere, bitki köklerine, aşınmaya ve erozyona karşı korunmasında kullanılmaktadır.
- Tuğla ve beton yüzeylere çok iyi yapışabilme, üstün çatlak kapatma, kostik veya aşındırıcı kimyasallara karşı direnç özelliklerinden dolayı menhol ve kanalizasyon sistemlerinin onarımında kullanılmaktadır.
- Denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılan çelik, alüminyum ve cam elyaf malzemeleri deniz suyu ve dış etkilerden korumakta etkilidir.
- Petro kimya sektöründe kullanılan çelik boru ve tankları kimyasal ve korozyon ortamlara karşı korumakta kullanılır (Anonim 2013).

Bu yüksek lisans tezinde amaç; cam elyaf kumaş, aramid (kevlar) elyaf kumaş ve karbon elyaf kumaş takviyeleri ve poliüre matris malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Wang ve ark. (1994) yaptıkları çalışmada; cam elyaf, aramid (keklar) dokuma kumaşlar takviyeleri ve epoksi reçine matris malzeme kullanılarak ürettikleri kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini; tek eksenli çekme, eğilme, basma ve kesme koşulları altında incelemiştirlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda; aramid fiberlerin kesme kuvvetleri etkisi altında kesme dayanımlarının kötü olmasından dolayı; aramid elyaf kumaş takviyeler kullanılarak üretilen kompozitlerin, cam elyaf kumaş takviyeleri kullanılarak üretilen kompozitlere göre doğrusal olmayan çekme yükleri altında yüksek derecede bozulmalar sergilediğini, eğilme, basma ve kesme koşullarında ise daha düşük mukavemet gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Tewari ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada; epoksi reçine matrisli, cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde, 15-30-45-60-75-90° lik çarpma açılarının ve 0,45,90° lik elyaf yönelimlerinin malzemelerin aşınması üzerindeki etkilerini incelemiştirlerdir. Çarpma açıları 15° den 60° ye kadar artırılırken malzemelerdeki aşınmanın arttığı ve aşınmanın en fazla 60° lik açıda olduğunu ortaya koymuşlardır. 60° lik açıdan sonra aşınma azalma eğilimi göstermiştir. 0°/90° elyaf yöneliminde, 45°/90° ve 90°/90° elyaf yönelimlerine göre daha fazla aşınma olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca cam elyaf-epoksi reçine kompozitlerde, karbon elyaf-epoksi reçine kompozitlere göre daha fazla aşınma olduğunu da tespit etmişlerdir.

Tekalur ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada; E-cam ve karbon fiber takviyeleri kullanılarak üretilen vinil ester esaslı kompozit malzemelerin, yarı statik ve yüksek hızlı gerilme yükleri altındaki davranışlarını incelemiştirlerdir. Yarı statik yüklemeler altında karbon takviyeli kompozitlerin, cam elyaf takviyeli kompozitlere göre daha yüksek çekme ve basma mukavemeti gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca E-cam elyaf kumaş katmanları, karbon elyaf kumaşlara göre daha iyi şekilde iç içe geçtiğinden; E-cam elyaf takviyeli kompozitlerin, karbon elyaf kumaş takviyeli kompozitlere göre daha yüksek kesme dayanımı sergilediğini tespit etmişlerdir.

Sarva ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada; poliüre ve poliüretanın farklı hızlar ve tek eksenli basma yükleri altındaki davranışlarını incelemiştirlerdir. Poliüre; düşük hızlarda kauçuksu geçiş, yüksek hızlarda ise kayışimsı geçiş davranışı göstermiştir. Poliüretan; düşük hızlarda kauçuksu geçiş, yüksek hızlarda ise camsı geçiş davranışı göstermiştir.

Raman ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada; poliürenin yüksek hızlı ve tek eksenli çekme yükleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda; poliürenin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin lineer olmadığını, hıza bağlı olarak değiştiğini ve çekme hızı arttıkça poliüre numunelerinin elastiklik katsayısının (young modülü) artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Mohotti ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada; 6 ve 12 mm kalınlıkta poliüre kaplanarak üretilen alüminyum plakalı kompozit malzemelerde, düşük hızlı darbeler altında oluşan plastik deformasyonları deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar da deney ve simülasyon (LS-DYNA) sonuçları benzer özellik göstermektedir. Poliüre kalınlığı arttıkça numunelerin enerji soğurma kapasitelerinde artış ve bununla birlikte kalıcı şekil değiştirmede azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Sorrentinoa ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; aramid (kevlar) kumaş ve termoset reçine kullanılarak otoklav yöntemiyle üretilen tabakalı kompozit malzemelerin balistik performanslarını incelemişlerdir. Yaptıkları balistik deneyler ile Walker analitik modeli ile elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Yaptıkları balistik deney sonuçları ile malzemelerin koruyucu giysi imalatında kullanıma uygun olduğunu ve deney sonuçlarının analitik modelle hesaplanan balistik limitlerden % 8 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Valença ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; el yatırma yöntemiyle, epoksi reçine matrisli aramid elyaf kumaş ve aramid/cam elyaf hibrid kumaş kullanılarak ürettikleri kompozit malzemelerin çekme, eğme ve darbe yükleri altındaki mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hibrid kumaş kullanılarak üretilen kompozitlerin, aramid elyaf kumaş kullanılarak üretilen kompozitlere göre çekme, eğilme ve darbe deneylerinde daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Murugan ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; cam elyaf, karbon elyaf kumaşların farklı dizilimleriyle üretilen dört farklı (cam/cam/cam/cam, karbon/karbon/karbon/karbon, cam/karbon/karbon/cam, karbon/cam/cam/karbon) tabakalı kompozit malzemenin çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe dayanımı incelenmiştir. Yapılan deneylerde; karbon elyaf kumaş takviyeli kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetlerinin cam elyaf kumaş takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğu, darbe dayanımlarının ise daha düşük olduğu tespit etmişlerdir. Hibrid kompozitlerde çekme mukavemeti ve darbe dayanımı benzer özellik göstermekle birlikte karbon/cam/cam/karbon elyaf kumaştan üretilen kompozit

malzemelerin, cam/karbon/karbon/cam elyaf kumaştan üretilen kompozit malzemelere göre daha yüksek eğilme mukavemeti gösterdiği tespit etmişlerdir.

Elanchezian ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; epoksi matrisli cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin, farklı çekme hızları ve farklı sıcaklıklardaki çekme mukavemetlerini ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetlerinin, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte cam elyaf takviyeli kompozitler, karbon elyaf takviyeli kompozitlere göre çekme yükleri altında daha fazla uzama göstermiştir. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin eğilme mukavemeti ve darbe dayanımlarının cam elyaf takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca tarayıcı elektron mikroskopuyla (SEM) yaptıkları incelemelerde fiber yönelme açılarının, kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir.

Mahdi ve Sebaey (2014) yaptıkları çalışmada; karbon elyaf-epoksi reçineden oluşan altıgen ve sekizgen hücreler ve poliüretan köpük dolgusu kullanılarak oluşturulan yapılarda, dış kaplama olarak kullanılan karbon elyaf-epoksi reçine ve aramid elyaf-epoksi reçine katmanlarının basma yükleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Altıgen hücreli karbon takviyeli malzemelerde, dış katman olarak karbon-epoksi reçine ya da aramid-epoksi reçine kullanılmasının kompozit malzemelerin enerji soğurma kapasitelerine etkileri olmadığını tespit etmişlerdir. Bunun aksine sekizgen hücreli karbon takviyeli malzemelerde, aramid-epoksi reçine dış katmanların karbon-epoksi reçine dış katmanlara göre daha iyi enerji soğurma kapasitesine sahip olduklarını göstermişlerdir.

Bajracharya ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; geri dönüştürülmüş plastiklerin mekanik özelliklerinin iyileştirmesinde, bu malzemelere ilave edilen doğal ve sentetik elyaf katkıların malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarda pamuk, keten, kenevir, sisal, E-cam, S-cam, aramid ve karbon elyaf katkıları kullanmışlar ve malzemelerin farklı sıcaklıkta çekme yükleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda; maliyet-verimlilik açısından cam elyafların geri dönüştürülmüş plastik matrisli kompozitler için en uygun takviye malzemesi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Song (2015) tarafından yapılan çalışmada; karbon/cam elyaf kumaş ve karbon/aramid elyaf kumaşlar farklı dizilimlerde kullanılarak üretilen hibrid kompozitlerde, dizilimlerdeki

farklılıkların malzemelerin çekme yükleri altındaki özelliklerine etkisini incelemiştir. Hibrid kompozitlerde, karbon fiber kumaşların dizilimdeki yerinin malzemelerin özelliklerinde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Karbon/cam elyaf kumaş ve karbon/aramid elyaf kumaşlarla oluşturulan hibrid kompozitlerin; karbon elyafların baskın özelliğinden dolayı benzer mekanik özellik gösterdikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, aramid/karbon/aramid elyaf kumaş ve cam/karbon/cam elyaf kumaş dizilimleriyle üretilen kompozit malzemelerin, karbon/aramid/karbon elyaf kumaş ve karbon/cam/karbon elyaf kumaş dizilimine sahip kompozit malzemelere göre daha üstün mukavemet ve rijitliğe sahip oldukları tespit etmişlerdir.

Kiasat ve Sangtabi (2015) yaptıkları çalışmada; twill dokuma karbon elyaf kumaş ve epoksi reçine kullanılarak vakum infüzyon yöntemiyle üretilen tabakalı kompozitlerde, elyaf demet boyutlarındaki ve kumaş dokuma sıklığındaki değişimlerin malzemenin çekme yükleri etkisi altındaki mekanik davranışlarına etkisini incelemiştir. Seyrek dokuma kumaştan üretilen kompozit malzemeler, çekme deneyleri sonucunda kopma noktasına kadar doğrusal bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi sergilemiştir. Sık dokuma kumaştan üretilen kompozit malzemeler, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde rijitlikte bozulma göstermektedir. Kumaşlardaki dokuma sıklığı ve elyaf demet boyutlarının; malzemelerin rijitliğindeki bozulmada etkili olduğunu göstermişlerdir.

Bergmann ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada; epoksi reçine, sertleştirilmiş epoksi reçine ve polieter eter keton matris malzemesi ve karbon, cam, aramid elyaf kumaşlar kullanılarak ürettikleri kompozit malzemelerin; oda sıcaklığında, 5 mm/dakika hızdaki ve $\pm 45^\circ$ lik çekme yükleri altında kompozit malzemelerde kullanılan fiber tiplerinin ve matris malzemesinin, malzemelerin mekanik davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Karbon elyaf kumaş takviyeli numunelerle yapılan deneylerde; matris malzemesi olarak epoksi reçine yerine sertleştirilmiş epoksi reçine kullanılmasının malzemenin esneklik katsayısı ve çekme gerilmesinde % 4 lük artış sağladığını göstermişlerdir. Epoksi matris malzemesi ve karbon elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemenin alınan referans numunesinin sonuçları, cam elyaf kumaş takviyeli numunelerin sonuçları ile karşılaştırıldığında referans numunesine göre esneklik katsayısında %14, çekme gerilmesinde ise %22,5' lik düşüş olduğunu göstermişlerdir. Cam elyaf kumaş yerine aramid elyaf kumaş kullanıldığında çekme gerilmesinde ufak bir artış meydana gelmesine rağmen esneklik katsayısında önemli bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde; kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam elyaf, aramid elyaf ve karbon elyaf kumaşların özellikleri belirtilmiştir.

3.1.1. Cam elyaf kumaşlar

Kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere; 163 gr/m² ve 280 gr/m² ağırlığında iki farklı cam elyaf kumaş Dost Kimya End. Ham. San. Ve Tic. Ltd. Şti.' den temin edilmiştir. Cam elyaf kumaşların özellikleri çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Cam elyaf kumaşların özellikleri (Anonim 2015)

Ürün Kodu	İplik Boyutu [cm]		Elyaf		Kalınlık	Ağırlık			Dokuma Türü
	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı		Çözü	Atkı	Toplam	
	UNI EN 1049-2		TEX		(mm)+-%15	(gr/m ²) +-%4			UNI 8099
				UNI EN ISO 5084	UNI 5114-82				
03G163K	12	11,5	68	68	0,12	83	80	163	Twill 2/2
03G280K	7	6,5	204	204	0,26	145	135	280	Twill 2/2

3.1.2. Aramid (kevlar) elyaf kumaş

Kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere; 170 gr/m² ağırlığında aramid (kevlar) elyaf kumaş Dost Kimya End. Ham. San. Ve Tic. Ltd. Şti.' den temin edilmiştir. Aramid elyaf kumaşın özellikleri çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Aramid (kevlar) elyaf kumaşın özellikleri (Anonim 2015)

Ürün Kodu	İplik Boyutu [cm]		Elyaf		Kalınlık	Ağırlık			Dokuma Türü
	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı		Çözü	Atkı	Toplam	
	UNI EN 1049-2		TEX		(mm)+-%15	(gr/m ²) +-%4			UNI 8099
				UNI EN ISO 5084	UNI 5114-82				
03A170K	6,7	6,7	1270	1270	0,25	85	85	170	Twill 2/2

3.1.3. Karbon elyaf kumaş

Kompozit malzeme üretiminde kullanılmak üzere; 200 gr/m² ağırlığında karbon elyaf kumaş Dost Kimya End. Ham. San. Ve Tic. Ltd. Şti.' den temin edilmiştir. Karbon elyaf kumaşın özellikleri çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Karbon elyaf kumaşın özellikleri (Anonim 2015)

Ürün Kodu	İplik Boyutu [cm]		Elyaf		Kalınlık	Ağırlık			Dokuma Türü
	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı		Çözü	Atkı	Toplam	
	UNI EN 1049-2		TEX		(mm)+-%15	(gr/m ²) +-%4			UNI 8099
02C200K	4,9	4,9	HS 3K	HS 3K	0,25	100	100	200	Twill 2/2

3.2. Metod

Kompozit malzemelerin hazırlanması, deney numunelerinin hazırlanması ve deneylerde kullanılacak cihazların belirlenmesi gerekmektedir.

3.2.1. Kompozit malzemelerin üretimi

Özellikleri çizelge 3.1.'de verilen 163 gr/m² ve 280 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaşların, çizelge 3.2.'de verilen 170 gr/m² ağırlığında aramid (kevlar) elyaf kumaşın ve çizelge 3.3.'te verilen 200 gr/m² ağırlığında karbon elyaf kumaşın, iki tarafına da 120 bar basınç ve 1:1 karışım oranıyla ortalama 1 mm kalınlıkta poliüre püskürtme (sprey) yapılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretilme aşamaları şekil 3.1., şekil 3.2., şekil 3.3. ve şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-1



Şekil 3.2. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-2

Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi, kumaşın bir yüzeyi poliüre ile kaplanana kadar işleme devam edilmiştir.



Şekil 3.3. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-3

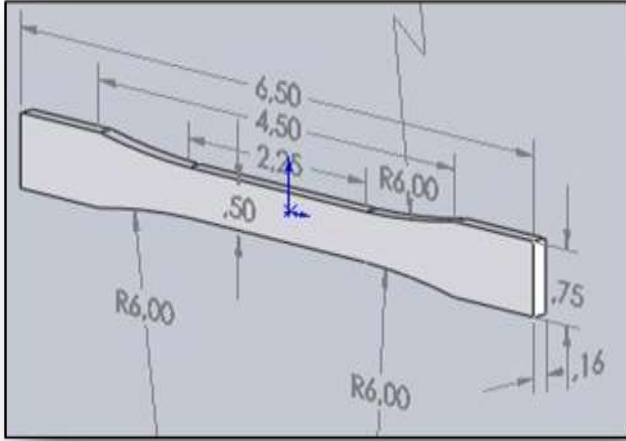
Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi, kumaşın bir yüzeyi poliüre ile kaplandıktan sonra kumaşın diğer yüzeyi de aynı kalınlıkta poliüre ile kaplanarak kompozit malzemeler üretilmiştir.



Şekil 3.4. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları-4

3.2.2. Çekme deney numunesi modellenmesi ve lazer kesim makinesiyle numunelerin hazırlanması

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programı ile ISO 527 standardına uygun olarak şekil 3.5.'te görülen çekme deney numunesi modellenmiştir.



Şekil 3.5. Çekme deney numunesi

Poliüre matris malzemesi, cam, aramid ve karbon elyaf kumaşlar kullanılarak üretilen 1 m²'lik levha şeklindeki tabakalı kompozit malzemelerden, lazer kesim makinesiyle numuneler hazırlanmıştır.

Şekil 3.6.'da lazer kesim makinesi ile kesilerek hazırlanmış çekme deney numunesi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Lazer kesim makinesiyle çekme numunelerin hazırlanması

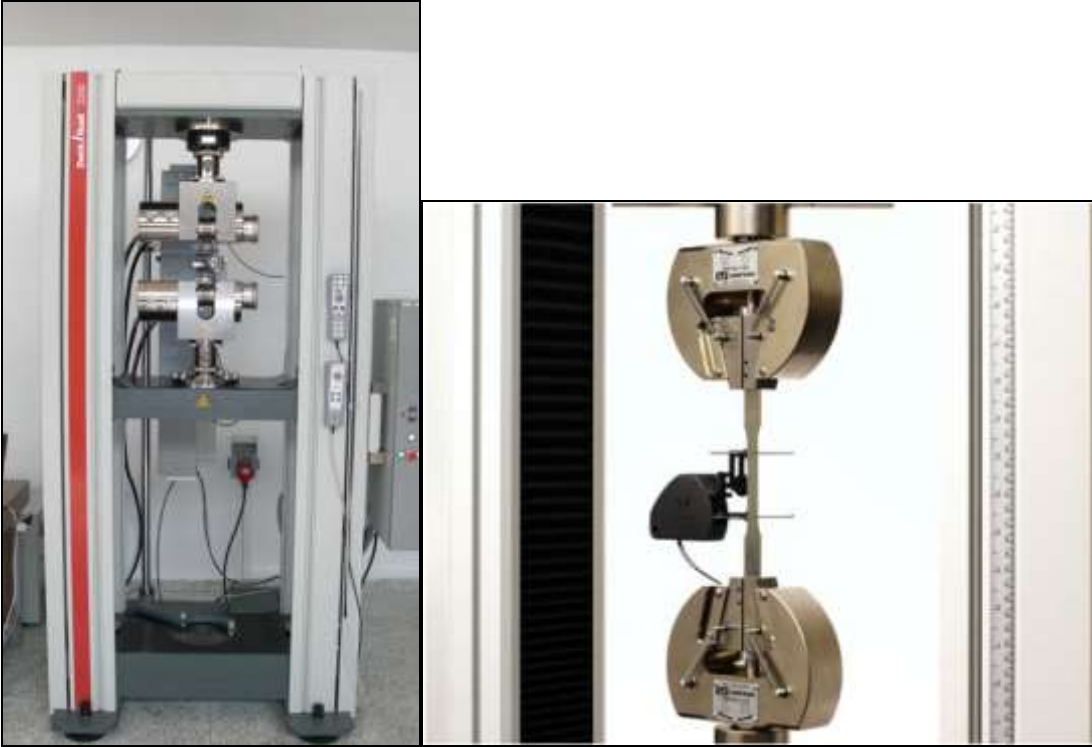
Üretilen kompozit malzemelerden beşer adet deney numunesi kesilmiştir. Numuneler şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Çekme deney numuneleri

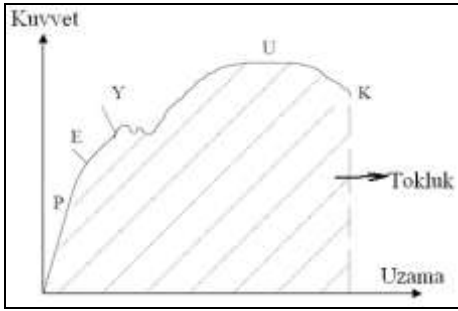
3.2.3. Çekme deney cihazı ve çekme deneyi

Bu yüksek lisans tezinde oluşturulmuş deney numuneleri için ISO 527 standardı uygulanmıştır. Deney numuneleri çenelerle tutturulmuş ve şekil 3.8.'de görülen Zwick marka çekme deney düzeneğinde 5 mm/dk hız ile çekme deneyi yapılmıştır.



Şekil 3.8. Zwick marka çekme deney düzeneği ve çeneler (Anonim 2014)

Çekme deneyi, malzemelerin sabit yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının incelendiği test yöntemidir. Çekme deneyi için boyutları standartlara uygun deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksenal ve değişken kuvvetler uygulanarak tatbik edilmektedir. Çekme deney cihazı; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene, çenelere hareket veya kuvvet veren ve bu iki büyüklüğü ölçen birimlerden oluşmaktadır. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanmakta ve bu kuvvete karşılık gelen uzama miktarı belirlenmektedir (Yalçın 2012).



Şekil 3.9. Çekme testinde tipik kuvvet-uzama eğrisi (Yalçın 2012)

Şekil 3.9.'da tipik kuvvet-uzama eğrisinde gelişen olaylar aşamalı olarak gösterilmiştir. Düşük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanmaktadır. Bu özellik P noktasına kadar devam etmektedir. P noktasından sonra orantı limiti, doğrusal fonksiyon eğimini değiştirmektedir. Ancak elastik davranış devam etmektedir. Elastik davranış, elastik limit noktasında (E) sona ermektedir. E noktasından sonra kalıcı, yani plastik deformasyon başlamaktadır. Kuvvet azaltıldığında doğrusal fonksiyona paralel bir yol izlemektedir. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmamakta ve malzemede belirli bir plastik deformasyon kalmaktadır. Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akmaktadır. Akma noktasında, kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşmaktadır. Akan malzeme çalışma sertleşmesine uğramakta, daha mukavim ve daha fazla kuvvet alabilir hale gelmektedir. Malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak U noktasına ulaşılmaktadır. Maksimum gerilme noktasında (U) malzeme kesitinde bölgesel daralmalar başlamaktadır. Bu malzemenin “boyun vermesi” olarak adlandırılmaktadır. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olmakta ve bununla birlikte malzeme daha fazla gerilme karşılayabilmekte ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalmaktadır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerlemekte ve bu noktada kopmaktadır. Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan

o numuneyi deformasyona uğratmak için gereken enerjiye eşittir ve tokluk olarak adlandırılmaktadır (Yalçın 2012).

Daha sonra kuvvet-uzama eğrisi yeniden ölçeklendirilmektedir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek “birim-uzama” ‘ya çevrilmektedir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilme” hesaplanmakta ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilmektedir. Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğramışsa “sünek” , az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir (Yalçın 2012).

3.2.4 Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntü analizi

Yüksek lisan tezi kapsamında üretilen deney numuneleri şekil 3.10.’da gösterildiği gibi SEM mikroskobunda incelenmek üzere tablasına sabitlenmiştir.



Şekil 3.10. Tarayıcı elektron mikroskobunda incelenen numuneler

Şekil 3.11.’de deney numunelerinin incelenmesinde kullanılan Namık Kemal Üniversitesi Rektörlüğüne bağlı olarak faaliyet gösteren Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinin bünyesinde bulunan; FEI marka, QUANTA FEG 250 model tarayıcı elektron mikroskobu gösterilmiştir.



Şekil 3.11. FEI, QUANTA FEG 250 tarayıcı elektron mikroskobu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Kompozit malzemelerden alınan numunelerin çekme deney sonuçları detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

4.1.1. 163 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaştan üretilen numunelerin deney sonuçları

Çekme deneyi sonucunda numunelerin mekanik özellikleri çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 163 gr/m² lik CEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri

Deney Numuneleri	E [N/mm ²]	ReH [N/mm ²]	ε ReH [%]	Rm [N/mm ²]	Agt [%]	RB [N/mm ²]	At [%]	S0 [mm ²]	L0 [mm]
163CEK1	780,30	-	-	17,85	2,50	5,35	1,00	36,17	50,19
163CEK2	817,94	-	-	16,51	1,97	4,95	0,82	36,69	50,19
163CEK3	697,23	-	-	13,91	1,99	4,15	0,78	38,32	50,13
163CEK4	825,57	-	-	15,76	2,12	4,72	0,92	35,44	50,27
163CEK5	838,45	-	-	14,84	1,92	4,45	0,84	35,14	50,27
Ortalama	791,89	-	-	15,77	2,10	4,72	0,87	36,35	50,21

Numunelerin deney sonucundaki görüntüleri şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. 163CEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri

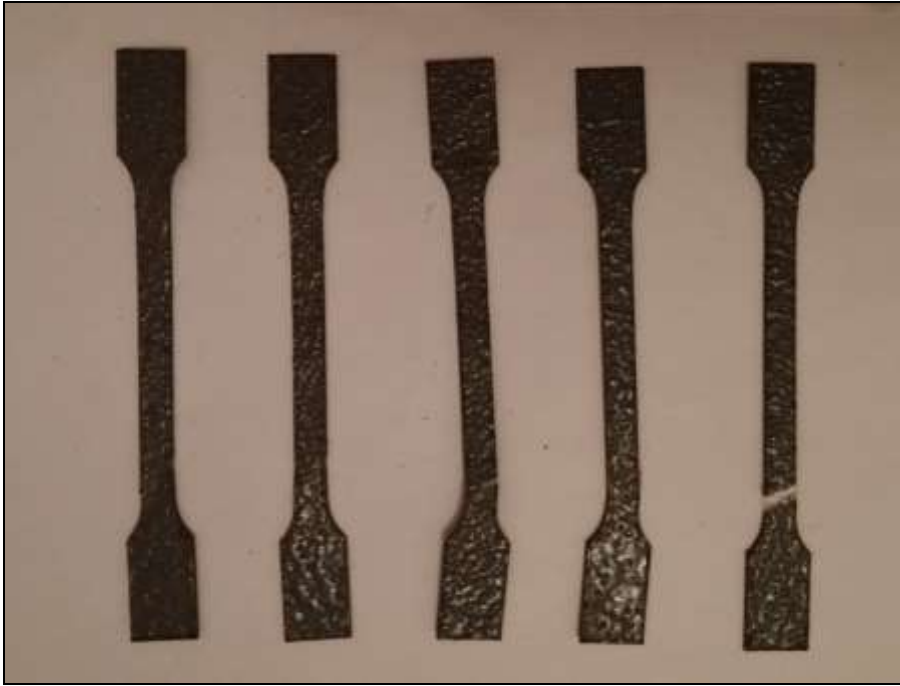
4.1.2. 280 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaştan üretilen numunelerin deney sonuçları

Çekme deneyi sonucunda numunelerin mekanik özellikleri çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 280 gr/m² lik CEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri

Deney Numuneleri	E [N/mm ²]	ReH [N/mm ²]	ε ReH [%]	Rm [N/mm ²]	Agt [%]	RB [N/mm ²]	At [%]	S0 [mm ²]	L0 [mm]
280CEK1	1233,58	22,01	2,62	22,01	2,62	6,58	1,19	16,99	50,21
280CEK2	880,25	20,14	2,45	20,14	2,45	6,04	3,06	20,00	50,06
280CEK3	811,41	22,58	2,79	22,58	2,79	6,77	1,51	18,59	50,14
280CEK4	924,94	23,56	3,24	23,56	3,24	7,06	1,92	18,36	50,16
280CEK5	1227,60	17,01	1,49	17,01	1,49	5,07	0,31	19,75	50,15
Ortalama	1015,55	21,06	2,51	21,06	2,51	6,30	1,59	18,73	50,14

Numunelerin deney sonucundaki görüntüleri şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. 280CEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri

4.1.3. Aramid elyaf kumaştan üretilen numunelerin deney sonuçları

Çekme deneyi sonucunda numunelerin mekanik özellikleri çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. AEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri

Deney Numuneleri	E [N/mm ²]	ReH [N/mm ²]	ε ReH [%]	Rm [N/mm ²]	Agt [%]	RB [N/mm ²]	At [%]	S0 [mm ²]	L0 [mm]
AEK1	1318,97	-	-	48,46	2,27	48,46	2,27	27,14	50,20
AEK2	2982,95	-	-	63,21	1,95	63,21	1,95	23,06	50,11
AEK3	1549,08	-	-	51,91	2,51	51,91	2,51	26,23	50,20
AEK4	2369,78	-	-	54,09	2,06	54,04	2,07	24,23	50,06
AEK5	2452,17	-	-	54,24	1,91	54,24	1,91	23,59	50,13
Ortalama	2134,59	-	-	54,38	2,14	54,37	2,14	24,85	50,14

Numunelerin deney sonucundaki görüntüleri şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. AEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri

4.1.4. Karbon elyaf kumaştan üretilen numunelerin deney sonuçları

Çekme deneyi sonucunda numunelerin mekanik özellikleri çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. KEK den elde edilen numunelerin mekanik özellikleri

Deney Numuneleri	E [N/mm ²]	ReH [N/mm ²]	ϵ ReH [%]	Rm [N/mm ²]	Agt [%]	RB [N/mm ²]	At [%]	S0 [mm ²]	L0 [mm]
KEK1	2110,77	-	-	41,86	1,26	40,56	1,27	22,77	50,15
KEK2	1739,63	-	-	38,32	1,36	38,20	1,47	20,22	50,16
KEK3	2420,98	-	-	31,52	1,06	30,77	1,06	25,70	50,12
KEK4	2644,16	-	-	46,65	1,26	44,78	1,26	19,78	50,12
KEK5	2959,62	-	-	40,29	0,95	40,29	0,95	22,23	50,16
Ortalama	2375,03	-	-	39,72	1,17	38,92	1,20	22,14	50,14

Numunelerin deney sonucundaki görüntüleri şekil 4.4.'te verilmiştir.



Şekil 4.4. KEK1-2-3-4-5 numunelerinin deney sonucundaki görüntüleri

4.2. Tarayıcı Elektron Mikroskobu İle Tespit Edilen Görüntüler

Numunelerin, Tarayıcı Elektron Mikroskobu ile yapılan 100 µm yakınlığındaki incelemeleri sonucunda elde edilen görüntüler bütünlüğün bozulmaması için ekler bölümünde EK:1-16 ayrı olarak verilmiştir.

4.2.1. 163 gr/m² lik CEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler

163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin tarayıcı elektron mikroskobuyla tespit edilen görüntüleri EK-1, EK-2, EK-3 ve EK-4' te verilmiştir.

4.2.2. 280 gr/m² lik CEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler

280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin tarayıcı elektron mikroskobuyla tespit edilen görüntüleri EK-5, EK-6, EK-7 ve EK-8' de verilmiştir.

4.2.3. AEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler

AEK' den alınan numunenin tarayıcı elektron mikroskobuyla tespit edilen görüntüleri EK-9, EK-10, EK-11 ve EK-12' de verilmiştir.

4.2.4. KEK' den alınan numuneden tespit edilen görüntüler

KEK' den alınan numunenin tarayıcı elektron mikroskobuyla tespit edilen görüntüleri EK-13, EK-14, EK-15 ve EK-16' da verilmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, cam elyaf kumaşlar, aramid (keklar) elyaf kumaş, karbon elyaf kumaş takviyeleri, püskürtme şeklinde ve aynı proses şartlarında poliüre matris malzemesi kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit levhalardan alınan numuneler ile aynı dokuma türündeki cam elyaf kumaşların kalınlıklarındaki değişimin ve kumaş türlerinin, üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca tarayıcı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde kompozit malzemelerden alınan numunelerin içyapısı görüntülenmiştir.

0,12 mm kalınlığında ve 163 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaş kullanılarak üretilen kompozit malzemedan alınan numuneler ile yapılan çekme deneyi sonucunda; numunelerin ortalama elastiklik modülü 791,89 N/mm², çekme dayanımı 15,77 N/mm² ve kopma uzamasının %2,10 olduğu bulunmuştur.

0,26 mm kalınlığında ve 280 gr/m² ağırlığındaki cam elyaf kumaş kullanılarak üretilen kompozit malzemedan alınan numuneler ile yapılan çekme deneyi sonucunda; numunelerin ortalama elastiklik modülü 1015,55 N/mm², çekme dayanımı 21,06 N/mm² ve kopma uzamasının %2,51 olduğu bulunmuştur.

0,26 mm kalınlığındaki cam elyaf kumaş ile üretilen numunelerin çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastiklik modülünün 0,12 mm kalınlığındaki cam elyaf kumaş ile üretilen numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Aramid (keklar) elyaf kumaş kullanılarak üretilen kompozit malzemedan alınan numuneler ile yapılan çekme deneyi sonucunda; numunelerin ortalama elastiklik modülü 2134,59 N/mm², çekme dayanımı 54,38 N/mm² ve kopma uzamasının %2,14 olduğu bulunmuştur.

Karbon elyaf kumaş kullanılarak üretilen kompozit malzemedan alınan numuneler ile yapılan çekme deneyi sonucunda; numunelerin ortalama elastiklik modülü 2375,03 N/mm², çekme dayanımı 39,72 N/mm² ve kopma uzamasının %1,17 olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak; cam elyaf, aramid elyaf ve karbon elyaf kumaş takviyeleri arasında en yüksek çekme mukavemeti ve kopma uzaması aramid elyaf kumaş kullanılan numunelerde tespit edilmiştir. En yüksek elastiklik modülü ise karbon elyaf kumaş takviyeli numunelerde tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim (2015). Dostkimya Aramid Elyaf Kumaşlar. <http://dostkimya.com/Documents/aramid-kumaslar-trpdf-1351685915.pdf> (erişim tarihi, 04.02.2015).
- Anonim (2015). Dostkimya Cam Elyaf Kumaşlar. <http://dostkimya.com/Documents/cam-kumaslar-trpdf-1351685820.pdf> (erişim tarihi, 04.02.2015).
- Anonim (2015). Dostkimya Karbon Elyaf Kumaşlar. <http://dostkimya.com/Documents/karbon-kumaslar-trpdf-1351685333.pdf> (erişim tarihi, 04.02.2015).
- Anonim (2014). Isı ve Su Yalıtımında Yekpare Hızlı Kesin Çözümler. <http://www.putechmagazine.com/Haber/Isi-Su-Yalitiminda-Yekpare-Hizli-Kesin-Cozumler.html> (erişim tarihi, 07.09.2014).
- Anonim (2014). İzotropik ve Ortotropik Fiber Takviyeli Plastik Kompozit Malzemelerin Çekme Özellikleri (ISO 527-4). <http://www.instron.com.tr/wa/solutions/ISO-5274-Tensile-Properties-Fiber-Reinforced-Plastic-Composites.aspx> (erişim tarihi, 08.11.2014).
- Anonim (2014). Poliüre Uygulama Sistemi. <http://www.atlasyalitim.com/polyurea-gama> (erişim tarihi, 07.09.2014).
- Anonim (2013). Sıcak Püskürtme Membran Kataloğu. <http://www.sinerjiyapi.com> (erişim tarihi, 09.10.2013).
- Anonim (2013). Sprey Cooperation Katalog. <http://www.spreycooperation.com> (erişim tarihi, 09.10.2013).
- Anonim (2014). Sprey Poliürea İzolasyon ve Kaplama Sistemleri. <http://www.henkim.com.tr/urunler.php?id=12> (erişim tarihi, 07.09.2014).
- Anonim (2014). Üniwersal Test Makinası (Zwick). <http://merlab.metu.edu.tr/universal-test-makinasi-zwick> (erişim tarihi, 08.11.2014).
- Akın C (2008). Epoxy Cam Elyaf Kompozit Levhanın Darbe Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Alyanak İ (2013). Yapıştırılmış ve Paralel Çift Pim Uygulanmış Kompozit Plakaların Analizi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Bajracharya R, Manalo A, Karunasena W, Lau K (2014). An Overview Of Mechanical Properties And Durability Of Glass-Fibre Reinforced Recycled Mixed Plastic Waste Composites. Materials and Design, 62: 98-112.
- Bergmann T, Heimbs S, Maier M (2015). Mechanical Properties And Energy Absorption Capability Of Woven Fabric Composites Under ± 45 Off-Axis Tension. Composite Structures, 125: 362-373.

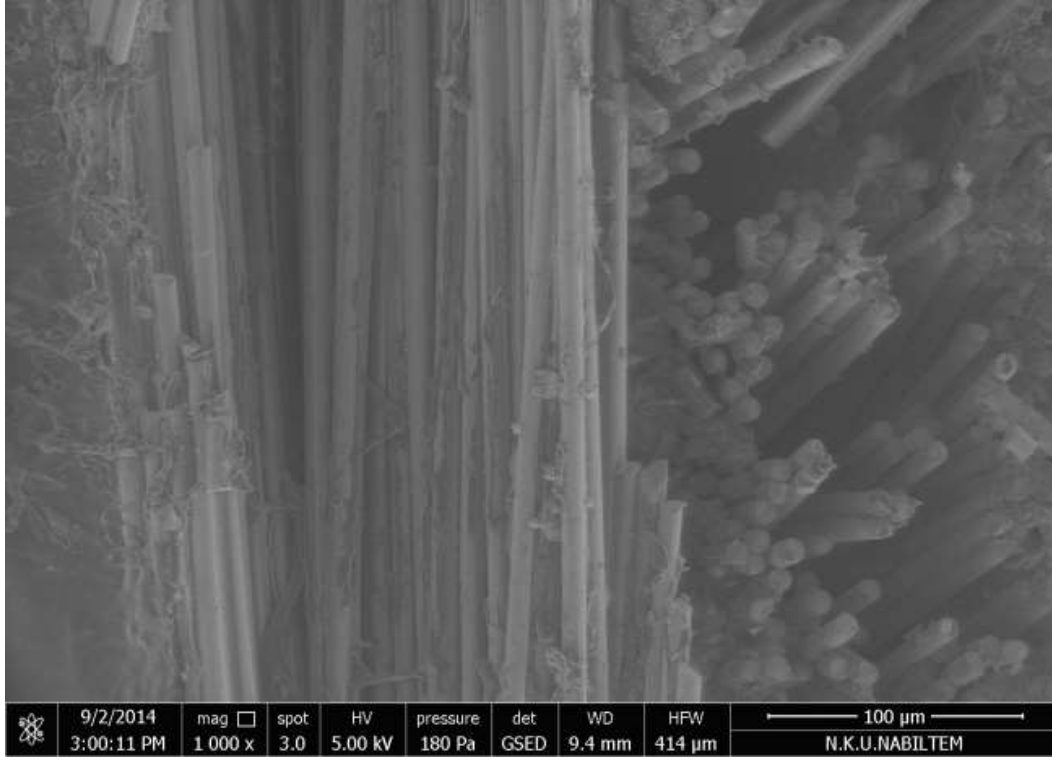
- Çetin İ (2012). Korozyonu Önlemede Kompozit Poliüre-Polipirol Kaplamalarının Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Elanchezhian C, Ramnath B, Hemalatha J (2014). Mechanical Behaviour Of Glass And Carbon Fibre Reinforced Composites At Varying Strain Rates And Temperatures. *Procedia Materials Science*, 6: 1405-1418.
- Ercan H (2006). Uçak Sanayinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eren Y (2007). Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Kayrak M (1999). Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Analizleri. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No:1101, Eskişehir.
- Kiasat M, Sangtabi M (2015). Effects Of Fiber Bundle Size And Weave Density On Stiffness Degradation And Final Failure Of Fabric Laminates. *Composites Science and Technology*, 111: 23-31.
- Kinet A (2008). Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi. Araştırma Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Mahdi E, Sebaey T (2014). Crushing Behavior Of Hybrid Hexagonal/Octagonal Cellular Composite System: Aramid/Carbon Hybrid Composite. *Materials and Design*, 63: 6-13.
- Mohotti D, Ngo T, Raman S, Ali M, Mendis P (2013). Plastic Deformation Of Polyurea Coated Composite Aluminium Plates Subjected To Low Velocity Impact. *Materials and Design*, 56: 696-713.
- Murugan R, Ramesh R, Padmanabhan K (2014). Investigation On Static And Dynamic Mechanical Properties Of Epoxy Based Woven Fabric Glass/Carbon Hybrid Composite Laminates. *Procedia Engineering*, 97: 459-468.
- Öztürk A (2009). Sandviç Kompozitlerde Balpeteği Yapısının Optimizasyonu. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Raman S, Ngo T, Lu J, Mendis P (2013). Experimental Investigation On The Tensile Behavior Of Polyurea At High Strain Rates. *Materials and Design*, 50: 124-129.
- Rouchan J (1987). *Materiaux composites pour d'aeronefs*. National Higher School of Aeronautical Constructions, 95.
- Sarva S, Deschanel S, Boyce M, Chen W (2007). Stress-Strain Behavior Of A Polyurea And A Polyurethane From Low To High Strain Rates. *Polymer*, 48: 2208-2213.
- Song H (2015). Pairing Effect And Tensile Properties Of Laminated High-Performance Hybrid Composites Prepared Using Carbon/Glass And Carbon/Aramid Fibers. *Composites: Part B*, 79: 61-66.

- Sorrentinoa L, Bellini C, Corrado A, Polini W, Arico R (2014). Ballistic Performance Evaluation Of Composite Laminates İn Kevlar 29. *Procedia Engineering*, 88: 255-262.
- Şahin Y (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Seçkin Yayıncılık, 424 s.
- Tekalur S, Shivakumar K, Shukla A (2007). Mechanical Behavior And Damage Evolution İn E-Glass Vinyl Ester And Carbon Composites Subjected To Static And Blast Loads. *Composites: Part B*, 39: 57-65.
- Tewari U, Harsha A, Hager A, Friedrich K (2002). Solid Particle Erosion Of Carbon Fibre-And Glass Fibre-Epoxy Composites. *Composites Science and Technology*, 63: 549-557.
- Valença S, Griza S, Oliveira V, Sussuchi E, Cunha F (2014). Evaluation Of The Mechanical Behavior Of Epoxy Composite Reinforced With Kevlar Plain Fabric And Glass/Kevlar Hybrid Fabric. *Composites: Part B*, 70: 1-8.
- Wang Y, Li J, Zhao D (1994). Mechanical Properties Of Fiber Glass And Kevlar Woven Fabric Reinforced Composites. *Composites Engineering*, 5: 1159-1175.
- Yalçın E (2012). Farklı Kumaş ve Farklı Yöntmelerle Üretilmiş Ctp Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programı, İstanbul.

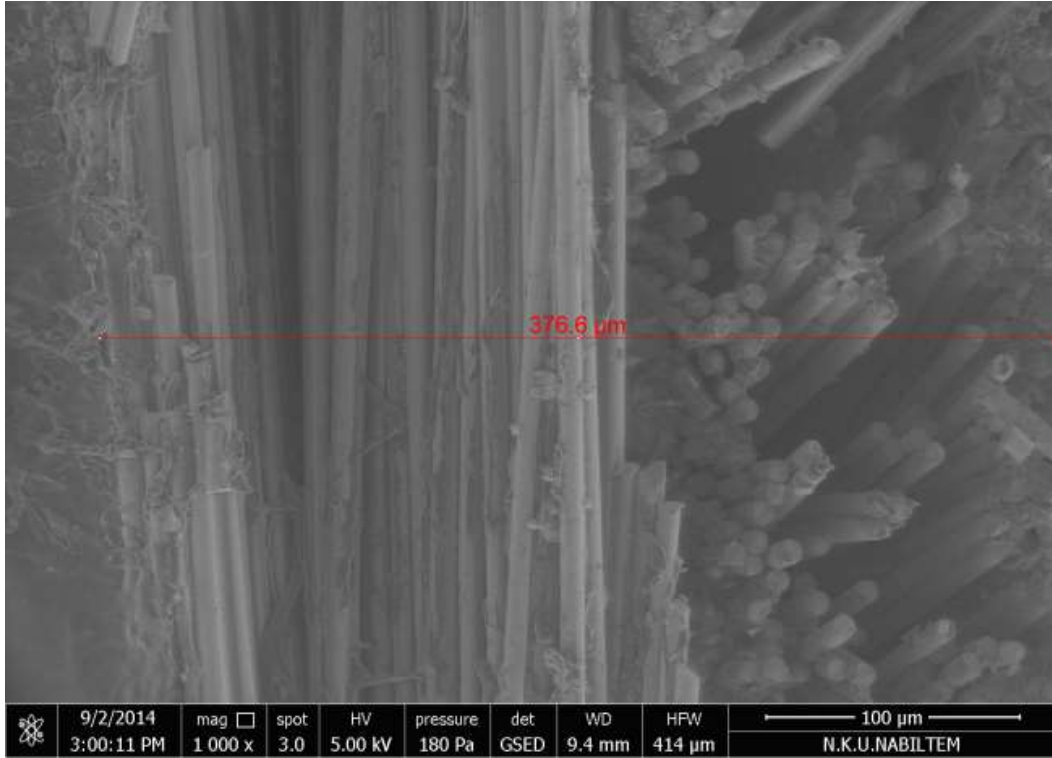
EKLER

- EK-1 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a
EK-2 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b
EK-3 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c
EK-4 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d
EK-5 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a
EK-6 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b
EK-7 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c
EK-8 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d
EK-9 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a
EK-10 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b
EK-11 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c
EK-12 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d
EK-13 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a
EK-14 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b
EK-15 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c
EK-16 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d

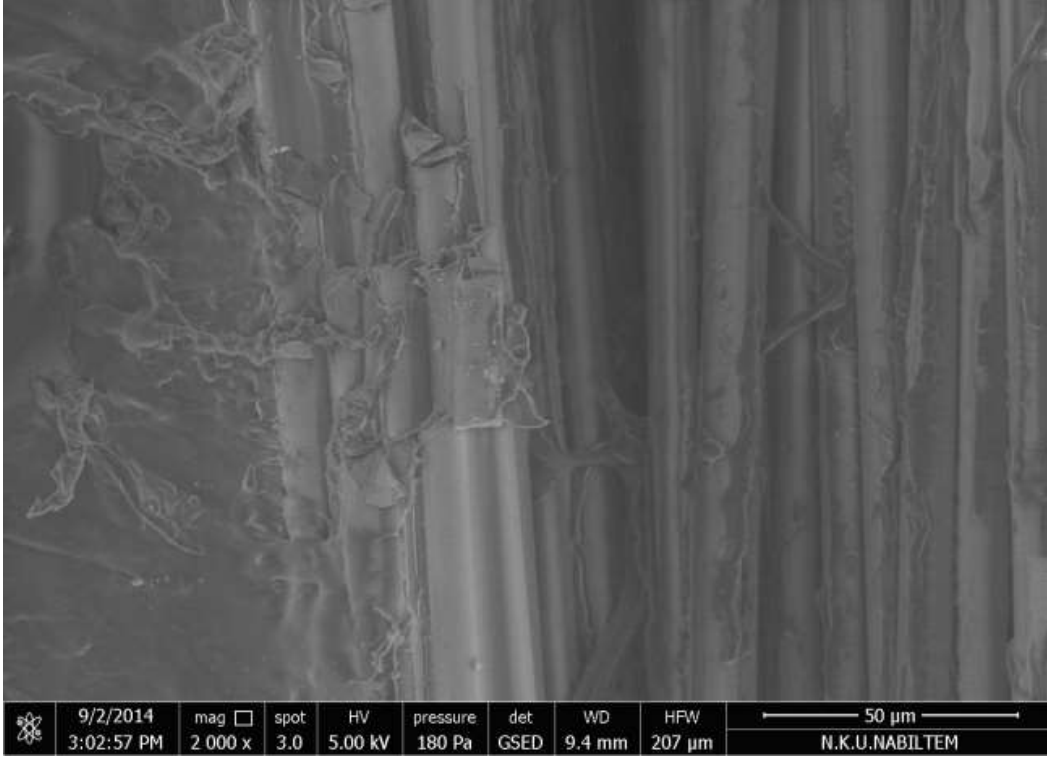
EK-1 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a



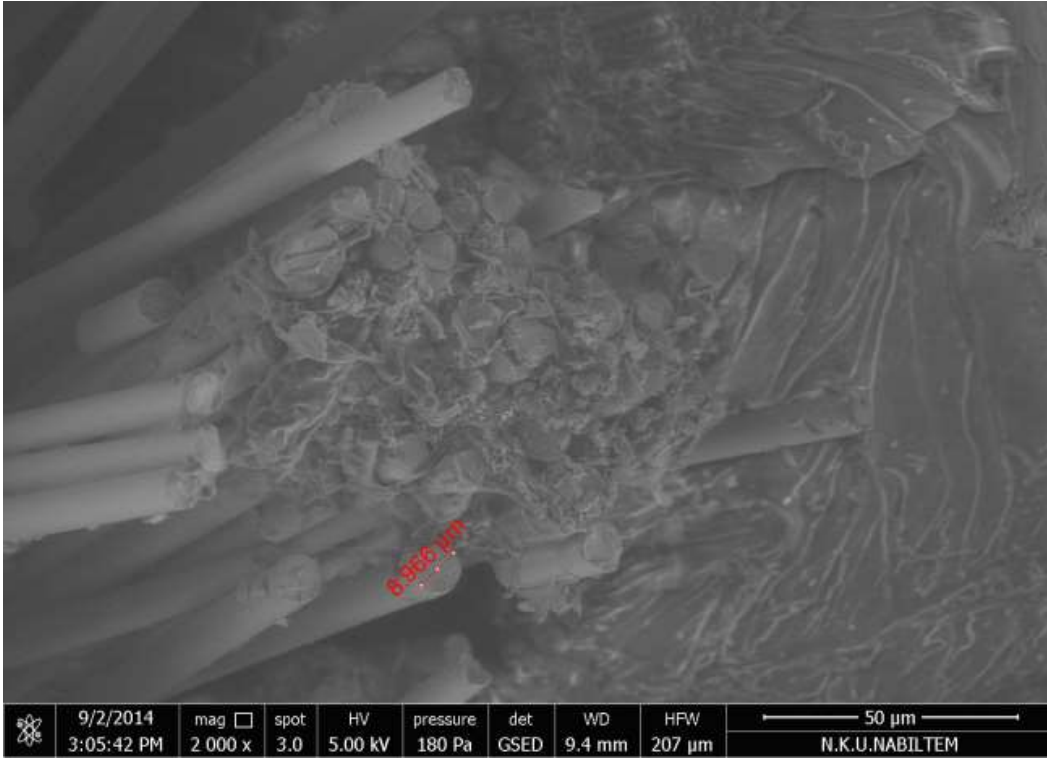
EK-2 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b



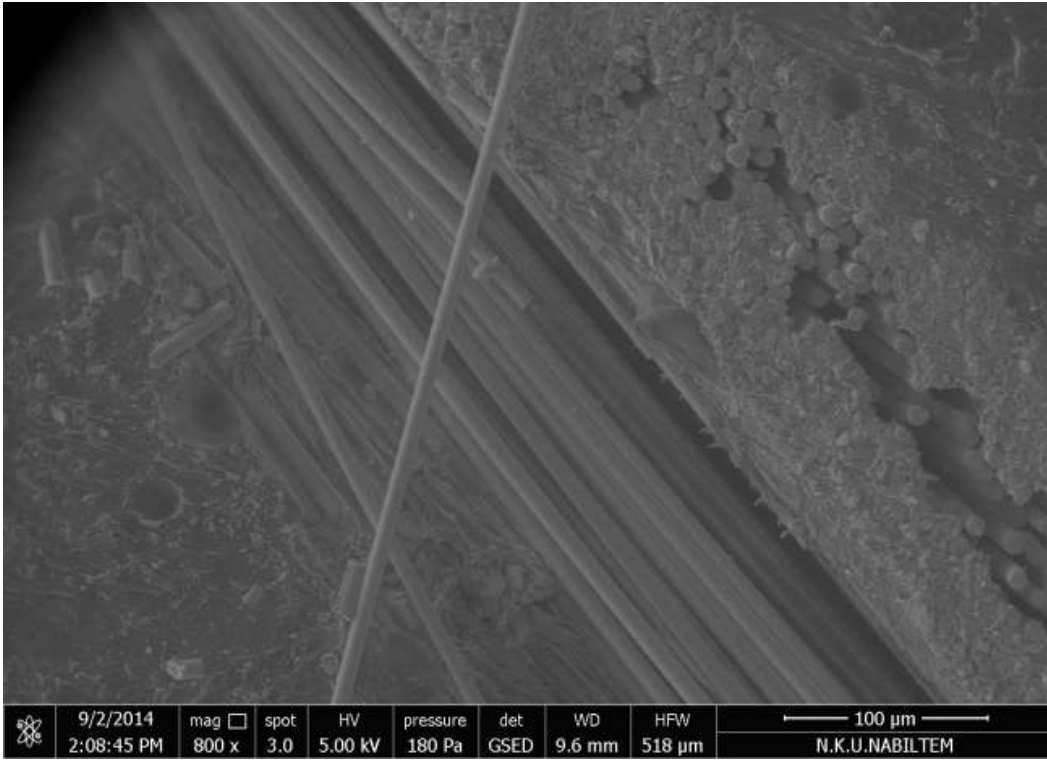
EK-3 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c



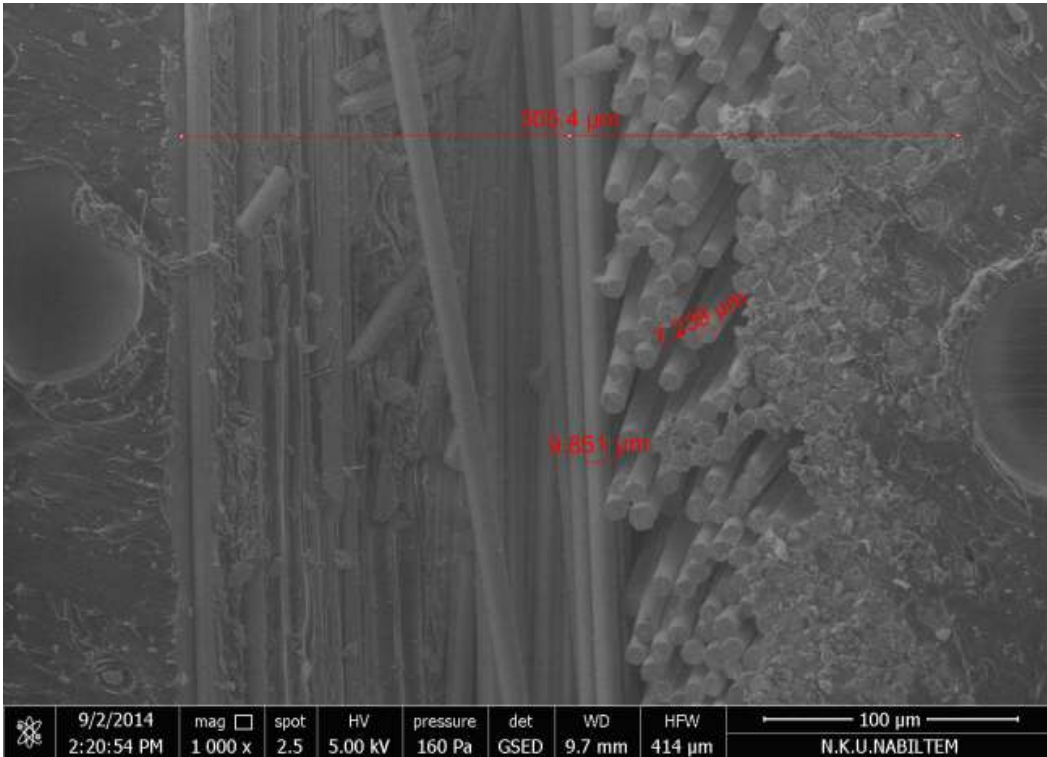
EK-4 163 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d



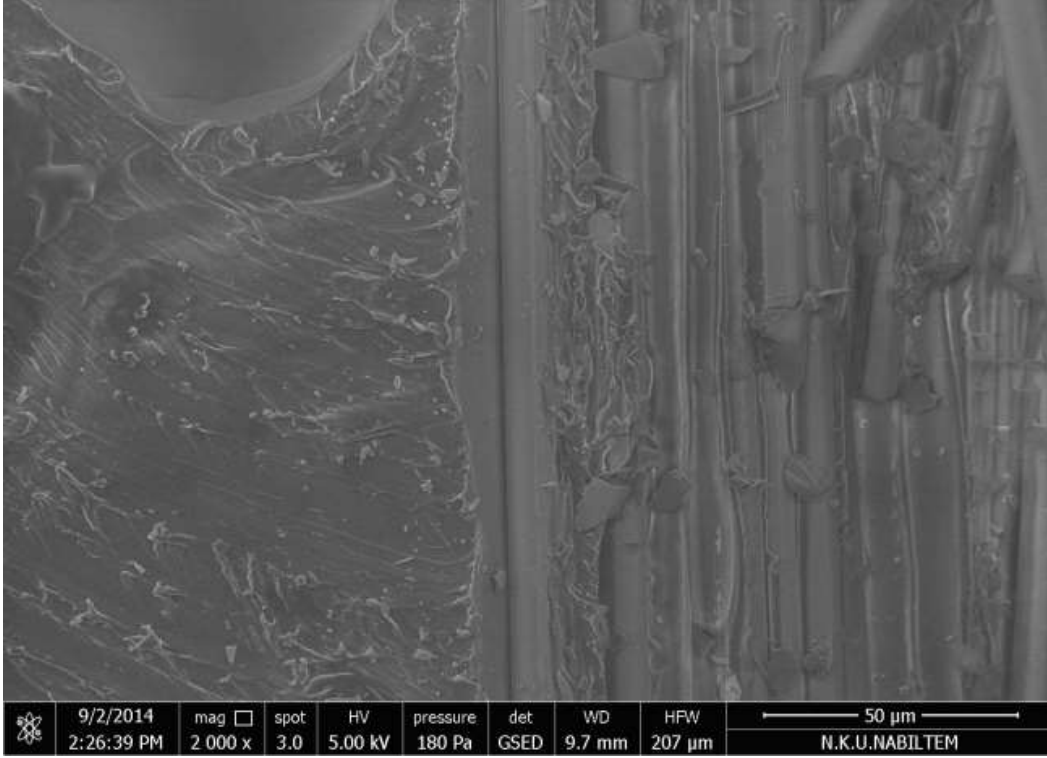
EK-5 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a



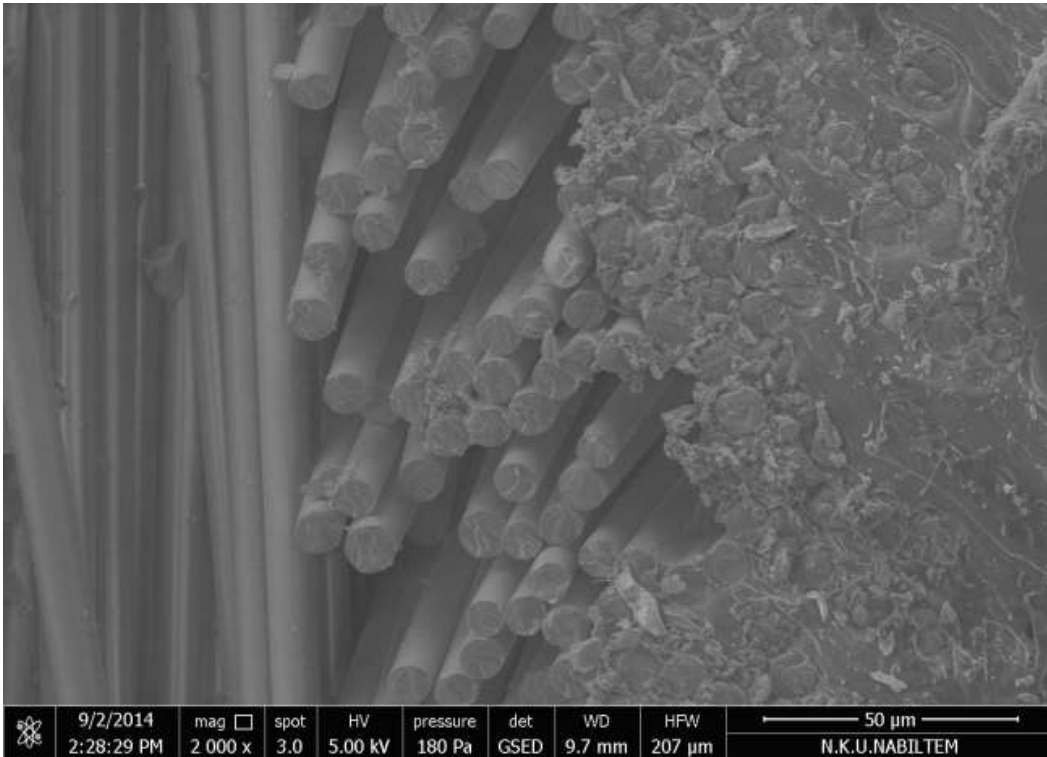
EK-6 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b



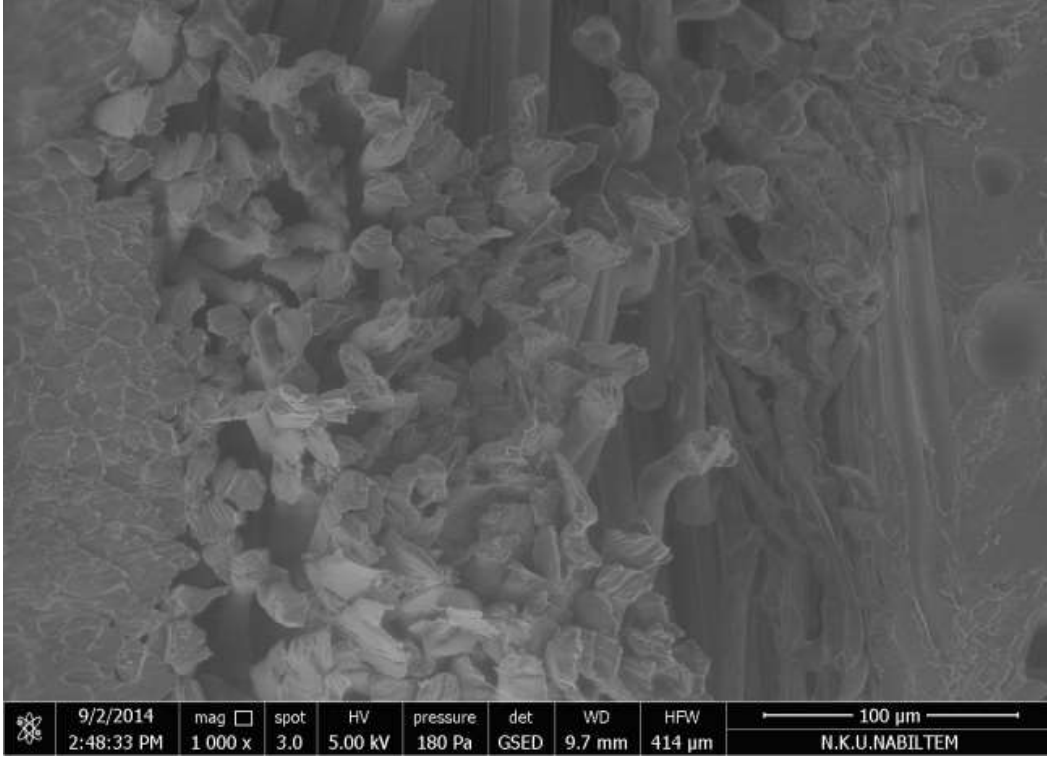
EK-7 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c



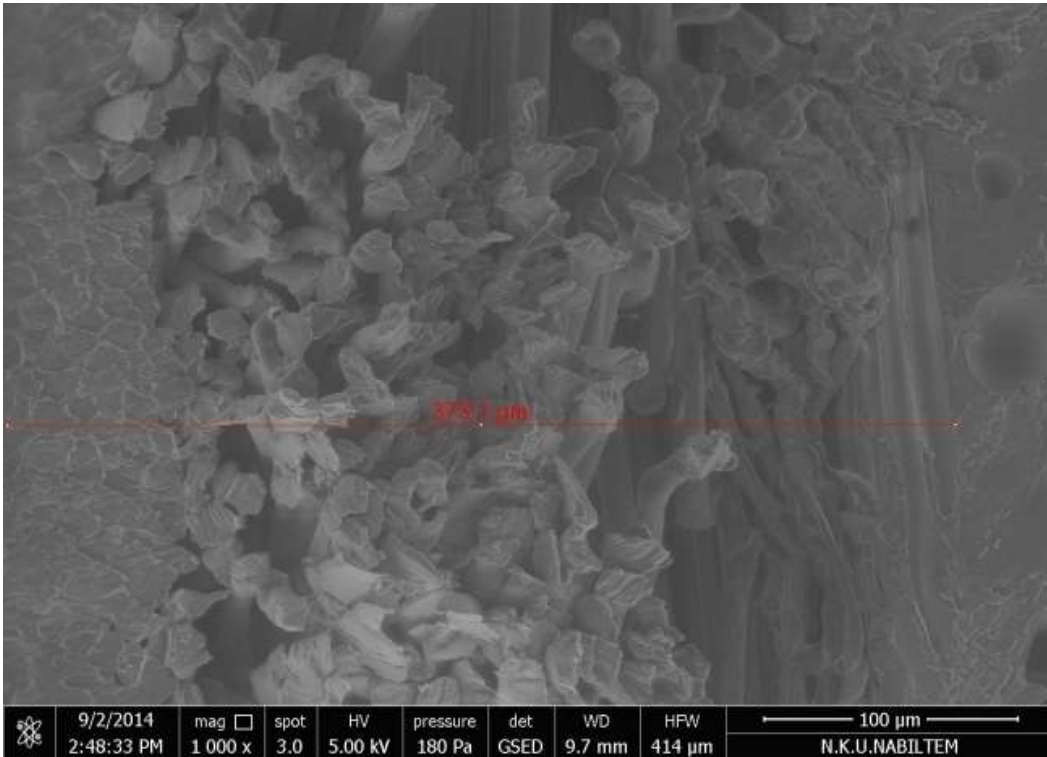
EK-8 280 gr/m² lik CEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d



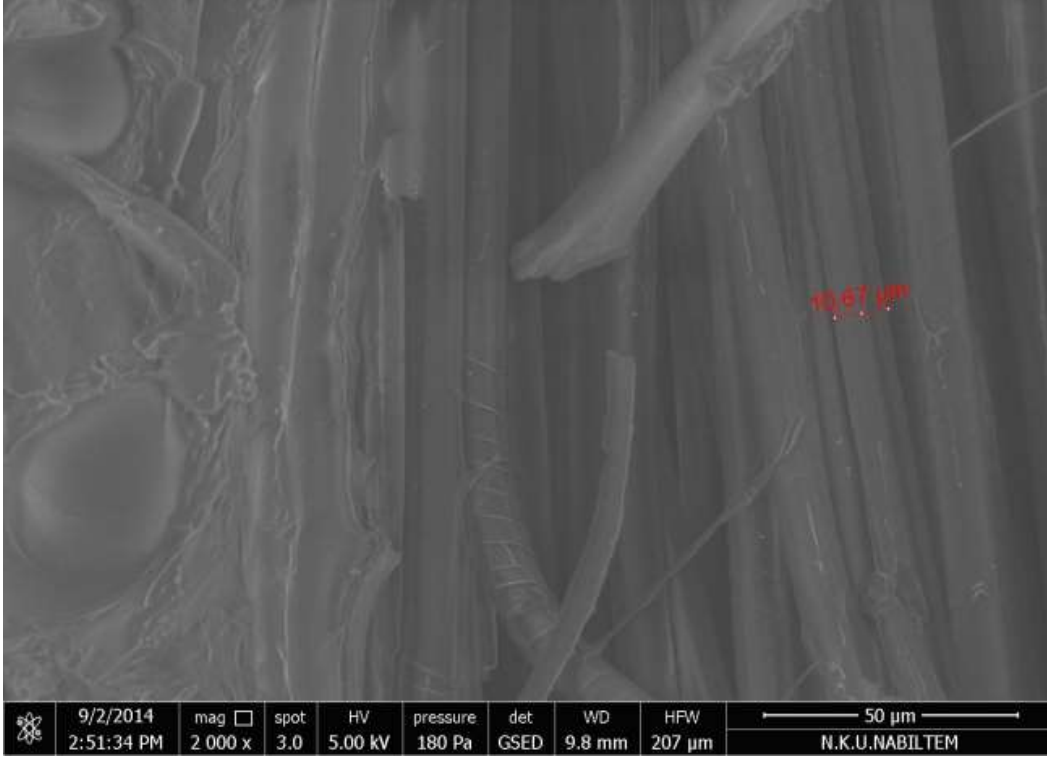
EK-9 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a



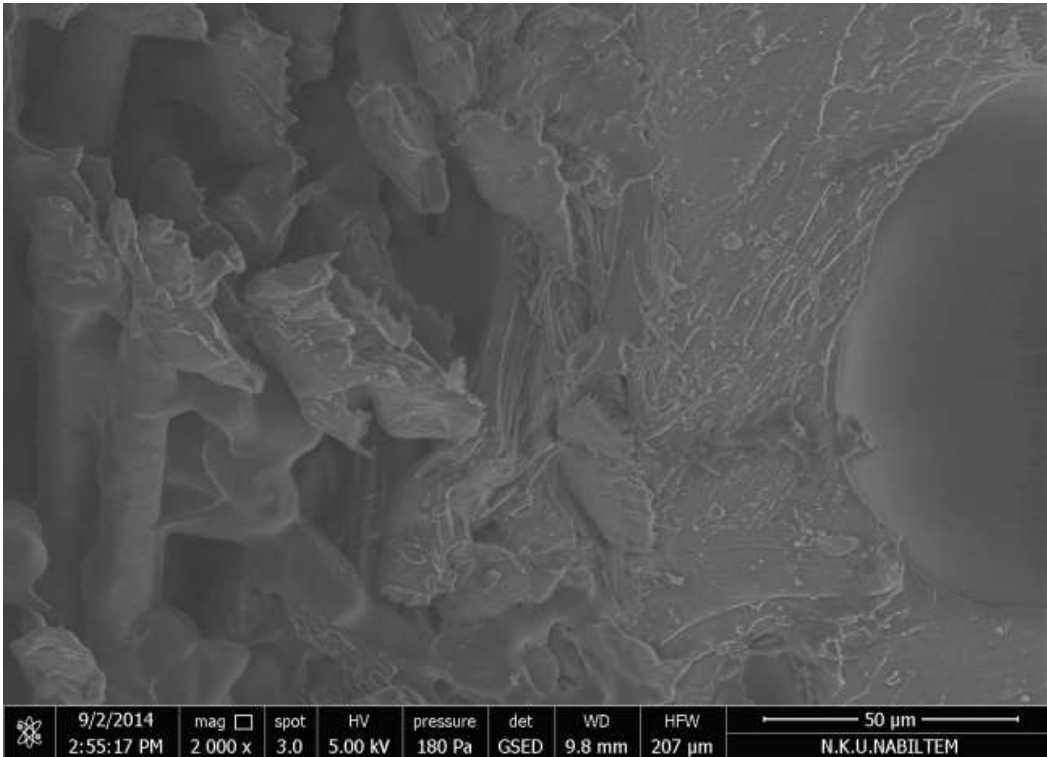
EK-10 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b



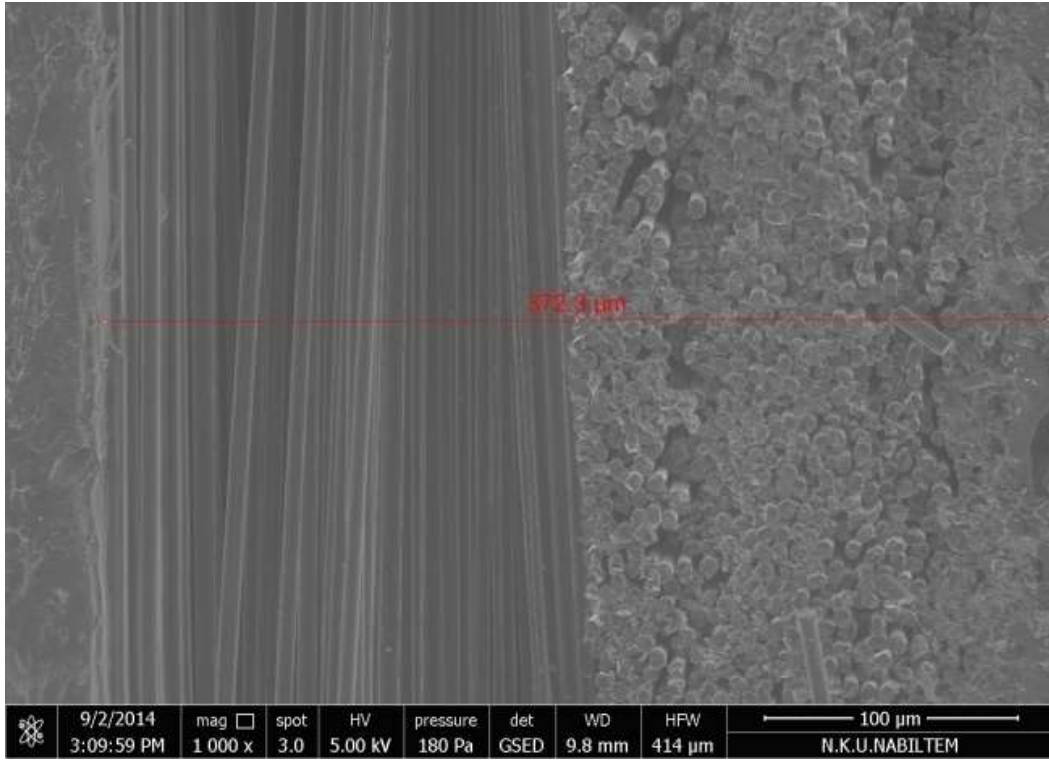
EK-11 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c



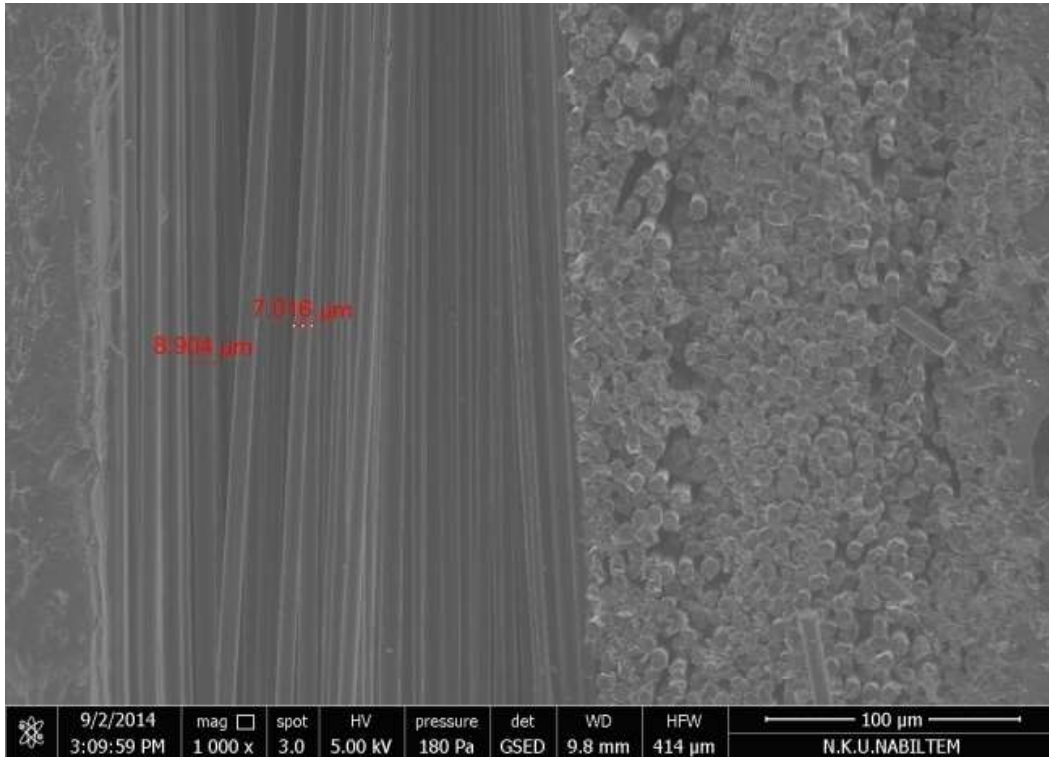
EK-12 AEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d



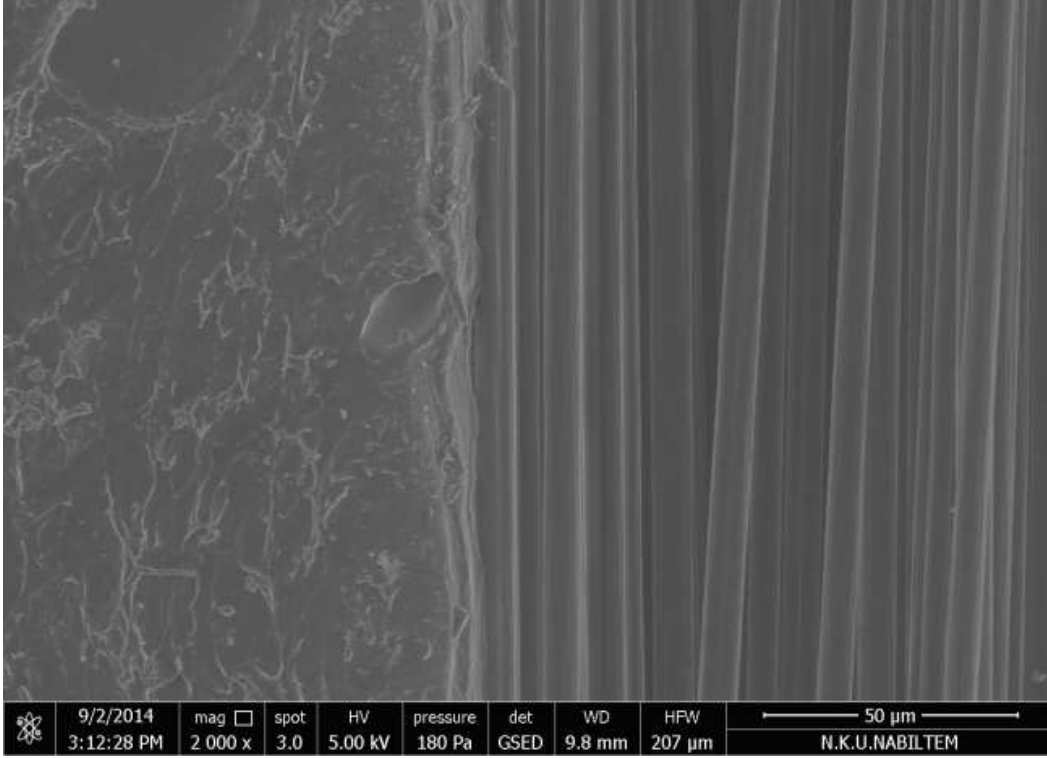
EK-13 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-a



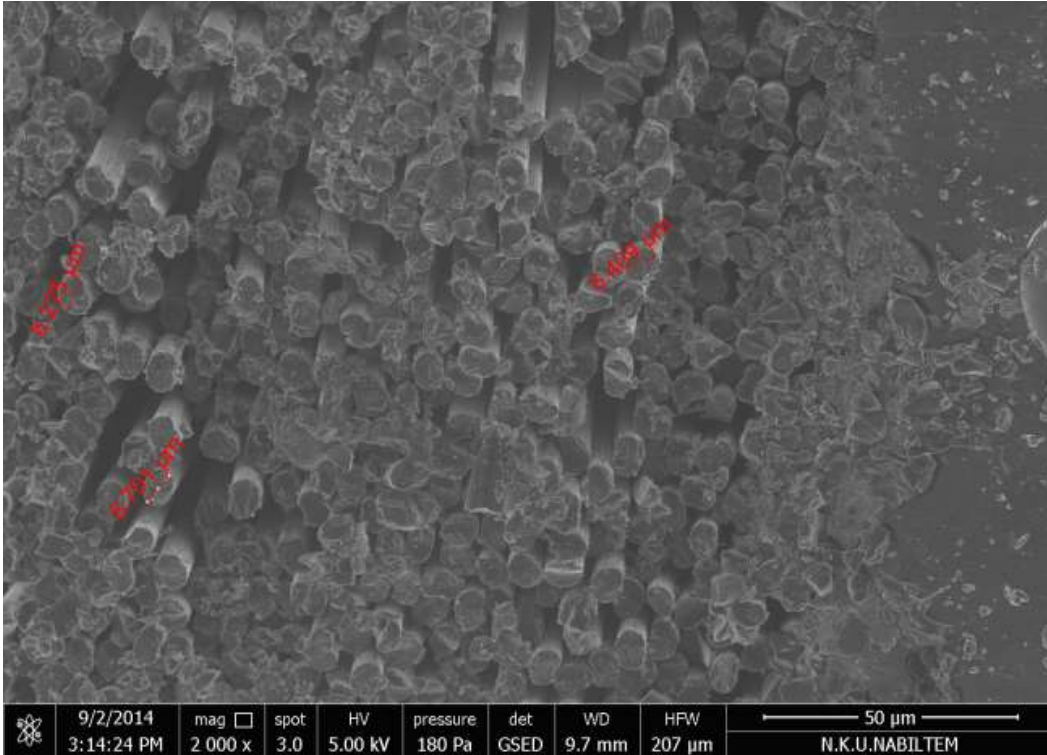
EK-14 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-b



EK-15 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-c



EK-16 KEK' den alınan numunenin elektron mikroskobu görüntüsü-d



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında İstanbul’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Cihangir İlk Öğretim Okulu’ nda ve Avcılar 50. Yıl İnsa Lisesi’ nde tamamladı. 2012 yılında Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2013 yılından beri Namık Kemal Üniversitesi’ nde yüksek lisans yapmaktadır.

2012-2013 yılları arasında Özlider A.Ş. bünyesindeki AR-GE bölümünde çalıştı. 2013 yılından beri Avcılar Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü’ nde Mühendis olarak çalışmaktadır.