

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**KARBON KOMPOZİT MALZEMELERDE ALAŞIM
ELEMENTLERİ İLE ELEKTRİK DİRENCİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
İNCELEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULKERİM KORKUT

DENİZLİ, AĞUSTOS-2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**



**KARBON KOMPOZİT MALZEMELERDE ALAŞIM
ELEMENTLERİ İLE ELEKTRİK DİRENCİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
İNCELEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULKERİM KORKUT

DENİZLİ, AĞUSTOS-2024

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi BAP birimi tarafından
2023FEBE018 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Abdulkerim KORKUT

ÖZET

KARBON KOMPOZİT MALZEMELERDE ALAŞIM ELEENTLERİ İLE ELEKTRİK DİRENCİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULKERİM KORKUT

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SİDEM KANER)

DENİZLİ, AĞUSTOS-2024

Bu çalışma kapsamında, farklı yoğunluk ve örgü tiplerine sahip karbon fiber kompozitlere ikinci takviye olarak gümüş ilave edilerek mekanik özellikleri ve elektriksel direnci incelenmiştir. Örgü türü plain (bezayağı) 2, 4, 6 ve 8 tabaka 200 g/m^2 ve twill (dimi) 2, 4, 6 ve 8 tabaka 245 g/m^2 karbon fiberlere ilave olarak her bir tabaka için epoksi ve ilavesiz, kullanılan epoksiye göre ağırlıkça sırasıyla, %2 ve %4 gümüş konularak vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen kompozitlere yakma deneyi, elektriksel direncini ve mekanik özelliklerini incelemek için sırasıyla ASTM D2584, ASTM D257-14 ve ASTM D790 standartlarına göre yapılmıştır. Deneyler sonucunda ilavesiz ve gümüş takviyeli kompozitlerin yakma deneyi, elektriksel direnç ve çekme deneyinden elde edilen veriler incelenmiştir. Twill tipi dokumadan elde edilen verilerin daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Çekme deneyi sonrası elde edilen kırık yüzeyler gümüş paladyum cihazında kaplandıktan sonra alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile incelenerek elde edilen görüntü ve sayısal veriler hakkında değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Karbon Fiberler, Karbon Kompozitler, Polimer Takviyeli Kompozitler, Elektrik Direnci, Vakum İnfüzyon

ABSTRACT

FOR THE IMPROVEMENT OF ELECTRICAL RESISTANCE WITH ALLOYING ELEMENTS IN CARBON COMPOSITE MATERIALS EXAMINATION

MSC THESIS

ABDULKERİM KORKUT

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. SİDEM KANER)**

DENİZLİ, AUGUST 2024

Within the scope of this study, the mechanical properties and electrical resistance of carbon fiber composites with different densities and mesh types were examined by adding silver as a second reinforcement. Plain weave type 2, 4, 6 and 8 layers 200 g/m² and twill 2, 4, 6 and 8 layers 245 g/m² are produced by vacuum infusion method by placing epoxy and non-added silver for each layer, respectively, by weight according to the epoxy used, in addition to carbon fibers, 2% and 4% silver, respectively. The combustion experiment on the manufactured composites was carried out according to ASTM D2584, ASTM D257-14 and ASTM D790 standards, respectively, to examine their electrical resistance and mechanical properties. As a result of the experiments, the data obtained from the combustion experiment, electrical resistance and tensile experiment of non-added and silver-reinforced composites were examined. It was found that the data obtained from twill type weaving came out higher. After the broken surfaces obtained after the tensile experiment were coated in a silver palladium device, they were examined with a field emission scanning electron microscope (FESEM) and evaluations were made about the image and numerical data obtained.

KEYWORDS: Carbon Fibers, Carbon Composites, Polymer Reinforced Composites, Electrical Resistance, Vacuum Infusion

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İNCELEME.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ABSTRACT	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	2
2. KARBON FİBER MALZEMELER.....	7
3. MATRİS SEÇİMİ VE YAPISI	10
3.1 Termoset Reçineler.....	11
3.1.1 Siyanat Ester (CE) Reçineler	11
3.1.2 Epoksi Reçineler	12
3.1.3 Fenolik Reçineler	13
3.1.4 Polyester Reçineler	13
3.1.5 Poliyamid Reçineler.....	14
3.1.6 Vinil Ester Reçineler.....	15
3.2 Termoplastik Reçineler	15
3.2.1 Aknirolitritil Butadiyen Sitren (ABS) Reçineler	15
3.2.2 Poliyamid Reçineler.....	16
3.2.3 Polikarbonat Reçineler.....	17
3.2.4 Polietereterketon (PEEK) Reçineler	17
3.2.5 Polieterimid Reçineler	18
3.2.6 Polietersülfon Reçineler.....	18
3.2.7 Polietilen Reçineler.....	19
3.2.8 Polifenilen Sülfür Reçineler.....	20
3.2.9 Polipropilen Reçineler	21
4. POLİMER MATRİSLİ METAL DOLGULAR.....	21
4.1 Elektrik İletkenliği.....	22
4.2 Mekanik Özellikler.....	26
4.3 Termal İletkenlik	27
5. KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ	31
5.1 Açık Kalıplama Yöntemler	31
5.1.1 Islak Yatırma Yöntemi.....	33
5.1.2 Elle Yatırma Yöntemi	33
5.1.3 Sprey Püskürtme Yöntemi	34
5.1.4 Bant Yatırma/Tape Layup Yöntemi	35
5.1.5 İplik Sarma Yöntemi.....	36
5.1.6 Otoklav Kütleme Yöntemi.....	37
5.2 Kapalı Kalıplama Yöntemler.....	37

5.2.1	Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi.....	38
5.2.2	Vakum Destek Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	39
5.2.3	Profil Çekme Yöntemi	41
5.2.4	Termoform Şekillendirme Yöntemi.....	42
5.2.5	Basınç Kalıp Yöntemi.....	42
5.2.6	Enjeksiyon Kalıp Yöntemi.....	43
5.2.7	Tepkimeli Enjeksiyon Kalıp Yöntemi (RIM).....	44
5.2.8	Vakum İnfüzyon Yöntemi	45
6.	MATERYAL VE METOT	47
6.1	Karbon Kompozitler İçin Gerekli Olan Malzemeler.....	47
6.1.1	Karbon Fiber Kumaşların Özellikleri	47
6.1.2	Jelkot ve Hızlandırıcının Özellikleri.....	47
6.1.3	Yüzey İşlemleri İçin Gerekli Olan Ekipmanlar	48
6.1.4	Vakum İnfüzyon Malzemeleri	48
6.1.5	Görüntü Boyutu ve Tozun Şekli	48
6.2	Karbon Kompozitlerin Üretim Süreci	49
6.3	Deneylerde İstifade Edilen Ölçüm Araçları	56
6.3.1	Nevola.....	56
6.3.2	Nikon ECLIPSE LV150NL.....	56
6.3.3	Zeiss Supra 40VP.....	57
6.3.4	Hardway WDW-100.....	58
6.3.5	GDM-8245 Çift Ekranlı Dijital Multimetre.....	59
6.3.6	Yarı Otomatik Mermer Kesim Makinesi	60
6.3.6	Gümüş Paladyum Kaplama Cihazı	61
6.4	Yakma Deneyi	62
6.5	Elektriksel Direnç Deneyi	64
6.6	Çekme Deneyi	65
7.	BULGULAR	67
7.1	Çekme Deneyi Sonuçları.....	67
7.2	Elektriksel Direnç Deney Sonuçları	74
7.3	FESEM Görüntü Analizleri ve EDS İç Yapı Analizleri.....	79
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	84
9.	KAYNAKLAR.....	86
10.	ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2: Grafitin kristal yapısı	7
Şekil 2.1: Çift birleşenli fiberlerin karbonizasyon işlemi	8
Şekil 2.2 : Dairesel mikroyapılı fiberler	9
Şekil 2.3: Petrol türevi ya da hayvan veya bitkilerden elde edilen karbon fiberlerin mikro yapısı a) Düz tabakalı, b) Radyal kıvrılmış, c) Çizgisel merkezli, d) Radyal, e) Soğanımsı yapı, f) Düzensiz yapılı, g) Yarı soğanımsı yapılı	9
Şekil 2.4: Saten ve düz örgülü yapısı a) 3 atlamalı 5'li atkı saten b) Düz dokumalı karbon fiber	10
Şekil 3.1: Siyanat monomerlerin yapısı	12
Şekil 3.2: Epoksi reçinlerin monomer yapısı	12
Şekil 3.3: Fenolik reçinelerin kimyasal yapıları a) resol b) novolak	13
Şekil 3.1.4: Polyester reçinenin sentezlenmesinin şematik gösterimi	14
Şekil 3.1.5: Poliimidin kimyasal yapısı	14
Şekil 3.1.6: Bizfenol vinil esterin kimyasal yapısı	15
Şekil 3.2.1: Aknirolitril butadiyen sitrenin kimyasal yapısı	16
Şekil 3.2.2: Naylon 66'nın kimyasal yapısı	16
Şekil 3.2.3: Polikarbonatın sentez şeması	17
Şekil 3.2.4: Politetereterketonun kimyasal yapısı	17
Şekil 3.2.5: Poleterimidin kimyasal yapısı	18
Şekil 3.2.6: Polietersülfon kimyasal yapısı	19
Şekil 3.2.7: Polietilenin kimyasal yapısı	19
Şekil 3.2.8: Polifenilenin sentez şeması	20
Şekil 3.2.9: Polipropilenin kimyasal yapısı	21
Şekil 4.1: Metal partikül ilaveli polimer kompozitin termal ve elektrik iletkenliğinin logaritmik gösterimi	23
Şekil 4.1: Polipropilen/bakır(Cu) kompozitin elektrik iletkenliğine karşı dolgu içeriği (120 0C'de ölçülen Cu(a) ve Cu(b) sırasıyla ortalama toz boyutları 30 ve 280 mm dir	25
Şekil 4.2: Hacimce çinko içeriğine bağlı olarak yüksek yoğunluklu polietilen/çinko kompozitin mühendislik gerilim-gerinim eğrileri	27
Şekil 4.3: Poliyamit/Bakır (Cu) kompozitlerin dolgu içeriğine bağlı olarak termal iletkenliği, ortalama bakır (Cu) boyutları şekli sırasıyla 45,50 ve 600 mm küresel, tabaka ve fiber şeklinde	28
Şekil 5.1.2: Elle yatırma işlemi	34
Şekil 5.1.3: Sprey yatırma işlemi	35
Şekil 5.1.5: İplik sarım işlemi	36
Şekil 5.1.6: Otoklav görüntüleri	37
Şekil 5.2.1: Reçine transfer kalıp işlemi	39
Şekil 5.2.2: Vakum destekli reçine transfer işlemi	40
Şekil 5.2.3: Profil çekme işlemi	41
Şekil 5.2.4: Termoform plama yöntemi	42
Şekil 5.2.5: Basınç kalıp yöntemi	43
Şekil 5.2.6: Enjeksiyon kalıp işleminin şeması	43
Şekil 5.2.7: Tepkimeli enjeksiyon kalıp işlemi	45

Şekil 5.2.8: Vakum infüzyon yöntemi	46
Şekil 6.1.5: Silindirik yapılı gümüşün görüntü boyutu	49
Şekil 6.2: Polivaksin N'nin uygulanması	49
Şekil 6.3: Polivaks sıvının cam'a uygulanması.....	50
Şekil 6.4: Karbon fiberlerin serimi	50
Şekil 6.5: Peel ply serimi	51
Şekil 6.6: Delikli naylon	51
Şekil 6.7: Akış filesi	52
Şekil 6.8: Sprial boru, bağlantı elemanları ve vakum macunu	52
Şekil 6.9: Vakum infüzyon sistemi.....	53
Şekil 6.10: İlavesiz epoksinin hazırlanması.....	53
Şekil 6.11: Karbon fiberlerin epoksi ile kaplanması	55
Şekil 6.12: Yarı otomatik mermer makinesi ile kesilen örnekler	55
Şekil 6.3.1: Nevola ısıtma işlemi fırını	56
Şekil 6.3.2: Optik mikroskop.....	57
Şekil 6.3.3: Zeiss Supra 40VP alan emisyon mikroskobu.....	58
Şekil 6.3.4 : Hardway WDW-100 test cihazı	59
Şekil 6.3.5: Multimetre	60
Şekil 6.3.6: Mermer kesim cihazı	61
Şekil 6.3.6: Gümüş paladyum kaplama cihazı.....	62
Şekil 6.4: Twill dört katlı yakma testi örneği	63
Şekil 6.5: Yakma işlemi sonrası twill dört katlı yakma testi örneği.....	63
Şekil 6.5: a)multimetre b)multimetre probu	65
Şekil 6.6: Protocolle flexible	65
Şekil 6.7: Numunelerin mengenelemlere bağlanması	66
Şekil 6.8: Çekme testi numunesi	66
Şekil 6.9: Kaplanmış örnekler	67
Şekil 7.2: Twill kopma dayanım grafiği.....	69
Şekil 7.4: Plain kopma dayanım grafiği	71
Şekil 7.5: Kırılma türleri a) üst çeneden b)alt çeneden	73
Şekil 7.3: Twill kompozitlerin elektriksel direnç grafiği.....	75
Şekil 7.4: Plain kompozitlerin elektriksel direnç grafiği.....	76
Şekil 7.3: 8 tabakalı ilavesiz a)100 kat, b)250 kat c) 500 kat.....	80
Şekil 7.4: 8 tabakalı %4 gümüş ilaveli a)100 kat, b)250 kat c) 500 kat	80
Şekil 7.5: Twill 8 tabakalı ilavesiz a)100 kat, b)250 kat c) 500 kat	81
Şekil 7.6: 8 tabakalı %4 gümüş ilaveli a)100 kat, b)250 kat c) 500 kat	81
Şekil 7.7: 8 tabaka plain EDS görüntüsü	82
Şekil 7.8: 8 tabaka plain yüzdelik değerleri.....	82
Şekil 7.9: 8 tabaka plain %4 gümüş ilaveli EDS görüntüsü.....	83
Şekil 7.10: 8 tabaka plain %4 gümüş ilaveli kompozitin yüzdelik değerleri ...	83

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Metal dolgulu polimerlerin elektrik iletkenliği.....	24
Tablo 4.3: Metal parçacık dolgulu termoplastiklerin elektrik iletkenliği.....	28
Tablo 4.4: Metal dolgulu termosetlerin termal iletkenlikleri	30
Tablo 6.1.1: Toray T300 karbon filamentlerin mekanik özellikleri.....	47
Tablo 6.1.2: ARC 150-N epoksinin kimyasal özellikleri.....	48
Şekil 6.1.3: Tabaka sayısına göre epoksinin ve %2 gümüş elementlerinin hazırlanması	54
Şekil 6.1.4: Tabaka sayısına göre epoksinin ve %4 gümüş elementlerinin hazırlanması	54
Tablo 6.4: İlavesiz numunelerin yakma kaybı	64
Tablo 7.1: Twill karbon kompozitlerin çekme değerleri ve kırılma türleri	68
Tablo 7.3: Plain karbon kompozitlerin çekme değerleri ve kırılma türleri.....	70
Tablo 7.2: Twill türü kompozitlerin elektriksel direnç değerleri	74
Tablo7.4: Plain türü kompozitlerin elektriksel direnç değerleri	75

SEMBOL LİSTESİ

$\sigma_{\text{eff}} \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$:	Elektrik iletkenliği
HDPE	:	Yüksek yoğunluklu polietilen
i-PP	:	İzostatik propilen
LDPE	:	Düşük yoğunluklu polietilen
LLDPE	:	Lineer düşük yoğunluklu polietilen
PA	:	Poliyamid
PE	:	Polietilen
PP	:	Polipropilen
EVA	:	Etilen vinil asetat
PVC	:	Poli vinil klorür
PBT	:	Polibütillen tereftalat
ER	:	Epoksi reçine
SS	:	Pazlanmaz çelik
CI	:	Dökme demir
T4-2	:	4 tabakalı twill %2 gümüş ilaveli
P6-2	:	6 tabakalı plain %2 gümüş ilaveli
T6-2	:	6 tabakalı twill %2 gümüş ilaveli
P8-2	:	8 tabakalı plain %2 gümüş ilaveli
T8-2	:	8 tabakalı twill %2 gümüş ilaveli
P4-2	:	4 tabakalı plain %2 gümüş ilaveli
T4-4	:	4 tabakalı twill %4 gümüş ilaveli
T6-4	:	6 tabakalı twill %4 gümüş ilaveli
T8-4	:	8 tabakalı twill %4 gümüş ilaveli
P4-4	:	4 tabakalı plain %4 gümüş ilaveli
P6-4	:	6 tabakalı plain %4 gümüş ilaveli

P8-4	:	8 tabakalı plain %4 gümüş ilaveli
P2	:	2 tabakalı plain
P4	:	4 tabakalı plain
P6	:	6 tabakalı plain
P8	:	8 tabakalı plain
T2	:	2 tabakalı twill
T4	:	4 tabakalı twill
T6	:	6 tabakalı twill
T8	:	8 tabakalı twill

ÖNSÖZ

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sidem KANER'e, Pamukkale Üniversitesindeki üç yıllık çalışmalarım boyunca bana verdiği tüm yardım ve rehberlik için teşekkür ederim.

Araştırmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım ve yardımlarını, desteğini her zaman esirgemeyen Doç.Dr. Sinan AKSÖZ'e teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmalar sırasında cihaz kullanımında ve ihtiyaç duyduğumda bana yardımcı oldukları için Doç.Dr. Yavuz KAPLAN, Rıdvan ASLAN, Nurcihan KISAOĞLU, Ahmet Semih KIŞLA ve Hasan DURAN'a teşekkür ederim.

Lisans dönemi boyunca bana yardımcı olan ve hayatımda önemli rolü olan Prof. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLAN'ya teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, her konuda destek veren ve maddi-manevi gücüm ve ebedi destekçim olan annem ve babama teşekkür ederim. Ablam ve abime teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Elektriksel direnç, termal iletkenlik ve mekanik gibi özelliklere sahip karbon-karbon kompozitler, günümüzde havacılıktan spor alanlarına kadar bir çok endüstri kuruluşlarında kullanılmaktadır. (Davies & Rawlings, 1999; Fitzer & Manocha, 1998). Karbon kompozit, hem dayanım hem hafiflik açısından spesifik değerlere sahip olmasının yanında kolay şekillendirilebilmesi, korozyon direnci, rijit davranış sergileyebilmesi açısından da önemli bir endüstriyel malzeme haline gelmiştir.

Karbon fiber takviye elemanı olarak geleneksel grafitlerin termal şok direnci, sertlik, mukavemet özelliklerinden dolayı daha üstün oldukları için karbon kompozitler yapısal karbonun en gelişmiş şeklidir. Üstelik termal genleşme katsayısı (CTE) sifıra yakındır. Yüksek termal iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısı (CTE) yüksek termal şok direnci sağlar. Karbon kompozitlerin, karbonun düşük yoğunluğu, özgül mukavemet(mukavemet/yoğunluk), özgül modül (termal iletkenlik/yoğunluk) ve özgül termal iletkenlik (termal iletkenlik/yoğunluk) ile birlikte önde gelen kompozitler arasındadır. Ayrıca karbon karbon kompozitlerin biyo bozunabilir ve kimyasal olarak dirençli olmasından dolayı biyomedikal ve korozyon olma ihtimali yüksek yerlerde kullanılmaktadır (D. D. Chung & Chung, 2012; D. D. L. Chung, 2017).

Karbon kompozitler için kullanılan karbon fiberler sürekli, süreksiz veya partikül şeklinde kullanılabilir. Hem iki boyutlu (2D) hem de daha yüksek dizilimler şeklinde kullanılabilir. Ancak üç boyutlu (3D) dokumalar ya da fiber dizilimler iç tabaka kayma mukavemetinin (ILSS) geliştirilmesinde büyük bir avantaj sağlar.

Karbonizasyon gazı, reçine ve ziftten, karbon kompozit imalatı yapılır. Karbonizasyon/grafikleşme sıcaklığına bağlı olarak olarak, elde edilen karbon matriksin yapısı amorf tan grafikleşmeye doğru değişebilir. Karbon matriksin grafikleşme derecesi yükseldikçe, oksidasyon direnci ve termal iletkenlik değerleri de yükselir. Ancak malzeme gevrekleşir. Kullanılan karbon fiberlerin grafit derecesi arttıkça, genelde karbon matriks kompozitlerin oksidasyon direncini sınırlanır (D. D. L. Chung, 2017).

Karbon kompozit üretiminde bir karbon fiber ile karışımın infiltrasyonu oluşturması için reçineye katkı maddeleri ilave edilebilir ve sonrasında reçineden karbona prolize ile dönüşüm sağlanabilir. Karışım etkili bir infiltrasyon işlemi için reçine yeterli derecede akışkan olmalıdır. Daha yüksek katkı maddesi sonucunda daha az akışkanlık elde edilecektir. Başka bir yöntem ise katkı maddelerin karbon fiberlerin yüzeyi üzerine reçinelere ile birlikte uygulanıp polimer-matriksli kompozit elde ederek karbon kompozit dönüşümü sağlamaktır (Ko vd., 2006).

Günümüzde sentetik ve doğal fiber yapılar için mekanik ve elektriksel özelliklerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Farklı alaşım elementlerinin kullanılması ile elde edilecek karbon kompozit malzemelerin elektrik dirençlerinin değişimi üzerine çalışılması hedeflenmiştir. Birçok karbon kompozit malzeme oluşumu sürecinde mekanik ağırlıklı değerlerin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların yanında özellikle uzay ve uçak sanayinde elektriksel iletkenlik açısından avantaj sunabilmesi için karbon içerikli malzemelerde oluşturulabilecek farklı alaşımların yapısal incelenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda üretilen numunelerin SEM ve EDS yöntemleri ile morfolojilerine bakılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Li ve diğerlerinin (2022) şehir içi raylı sistemlerin pantografik kaymak blokları üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, farklı bakır fiber içeriklerine sahip iğnemsî/karbon (CF-NC/C) kompozitler başarıyla geliştirilmiştir. Ayrı ayrı, %0, %4, %8, %12 ve %16 bakır fiber içeren iğne-kökü numunelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunlar arasından NC/C-8 kompozitlerin sırasıyla yoğunluk, direnç ve mukavemet etkisi 1.68829 g/cm^3 , $40.63 \text{ } \mu\Omega \cdot \text{m}$ ve 0.13 j/cm^2 NC/C-8 e %5 bakır ilavesi ile CF-NC/C-5 aşınma ve sürtünme özelliklerini geliştirmiştir. Sonuç olarak CF-NC/C kompozitin mükemmel özellikli ideal bir kaygan düzlemsel malzeme olduğu kanıtlanmıştır.

Wang ve diğerleri (2019) nin yapmış oldukları çalışmada, sırasıyla hacimsel olarak %0, %0.1, %0.25, %0.5, %0.75, %1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) takviyeli bakır köpük/reçine kompozitlerinin iletkenlik, mekanik ve aşınma

özellikleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Sonuçlara göre çok katmanlı karbon nano tüplerin yüksek özgül yüzey alanı yüzünden kompozitlerin elektrik iletkenliği yani direnci en düşük kompozit hacimsel olarak %1 olmuştur. MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüplerin) sayesinde reçine matris deki çatlak gelişimini engellemiştir. MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüplerin) yalnızca elektrik iletkenliği ve mekanik özellikleri değil aynı zamanda akım taşıma sürtünme testleri esnasında tribolojik davranışları da gelişmiştir.

Ravindran ve diğerleri (2023) nin yapmış oldukları çalışmada, değişik yüzde ağırlıklı nano silika ve fenol formaldehit kompozit ile kaplanmış 5 (PF-F, 1 NS, 2 NS, 3 NS, 4 NS) farklı keten kumaş üretilmiştir. Sonuçlara göre nano silika kırınım piki $2\theta:220$ olarak tespit edilmiştir. TGA termogravimetrik analiz ile ileri seviyede termal kararlı olduğu anlaşılmıştır. Mekanik özelliklerde nano silikanın ilavesi ile çekme mukavemeti, modülleri, tokluk ve nihai gerilme gelişmiştir. PF hibrit kompozitlerdeki dielektrik katayısı nano silikanın ilavesi polarizasyonu kolaylaştırmıştır. Yüksek frekanslarda elektronik polarizasyon AC alternatif akım iletkenliğinde bir artış görülmüştür. 2 NS nin içerisinde bulunan nano silika homojen şekilde dağılmış olduğu için çekme mukavemeti 1 NS(61.26 MPa) göre %61 bir artış görülmüştür.

Alderete ve diğerleri (2023) nin yapmış olduğu çalışma kapsamında; toz metalurjisi ve sıcak eksensiz presleme yolu ile sinterlenmiş, carbon nanotüp takviyeli sırasıyla hacimsel olarak %0.5, %0.75 ve %1 gümüş ve bakır metal matrisli kompozitler hazırlanmıştır. Yapılan ışık, elektron mikroskobu, derinliğe bağlı elektriksel karakterizasyon, yüke bağlı ECR (elektriksel temas direnci) ve yüze yorulma testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre; Bakır tozların gümüşe göre karbon nanotüp üzerinde daha iyi birikmiştir. Gümüş pullu ile oluşturulan ham peletler bol miktarda iç gözenekler gözlenmiştir. Elektrot malzemesi olarak kullanılan karşı malzemeye göre oldukça yumuşak olduğu, referans malzeme göre tüm üretilen kompozitlerin üstün performans sergilediği tespit edilmiştir.

Bortolussi ve diğerleri (2020) nin yapmış olduğu çalışma kapsamında; Soğuk sprey yöntemi ile karbon fiber takviyeli poliakril eter eter keten ve üç farklı alüminyum sırasıyla; küresel oksitli, küresel oksitsiz ve düzensiz olarak altlığa

uygulanmıştır. Sonuç olarak; oksitsiz alüminyum diğerlerine göre daha iyi bir elektrik iletkenliği yani daha düşük bir elektrik direnci olduğu bulunmuş ve netice itibari kaplamaların elektriği iletici tespit edilmiştir.

Wang ve diğerlerinin (2020) yayınlamış olduğu çalışmada; (Ag/CCF) gümüş kaplı karbon kırpıntı ve (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojenel bisonel A epoksi incelenmiştir. Dolgu içeriği %7.2 ye ulaştığında (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojenel bisonel A epoksi kompozitin hacimsel direnci $1.69 \times 10^{16} \Omega$ dan $9.51 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ ye düşmüş ve aynı miktarlarda (Ag/CCF) gümüş kaplı karbon kırpıntının hacimsel direnci (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojenel bisonel A epoksi göre daha da az olduğu bulunmuştur.

Kosedag ve diğerlerinin (2023) yayınlamış olduğu makalede; vakum infüzyon tekniği ile 8 ve 4 tabakadan oluşan 0^0 ve 90^0 tek yönlü fiber oryantasyonlu takviye elemanı ile sırasıyla %0, %0.5, %1, ve %2 ağırlık oranlı Gr ve SiC ilaveli ve ilavesiz kompozitler üretilmiştir. ASTM'ye bağlı çekme, basma ve üç nokta eğme sonuçlarına göre; 2009 Mpa çekme dayanımı 0^0 oryantasyon fiber takviyeli %2 Gr(grafen) ilaveli, 538.30 Mpa basma dayanımı 0^0 oryantasyon fiber takviyeli %0.5 SiC ilaveli, 0.848 Mpa çekme dayanımı ilavesizde yüksek olduğu bulunmuştur.

Muralidhara ve Suresha (2020) yapmış oldukları çalışmada; vakum infüzyon ve elle yatırma yöntemi ile 2 tabakadan oluşan T800 dimi çift yönlü karbon fiber takviyeli hacimsel olarak %1, %3 ve %5 B₄C (borkarbür) ilaveli ve ilavesiz kompozitler hazırlanmış ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. 700 Mpa çekme dayanımı, 700 Mpa eğme dayanımı, 36 Mpa iç tabaka, diğerlerinden daha yüksek sertlik değeri ile hacimsel olarak %1 B₄C (borkarbür) olur iken darbe dayanımı 2400 J/m olarak ilavesiz olarak bulunmuştur.

Sehar ve diğerlerinin (2022) ayak protezi üzerine yapmış oldukları çalışmada; elle yatırma yöntemi 2, 4, 6, 10 tabakadan oluşan karbon kompozitler üretilmiştir. ASTM'ye bağlı 2 ve 5 mm/dk farklı çekme yüklerinin en iyi sonuçlar; 5 mm/dk ile 2, 6, 10 tabakalı sırasıyla 254.51, 341.54, 576.07 (N/mm²) olarak tespit edilmiştir.

Dai ve diğçerlerinin (2022) yüksek mukavemetli karbon fiber takviyeli sandiviç pantoğraf Şeritler, yüksek hızlı demir yolu sistemlerinde çalışmada; elektrik iletkenliği ve mekanik mukaveti iyi olan CFRCS/Cu/CF/penolitik reĥine) kompozit ¼retilmiřtir ve ayrıca saf karbon Şeritle temas Şeritlerin(PCCS) ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre; CFRCS kompozitlerin saf karbon Şeritle temas Şeritlerin PCCS kompozitlere göre daha iyi mekanik özellik sergilediği gözlenmiştir. (CFRCS/Cu/CF/penolitik reĥine) kompozitlerin darbe mukavemeti karbon Şeritle temas Şeritlerin(PCCS) kompozitlere göre çok daha yüksek ve elektrik iletkenliği daha dř¼k bulunmuştur.

Feng ve diğçerlerinin (2007) karbon nanot¼blerin –g¼m¼ř-grafittin aşınma ve s¼rt¼nme özellikleri basınç ¼zerine yapmış olduğu çalışmada; Mekanik zelliklerin aşınma basıncı ile artmıştır. Fakat kompozitlerin elektrik direnci basıncının artması ile ilk önce azalmış daha sonra yeniden armıştır.

Sha ve diğçerlerinin (2023) yapmış olduğu çalışmada; plazma buhar biriktirme yöntemi ile takviye elemanı karbon fiber, düşey(dik) grafen ile sarılmıştır. Matriks (epoksi) iĥerisine nano teller ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bir fırça ile matris, takviye elemanına yedirilmiştir. Islak yatırma metodu uygulanmış ve ardın sıcak pressleme yapılmıştır. Ayrıca karışlaştırmak iĥin ilavesiz kompozitler ¼retilmiřtir. İlavessizlere göre dikey yönde ve iĥ d¼zlemde elektrik iletkenliği sırasıyla %38 katın ¼zerinde ve yaklaşık %39 geliştiği bulunmuştur. Ancak çekme mukavetinde herhangi bir gelişme gr¼lmemiř isede eğmede mukavemeti ve dayanımı sırasıyla yaklaşık %13.1 ve %11.6 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; karbon fiber kompozitlerin hibrit iletken nano ilavelerin kullanımının faydalı olduğu bulunmuştur.

Magdee ve diğçerlerinin (2019) yapmış olduğu çalışmada; elektro sarım tekniği kullanılarak, aktif karbon takviyeli, (PAN) poliyaknitriil ve g¼m¼ř takviyeli kompozit ¼retilmiřtir. G¼m¼ř¼n haĥimce oranı %8 seĥilmiřtir. Aktif karbonun hacimce oranı sırasıyla; %0, %1, %2, %3, %4, %5 olarak belirleniştir. Aktif karbonun %5 ¼ıkması ile vizkozite hızlı Şekilde 36 Pa.s döřm¼řt¼r. Ayrıca sarım sol¼syonun iletkenliği 540'den 139 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e kadar dř¼m¼řt¼r.

Audoit ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu çalışmada; karbon fiber takviyeli ve matris olarak poliakril eter keton kullanılmıştır. Gümüş nano ilavesi hacimce %0.5 ve %4 aralığında kullanılmıştır. Düşük gümüş içeriği elektrik iletkenliği artırırken %3 ve %4 aralığında iletkenliği etkisi olmamıştır.

Literatürde, kompozit malzemelere ilave edilen alaşım elementleri ilave edildiği zaman, ilave oranları ya da parçacık boyutlarının malzemenin elektriksel ve mekaniksel özelliklerine etkilerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır. İlavelerin takviyesi ile matrisin elektriksel ve mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Ayrıca buna bağlı olarak kullanılacak karbon fiberlerin özellikleri belirlenmiştir;

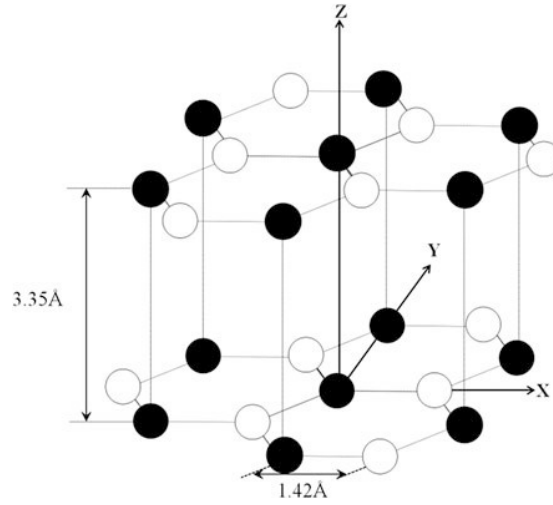
3K karbondaki ipliklerde 3 bin lif vardır. "K" harfi, "density" yani yoğunluk kelimesinden gelmektedir ve birçok teknik alanlarda kullanılan bir terimdir. Daha fazla sayıda karbon lifine sahip olan bir iplik, daha yüksek yoğunluğa sahiptir ve daha güçlü bir yapıya sahip olma eğilimindedir (D. D. L. Chung, 2017).

Karbon liflerinin bir ters bir düz şekilde örülmesine plain (düz) ya da bez ayağı dokuma denir. Plain dokuma simetrik, uygun gözeneklilik ve iyi bir kararlılığa sahiptir. Bununla birlikte örülmesi en zor olan dokuma türüdür ve yüksek lif kıvrımları yüzünden diğerlerine göre mekanik özellikleri zayıftır.

Bir ya da daha fazla çözümlü karbon liflerinin, iki ya da daha fazla atkı karbon liflerinin tekrarlı bir şekilde altına ve üzerine düzenli ve tekrarlı şekilde örülmesine twill (dimi) denir. Bu kumaşta düz ya da kırık çapraz bir şerit görüntüsü oluşur. twill (dimi) dokuma, plain (düz) dokumaya göre daha üstün ıslatabilirlik, örülmesi plain (düz) göre kolaydır, kararlılık da biraz azalma görülür. Az lif kıvrımları ile dokuma daha pürüzsüz bir yüzeye sahip ve plain göre biraz daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir (R.-M. Wang vd., 2011).

2. KARBON FİBER MALZEMELER

Karbon fiberler, en az ağırlıkça %92 karbon içerikli fiberler olarak tanımlanırlar. Ayrıca karbon fiberler, çok kristalli ve genelde grafikleşmemiş durumdadırlar. Düzlemsel hegzagonal ağlar içerisinde karbon atomların iki boyutlu uzun-aralıklı dizilimlere sahiptirler. Ancak az ya da çok paralel bir biçimde istiflenmenin dışında z yönünde herhangi bir kristalografik düzene bakılmaksızın dizilebilirler (S.-J. Park, 2015). Şekil 2’de grafitin kristal yapısı gösterilmiştir.



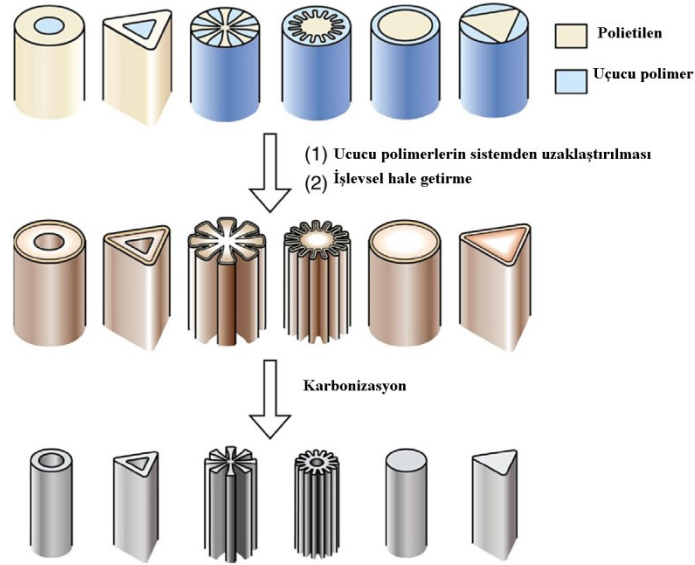
Şekil 2: Grafitin kristal yapısı (S.-J. Park, 2015)

Karbon fiberler, 207 Gpa dan (düşük modüllü) 1035 Gpa a kadar (yüksek modüllü) değişen çekme modül değerlilikli ticari olarak temin edilebilmektedirler. Genelde düşük modüllü fiberler, yüksek modüllü fiberlere göre düşük yoğunluk, uygun maliyetli, yüksek çekme ve basma mukavemeti sahiptirler (Mallick, 2007).

Karbon fiberlerin seçimi ve özellikleri, karbon kompozitlerin niteliğini etkilemede önemli rol oynar. Eğme modülleri özellikle fiberin türüne bağlıdır (Michalowski vd., 2011).

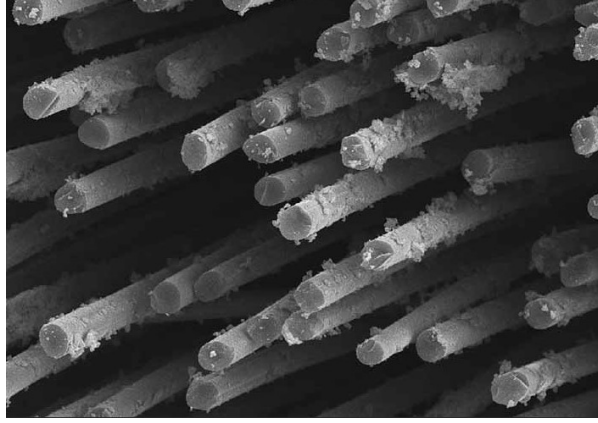
%99’den fazla karbon içerikli grafikleştirilmiş fiberlerin kullanımı tercih edilir. Çünkü, karbon kompozitleri oluşturabilmek için yüksek sıcaklık işlemi sonrasında termal kararlılık, çarpık kısımları azaltır. Bununla birlikte grafikleştirilmemiş karbon fiberler grafikleşmiş fiberlere göre daha az yoğunluğa sahiptirler. Yani polimer reçineli fiberlerin yapıştırıcılığı, grafikleşmiş fiberlere göre daha zayıftır. Karbonizasyon işlemi, matris fiberler tarafından kolaylıkla

emdirilebilir ve sonraki emdirme işlemine kadar boşluklar kalır. Buna karşın karbonize edilmiş fiberlerin yüzeyindeki kutuplaşmış gruplar fenolik reçine ile güçlü bir bağ kurar, bu yüzden de kömürleşmiş matrisin daralmasını engeller ve karbon matriste küçük mikro çatlakların oluşmasını sebep olur (Fitzer vd., 1998). Şekil 2.1’de karbonizasyon işlemi gösterilmiştir.



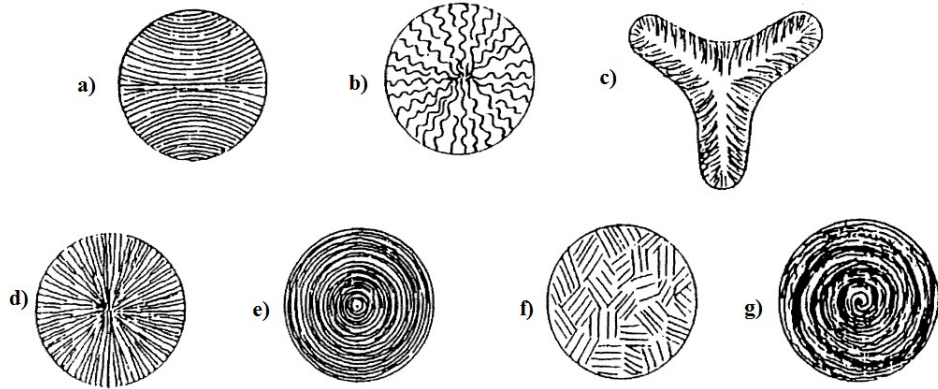
Şekil 2.1: Çift birleşenli fiberlerin karbonizasyon işlemi (D. D. L. Chung, 2017; Fitzer vd., 1998)

En çok dairesel fiberlerin tercih edilmesinin sebebi, düzensiz fiberlerin köşeleri etrafındaki matrisin gerilme yoğunluklarına sebep olmasıdır. Bu noktalarda mikro çatlakların başlamasına sebep olur. Böylece düşük mukavemetli karbon kompozit malzeme elde edilir (Fitzer vd., 1998). Şekil 2.2’de dairesel mikroyapı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Dairesel mikroyapılı fiberler (Fitzer vd., 1998)

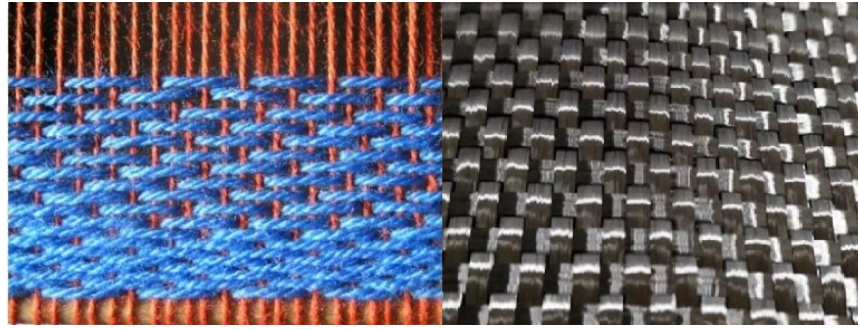
Petrol türevi ya da hayvan veya bitkilerden elde edilen karbon fiberlerin mikro yapısı, bu fiberlerden elde edilen karbon kompozitin grafikleşmesi esnasında meydana gelen fiziksel değişimlerini etkiler. Grafit düzlemsel tabakaya benzer mikro yapısına sahip olan karbon fiberlerin orta modüllüleri için, ön gerilmeli karbon matris grafikleşme esnasında fiber yönünde kayar ve kendini düzene sokar, böylece fiberi gerdirir. Grafikleşme sonrasında kompozitin eğme mukavemeti artar ve fiber yönünde kompozitin genişlemesine neden olur. Buna karşın, kama ve çekirdek türü mikro yapıya sahip petrol türevi yada hayvan veya bitkilerden elde edilen karbon fiberler grafikleşme esnasında kompozit fiber yönünde genişmez ve eğme mukavemeti azalır (Fitzer vd., 1998). Şekil 2.3’de Petrol türevi ya da hayvan veya bitkilerden elde edilen karbon fiberlerin mikro yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Petrol türevi ya da hayvan veya bitkilerden elde edilen karbon fiberlerin mikro yapısı a) Düz tabakalı, b) Radyal kıvrılmış, c) Çizgisel merkezli, d) Radyal, e) Soğanımsı yapı, f) Düzensiz yapı, g) Yarı soğanımsı yapı (Fitzer vd., 1998)

Karbon kumaşın dokuma deseni karbon fiberin yoğunluğunu etkiler. Saten dokuma tercih edilmesini nedeni, düz dokumanın çapraz demetler etrafında matris

homojen olmayan bir şekilde dağılmasından dolayıdır. Demet geçiş noktaları etrafında mikro çatlaklar meydana gelir. Karbonizasyon işlemi sonrasında, düz dokumalı kumaş içerikli kompozitin çekme işleminde demetler nerdeyse kullanılmaz hale gelirken, saten örgülü kumaştan yapılan kompozitte ise fiber çekilmesi ile (kesme)kayma tipi hata görülür. Yoğunlaşma ile birlikte saten örgülü kumaştan elde edilen kompozitin eğme mukavemeti kayda değer bir şekilde artar iken, düz örgülü kumaş ile yapılan kompozitte ise küçük bir artış elde edilir (D. D. L. Chung, 2017; Fitzer vd., 1998). Şekil 2.4’de saten ve düz örgü yapıları gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Saten ve düz örgülü yapısı a) 3 atlamalı 5'li atkı saten b) Düz dokumalı karbon fiber (D. D. L. Chung, 2017; Fitzer vd., 1998)

3. MATRİS SEÇİMİ VE YAPISI

Polimerler, metaller ve seramiklerden elde edilen matrislerin ana görevleri; 1) fiberlerin konumların bozulmamsını sağlamak yani oldukları yerde tutmak, 2) fiberler arasındaki gerilimi aktarmak 3) kimyasal ve nem gibi olumsuz çevre şartlarına karşı bir bariyer sağlamak ve 4) abrazyon gibi mekanik bozulmalardan fiberlerin yüzeylerini korumaktır. Matris, bir kompozit yapının çekme yükü taşıma kapasitesinde küçük bir rol oynar. Ancak, bir matrisin seçimi, kompozit malzemenin iç düzlem kayma özelliklerinin yanında iç tabaka kayma ve basma özelliklerini de etkiler. Basma yükü altında muhtemel fiberlerin bükülmesine karşı matris destek olur ve böylece kompozit malzemenin basma mukavemetini büyük ölçüde etkiler. Eğme yükleri altında yapısal tasarım açısından iç tabaka kayma mukavemeti önemli iken,

burulma yükleri altında iç tabaka kayma mukavemeti önemlidir. Aynı zamanda hasara dayanıklı yapıların fiber ve matris arasındaki etkileşimde önemlidir. Son olarak bir kompozit malzemenin işlenmesi ve kusurları, önemli ölçüde matrisin yapısal özelliğine bağlıdır. Örneğin, genellikle havacılık kompozitlerde kullanılan epoksi için kürlenme zamanı, kürlenme sıcaklığı ve sıvı viskozitesi önemlidir (Baker, 2004; Mallick, 2007)

3.1 Termoset Reçineler

Termoset reçineler, genelde sıvı halde bulunan kürlendikten sonra geri dönüşümü olmayan polimer malzemelerdir. Kürlenme elektron ışınları, ultraviyole ışınları ya da kızılötesi ışınlar gibi kimyasal reaksiyonlar ile yapılabilir. Kürlendiğinde, malzeme başlangıçtaki sıvı haline geri dönemez.

Termoset reçineler kolaylıkla işlenebilir, ince bir tabaka haline getirilebilirler, genelde termoplastiklere göre daha ucuz, daha dayanıklı ayrıca yüksek sıcaklıklarda bozulmazlar. Ancak termoplastiklere karşılaştırıldığında çok gevrekler.

Termoset reçineler arasında, siyanat ester(CE), epoksi, penolik, polyester, poliyamit ve vinil ester reçineler karbon fiberler için bir matris olarak kullanılabilirler (Bilge vd., 2014; Dong vd., 2014).

3.1.1 Siyanat Ester (CE) Reçineler

Siyanat ester (CE) reçineler en az iki siyanat fonksiyon gruplarından oluşan termoset reçine sınıfının bir üyesidir (Barton vd., 1996; Marieta vd., 2002). Siyanat monomerlerin yapısı şekil 3.1'de gösterilmiştir.

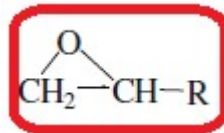


Şekil 3.1: Siyanat monomerlerin yapısı (Barton vd., 1996; Marieta vd., 2002)

Siyanat esterlerin, yüksek sıcaklığa dayanıklı poliamit ve epoksi reçineler arasında yer alan termoset reçine ailesindedir. Üstün termal performansın yanında pahalı bir üründür. Siyanat esterler düşük dielektrik sabiti, dielektrik kaybı, nem tutması düşük ve gaz salınımı az olan özelliklere sahiptir. Fiber takviyeli kompozitler, petek yapılar, sentetik köpüklerde yüksek performanslı yapıştırıcı olarak kullanılabilirler. Genelde epoksi, bismaleimit gibi termoset reçineler ve mühendislik termoplastikler içerisine ilave edilirler (K. Chung & Seferis, 2001; Ren vd., 2006).

3.1.2 Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler, kürlenme için içerisine ilave edilen maddeler ile birlikte kullanılabilen termoset polimerlerdir. Yüksek performanslı kaplamalar, genel amaçlı yapıştırıcılar, fiber takviyeli malzemeler dahil geniş bir kullanım alanına sahiptir (Moaseri, Karimi, vd., 2014). Epoksi reçineler için monomer yapısı şekil 3.2'de gösterilmiştir.



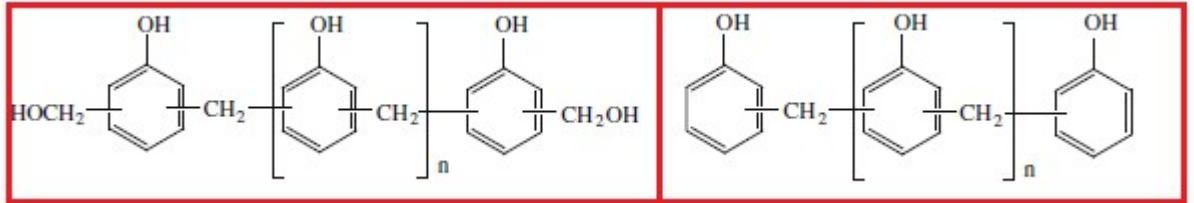
Şekil 3.2: Epoksi reçinelerin monomer yapısı (Moaseri, Karimi, vd., 2014; Moaseri, Maghrebi, vd., 2014)

Kürlenmiş bir epoksinin özellikleri, temel olarak çapraz bağ yoğunluğuna bağlıdır (ardışık çapraz bağ merkezleri arasındaki mesafe). Genek olarak, çekme modülü, camsı geçiş sıcaklığı ve termal kararlılıkla birlikte kimyasal direncin gelişmesinde çapraz bağ yoğunluğu etkilidir. Ancak, kopma uzaması ve kırılma tokluğu azalır. Çapraz bağ yoğunluğunu etkileyen faktörler; sıvı reçinenin kimyasal

yapısı (örneğin, molekül başına düşen epoksi grupları ve epoksi grupları arasındaki mesafe), kütle maddesinin işlevselliği (örneğin, DETA’da aktif hidrojen atomlarının sayısı, v.b) ve reaksiyon şartları (zaman ve sıcaklık) (Mallick, 2007).

3.1.3 Fenolik Reçineler

Fenolik reçineler, fenol ve formaldehitten elde edilir. Fenolik reçineler hazırlama olarak resol ve novolak şeklinde elde edilir (Z.-J. Wang vd., 2013). Novolak ve resol’ün kimyasal yapısı şekilde 3.3’de gösterilmiştir.

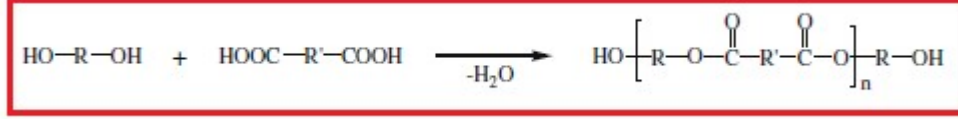


Şekil 3.3: Fenolik reçinelerin kimyasal yapıları a) resol b) novolak (Z.-J. Wang vd., 2013)

Fenolik reçineler; iyi bir ısı direnci ve boyutsal kararlılık yüzünden, fren balataları, taşıma çarkı, zımpara kağıtları ve döküm kalımlarda kullanılırlar. Ayrıca kil ile doldurulmuş fenolik reçinelerin solvent solüsyonları, metal tabanlar ile elektrik lambalarını bağlamak için cam metal yapıştırıcısı olarak kullanılırlar. Fenolik reçineler nispeten ucuzdurlar (S.-J. Park, 2015; Petrie, 2007).

3.1.4 Polyester Reçineler

Şekil 3.1.4’te gösterildiği gibi ikiden fazla hidroksil grubu içeren alkol ve iki bazlı organik asitlerin reaksiyonu ile oluşmuş doymamış reçinelerdir.

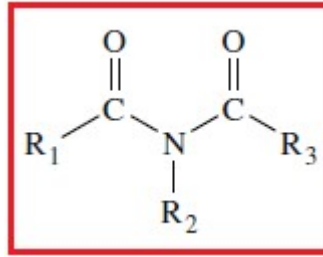


Şekil 3.1.4: Polyester reçinenin sentezlenmesinin şematik gösterimi (Monti vd., 2011; Z. Wu vd., 2014)

Ultraviyole ışınlarına karşı dirençli olan polyester reçineler, suya karşı güçlü bir direnç gösterirler ve uzun ömürlüdürler. En yaygın kullanım alanları denizcilik ve kompozit endüstrilerinde matris olarak kullanılır. Aynı zamanda lazer yazıcıların tonerlerinde, hacim kalıp birleşenlerinde, saç kalıplarda, yapıştırıcı olarak, ağaç dolguları, oto tamirinde kullanılırlar. En çok cam fiber ve kevlar ile kullanılır (Monti vd., 2011; Z. Wu vd., 2014).

3.1.5 Poliyamit Reçineler

Poliyamit, imide monomerin bir polimeridir (Samyn & Schoukens, 2009; X.-R. Zhang vd., 2009). Şekil 3.1.5'te poliyamitin yapısı gösterilmiştir.

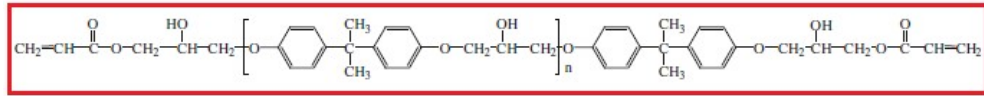


Şekil 3.1.5: Poliimidin kimyasal yapısı (Samyn & Schoukens, 2009; X.-R. Zhang vd., 2009)

Poliyamit, düşük dielektrik sabiti, esnek, iyi bir boyutsal kararlılık, düşük seviyede su tutma, yüksek sıcaklıkta kararlı, işlenmesi kolay, düşük seviyede gaz çıkışı, mekanik mukavemeti iyi, düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Havacılık endüstrisinde, otomotiv ve elektronik uygulamalarında kullanılmaktadır (X. Zhang vd., 2009).

3.1.6 Vinil Ester Reçineler

Vinil ester (VE) reçineler polyesterlerden çok daha güçlü ve epoksi reçinelerden çok daha ucuzdur (Broyles vd., 1998). Vinil ester, polyester ve epoksiye göre düşük viskoziteye sahiptir (Vautard vd., 2012). Vinil ester nemi absorbe etme polyesterine göre daha iyi direnç sağlar. Ayrıca cam fiber ile iyi bir bağ kurar, ancak kevlar ve karbon fiberlerin doğası gereği birbirine kenetlenmeleri zayıftır (Jin vd., 2006). Bizfenol vinil esterinin yapısı Şekil 3.1.6’te gösterilmiştir.



Şekil 3.1.6: Bizfenol vinil esterinin kimyasal yapısı (Jin vd., 2006)

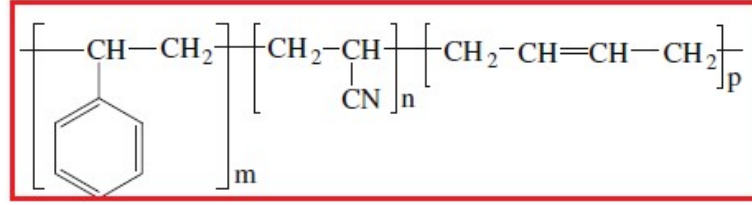
3.2 Termoplastik Reçineler

Termoplastik reçineler, genelde çapraz bağlanmayan uzun polimer moleküllerinden oluşurlar. Tekrar eritilip yeniden kullanılabilirler. Genelde kürlendiklerinde kimyasal değişim meydana gelmez. Basınç kalıp, vakum kalıp, ekstrüzyon, dönel kalıp ve enjeksiyon kalıp gibi geleneksel metotlarla seri üretimlerde kullanılmasına imkan sağlar. Genellikle termoplastik reçineler granül halinde bu işlemler yapılır. Gaz çıkışı yok, geri dönüştürülebilirler, yüksek darbe mukavemetine sahiplerdir. Aknirolitril butadiyen sitren (ABS), poliyamit (PC), polietereeterketon (PEEK), polimerimid (PEI), poliether sulfon, polietilen (PE), polifenilen sülfid ve polipropilen (PP) reçineler karbon fiberler ile birlikte polimer matris olarak kullanılabilirler (S.-J. Park, 2015; Yan vd., 2013).

3.2.1 Aknirolitril Butadiyen Sitren (ABS) Reçineler

Aknirolitril Butadiyen Sitren; bilgisayar birleşenlerinde, elektronik/elektrik uygulamalarında, iş ekipmanları, konutlarda ve otomotiv sektörü gibi geniş bir kullanım alanı vardır. Tokluk, hafif, ekonomik, leke tutmaz bir mühendislik

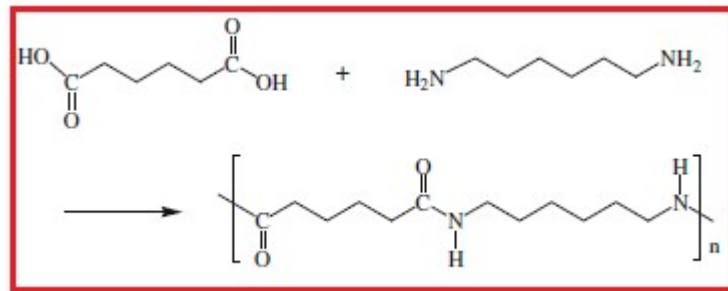
plastigidir (Huang & Wu, 2000; Singh vd., 2018). Aknirolitril butadiyen sitrenin yapısı şekil 3.2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.1: Aknirolitril butadiyen sitrenin kimyasal yapısı (Huang & Wu, 2000; Singh vd., 2018)

3.2.2 Poliyamit Reçineler

Poliyamitler, peptit bağlar ile birleştirilmiş amit monomerlerden oluşan bir polimerdir. Polimer ana atom zincirinde CONH fonksiyon gruplarına sahiptir. Poliyamitler doğal bir şekilde ya da yapay olarak mevcuttur. Yaygın olarak tekstil, otomotiv, halı yapımında ve spor giysilerinde sağlam ve mukavemetli oldukları için tercih edilirler (M. Li vd., 2013; Moaseri, Maghrebi, vd., 2014). Poli(heksametilendiamin adipamit) (Naylon 66, PA66), en yaygın kullanılan termoplastik reçinelerdir (N. Feng vd., 2013; Motozuka vd., 2013). Şekil 3.2.2’de heksametilen daimin ve adipik asit ile sentezlenmiş naylon 66’ın yapısı gösterilmiştir.

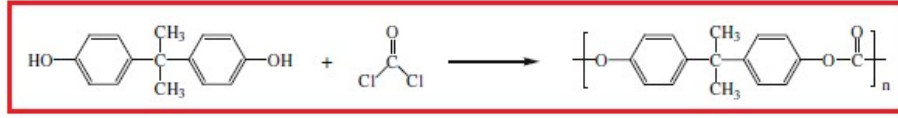


Şekil 3.2.2: Naylon 66’ın kimyasal yapısı (N. Feng vd., 2013; Motozuka vd., 2013)

3.2.3 Polikarbonat Reçineler

Polikarbonat reçineler termoplastik polimerin özel bir grubudur. Eysel ve endüstriyel kullanımlarda tercih edilmesinin sebebi esnek, sağlam, kırılmaz ve ekonomik olmasıdır (Carneiro vd., 1998; Montes-Morán vd., 2001).

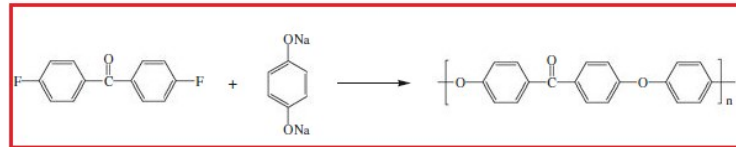
Polikarbonatlar kolaylıkla şekillendirilip kalıplanabilirler. Kimyasal endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Optik özellikler, darbeye karşı dirençli, yüksek sıcaklığa dayanabilme özelliklerine sahiptir (J.-M. Park, 2000). Polikarbonatın genel reaksiyon görüntüsü şekil 3.2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2.3: Polikarbonatın sentez şeması (Montes-Morán vd., 2001; S.-J. Park & Jang, 2001)

3.2.4 Polietereterketon (PEEK) Reçineler

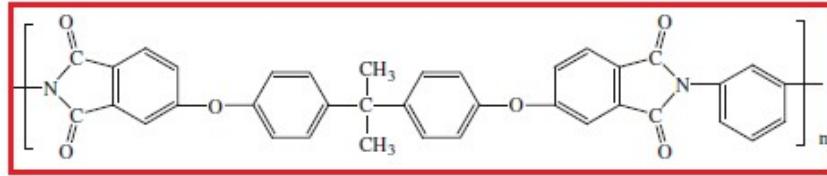
Yüksek sıcaklıklarda çalışabilen, mükemmel mekanik ve kimyasal özellikli yarı kristal bir termoplastik malzemedir (Ma vd., 1997). Yüksek vakumlu ortamlarda çalışabilme, korozyona dirençli, aşınmaya dirençli ve yüksek mukavemet sahip olduğu için genelde mühendislik malzemesi olarak kullanılır (Gebhard vd., 2009; Montes-Morán vd., 2001). Polietereterketonun kimyasal yapısı Şekil 3.2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2.4: Polietereterketonun kimyasal yapısı (Kurtz, 2012)

3.2.5 Polieterimid Reçineler

Polieterimid reçineler geleneksel termoplastik ekipmanları ile işlenebilir. Ekstrüzyon, köpük kalıp, üfleme kalıp, enjeksiyon kalıplar için uygundur. Cam fiberler ile kullanıldıklarında daha büyük gerilme mukavemeti ve sertlik sağlar iken, aynı anda boyutsal kararlılığı geliştirir (Hou vd., 1998). Değiştirilmemiş polieterimid reçineler, şeffaf ve alev dirençli ve düşük duman yayılımı gibi özelliklere sahiptir (G. M. Wu & Schultz, 2000). Polieterimid kimyasal yapısı Şekil 3.2.5'te gösterilmiştir.

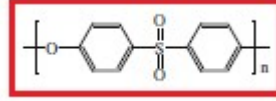


Şekil 3.2.5: Polieterimidin kimyasal yapısı(G. M. Wu & Schultz, 2000)

Polieterimidler; havacılık, medikal, paketleme uygulamaları, otomotiv alanlarında kullanılır. Ayrıca seramiklere göre elektrik uygulamalarında ekonomiktir. Kolay bir şekilde şekillendirilebilirler. Polisülfat yerine genelde tercih edilirler. Ultraviyole ışınlarına ve gama radyasyonuna karşı dirençlidir (S.-J. Park vd., 2015).

3.2.6 Polietersülfon Reçineler

Polietersülfon, kimyasal ana birleşeninde sülfon ve eter grupları olan kristallenmeyen, şeffaf, ısıya karşı dirençli bir mühendislik plastiğidir. Polietersülfonun kimyasal yapısı şekil 3.2.6'da gösterilmiştir.



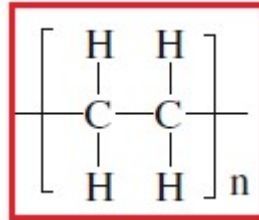
Şekil 3.2.6: Polietersülfon kimyasal yapısı (Fernandez vd., 2004)

Polietersülfon reçineler; yüksek sıcaklıklarda bile üst düzey sertlik, iyi bir boyutsal kararlılık, yalıtkanlık özellikliği, biyo bozunabilirlik ve alev geciktiricilik özellikleri mevcuttur (Fernandez vd., 2004).

Polietersülfon; basınçlı kalıp, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıp gibi geleneksel plastik işleme ekipmanlar kullanılarak kalıplanabilir. Doğası gereği amorf olması sebebi ile, geniş çalışma sıcaklık aralığında az boyutsal değişim ve benzer hata payı gerektiren uygulamalar için uygun olan yüksek kutupsal çözücüler ile birlikte kolaylıkla işlenebilirler. Termosetlere göre daha iyi tokluk, tamir edilebilirlik gibi avantajlarda sunar (G. M. Wu & Schultz, 2000).

3.2.7 Polietilen Reçineler

Polietilen, poliolefinin önemli bir üyesidir. Otomobil yakıt tanklarından, deterjan şişeleri, market poşetleri ve şeffaf gıda ambalajlarına kadar dünya çapında kullanılan plastiktir. Ayrıca sentetik fiberlere ayrılabilir veya kauçuğun elastik özelliği kazandırılabilir (May-Pat vd., 2013; Turku vd., 2018). Şekil 3.2.7’de etilen mono merinin uzun zincirinden oluşan polietilen yapısı gösterilmiştir.



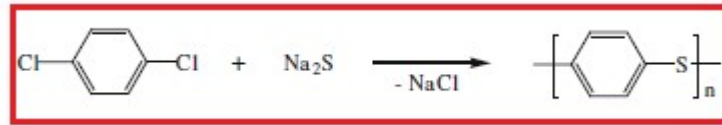
Şekil 3.2.7: Polietilenin kimyasal yapısı (May-Pat vd., 2013; Turku vd., 2018)

Üretim işleyişine bağlı olarak esnek ve başka özelliklerde mevcuttur. Geniş termoplastik işleme metotları kullanılarak üretilebilirler. Özellikle nem direnci maliyet bakımından uygundur.

Polietilenin mekanik özellikleri, molekül ağırlığına, kristal yapısı, dallanma türüne ve genişliğine bağlı olarak değişir (Hertel vd., 2008; Spencer vd., 2010).

3.2.8 Polifenilen Sülfür Reçineler

Polifenilen sülfür reçineler; üst düzey kimyasal direnç, termal kararlılık, boyutsal kararlılık ve yangına karşı direnç gösterirler. Organik çözücülere, inorganik tuzlara ve bazlara karşı polifenilen sülfür aşırı şekilde inerttir, korozyona karşı dayanıklı olduğu için yiyecek paketlerinde kullanımı için uygundur (Jiang vd., 2008). Şekil 3.2.8'de p diklorebenzen ile sodyum sülfidin reaksiyonundan oluşan polifenilen sülfid gösterilmiştir.



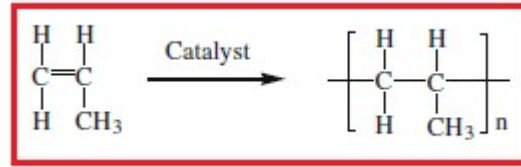
Şekil 3.2.8: Polifenilenin sentez şeması (Jiang vd., 2008)

Polifenilen sülfür; yüksek toleranslarda işlenebilir, ekstrüzyon ile şekillendirilebilir ve kalıplanabilir. Saf katı formu opak beyazdan açık ten rengine kadar değişen çeşitli renklere sahiptir. Düşük viskozite olması sebebi ile polifenilen sülfür, doğal kırılgenliği telafi etmek için takviye elemanları ve yüksek miktarda dolgular ile birlikte kalıplanabilirler.

Ayrıca dolgular ve takviye elemanları elektriksel özellikleri, boyutsal kararlılığı, yüzeysel özellikleri, mukavemeti ve ekonomik. Cam fiber takviyeli polifenilen sülfür, darbe direncini, mekanik ve elektronik uygulamalardaki mekanik mukavemeti ve yalıtkan özellikleri için kullanılır (H. Xu vd., 2006).

3.2.9 Polipropilen Reçineler

Polipropilen reçineler, 160 °C'e erime noktası, iyi bir dielektrik özelliği, zehirli madde içermeyen, yüksek gerilme, yüksek basma mukavemeti, düşük yoğunluk ve ekonomiktir. Polimerler, otomotiv birleşenler, hoparlör, kırtasiye ürünleri, laboratuvar ekipmanları, tekstil, etiketler ve paketler gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir (Duchoslav vd., 2016; Karsli & Aytac, 2011). Polipropilen mono merinden elde edilen lineer yapılu termoplastik polimerin kimyasal yapısı Şekil 3.2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.2.9: Polipropilenin kimyasal yapısı (Duchoslav vd., 2016; Karsli & Aytac, 2011)

4. POLİMER MATRİSLİ METAL DOLGULAR

Polimer matrisli metal dolgu, polimer bir matrisin içerisine entegre edilmiş olan metal parçacıklarının bir karışımıdır. Bu karışım, polimer matrisin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve iletkenlik sağlamak amacıyla kullanılır. Polimer matrisli metal dolgunun avantajları ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

Mekanik Güç: Metal parçacıkları, polimer matrisin mekanik dayanıklılığını artırır ve malzemeyi daha sağlam hale getirir.

İletkenlik: Metal dolgu, polimer matrisin elektriksel iletkenliğini artırır, böylece malzeme elektrik akımını iletir hale gelir.

Termal iletkenlik: Metal parçacıklarının yüksek termal iletkenliği, polimer matrisin ısı transferini iyileştirir ve malzemeyi daha iyi bir ısı iletkeni yapar.

Hafiflik: Polimer matrisin hafifliği, malzemenin genel ağırlığını azaltır ve uygulamalarda hafiflik gerektiren durumlar için avantaj sağlar.

Dezavantajları:

İşlenebilirlik: Metal parçacıkları polimer matris içinde homojen bir şekilde dağıtılması ve işlenmesi zor olabilir. Bu, malzemenin istenilen şekle veya boyuta getirilmesini zorlaştırabilir.

Maliyet: Metal parçacıkları genellikle polimerlerden daha pahalıdır, bu da polimer matrisli metal dolgunun maliyetini artırır.

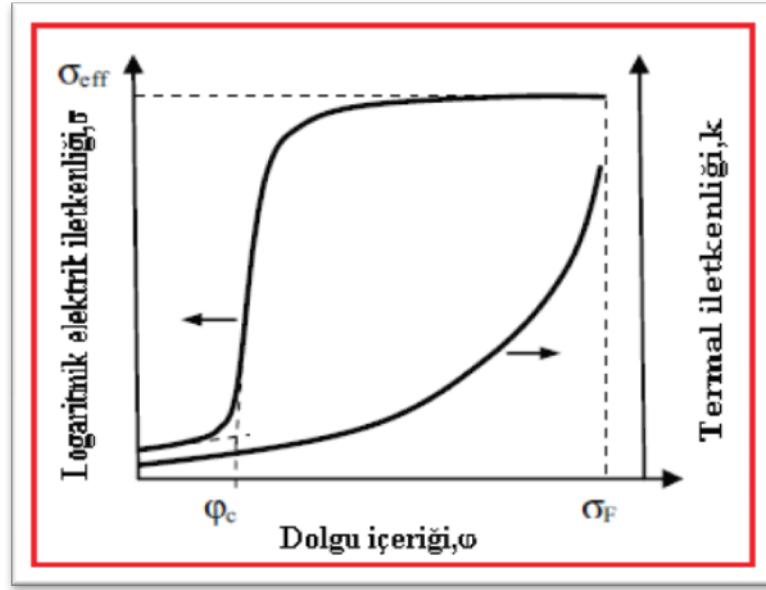
Korozyon: Metal parçacıklarının korozyona yatkın olması, dolgunun kullanıldığı uygulamalarda korozyon riskini artırabilir.

Polimer matrisli metal dolgunun avantajları ve dezavantajları, kullanım amacına, uygulama gereksinimlerine ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

4.1 Elektrik İletkenliği

Metal dolgu maddesinin polimerlere ilave edilmesi, polimerlerin özelliklerini modifiye eder. Böylelikle kompozit özelliği kazanmış polimer-metal dolgulu malzemeler elektriksel iletkenlik ve mekanik özelliklere sahip olurlar.

Dolgu miktarının elektrik iletkenliği üzerindeki etkisi logaritmik olarak şekil 4.1’de gösterilmiştir. Dolgu miktarı belli bir aralığa yükselmesiyle birlikte, partiküller polimer tarafından sarılarak değişim yatay şekilde artar. Ama dolgu miktarı taneciklerin birbirine temas edecek şekilde olduğunda, polimer kompozitlerin özellikleri çok çabuk değişir. Özellikle, bu durum elektrik iletkenliği için geçerlidir (Mamunya vd., 2002; Novák vd., 2004).



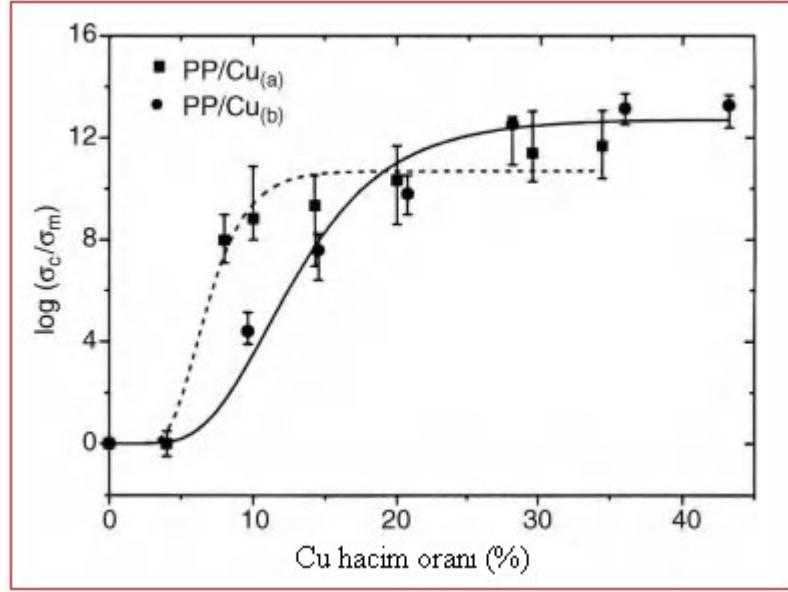
Şekil 4.1: Metal partikül ilaveli polimer kompozitin termal ve elektrik iletkenliğin logaritmik gösterimi (Mamunya vd., 2002; Novák vd., 2004)

Böylece polimer matris içerisinde partiküllerin sonsuz bir küme oluşumuna sızma eşiği (ϕ_c) olarak adlandırılan kritik bir hacimde kompozit elektriği iletir hale gelir. Metal partiküller ile ilave edilmiş termoset ve termoplastiklerin elektriksel özellikleri tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Metal dolgulu polimerlerin elektrik iletkenliği

Matris	Dolgu	Şekli	Boyut (μm)	Sızma eşiği (hacim %)	σ_{eff} $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ Pik sonrası	Referans
Epoksi reçine	Cu	Düzensiz	100	5	181	(Mamunya vd., 2002)
Epoksi reçine	Cu	Dentritit	5	25	3560	(Ishigure vd., 1999)
Epoksi reçine	Ni	Toz	10	8.5	121	(Mamunya vd., 2002)
Düşük yoğunluklu polietilen	Cu	Toz	<38	19	11	(Luyt vd., 2006)
Lineer düşük yoğunluklu polietilen	Cu	Toz	<38	19	12	(Luyt vd., 2006)
Polibütilen tereftalat	Al	Fiber	90/2000	30	0.1	(Danes vd., 2003)
Polietilen	Al	Fiber	100/1250	9	52	(Bigg & Bradbury, 1981)
Polietilen	Cu	Toz	3.3	15	2.5	(Agari & Uno, 1986)
Poliprobilen	Al	Fiber	100/1250	10	60	(Bigg & Bradbury, 1981)
Poliprobilen	Al	Fiber	127/3050	6	60	(Bigg & Bradbury, 1981)
Poliprobilen	Cu	Toz	30	34	-	(Boudenne vd., 2005)
Poliprobilen	Cu	Toz	280	43	-	(Boudenne vd., 2005)
Polivinilklorür	Cu	Düzensiz	100	5	330	(Mamunya vd., 2002)
Polivinilklorür	Ni	Toz	10	4	90	(Mamunya vd., 2002)
Polivinilklorür	Al	Toz	<75	20	-	(Bishay vd., 2011)

Sızma eşiğini azaltmak için yüksek görüntü oranı ya da en-boy oranı (AR) olan fiber iletken partiküller kullanılabilir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi Bigg ve Bradbury (1981) bir fiberin görüntü boyutunu 12'den 24'e çıkardığında sızma eşiğinin hacimce % 10'dan % 6'ya düştüğünü ölçümlerde gözlemlemişlerdir. Boudenne ve diğerleri (2005) nin küçük bakır partiküllerin boyutunu 9 kat küçülterek sızma eşiğindeki dolgu içeriğini hacimce 6'dan 11'e düşürdüğünü bulmuşlardır.



Şekil 4.1: Polipropilen/bakır(Cu) kompozitinin elektrik iletkenliğine karşı dolgu içeriği (120 0C'de ölçülen Cu(a) ve Cu(b) sırasıyla ortalama toz boyutları 30 ve 280 mm dir (Boudenne vd., 2005).

Sızma eşiğini düşürmenin bir başka yolu ise metal partiküllerin ayrı bir dağılım içerisinde olmasıyla sağlanmaktadır. Yani iletken partikül ile polimerlerin birbiri ile karışmaması, hem iletken hem de yalıtkan dolgular kullanılarak yada hem plastik hem de metal tozları sıkıştırarak elde edilebilir. Tablo 4.1'de Polivinil klorür ve bakır yada nikel ile birlikte kullanılması bu durumu açıklamaktadır (Kusy & Corneliussen, 1975; Malliaris & Turner, 1971; Mamunya vd., 2002).

Kompozitler büyük sıcaklık dalgalarına maruz kalabilirler ve metal dolgulu kompozitlerin ısınması esnasında, sızma eşiği üzerindeki dolgu yoğunluğu için elektrik iletkenliğinde ani bir azalma meydana gelebilir. Genelde polimerlerin termal genişleme katsayısı metallere 2-8 kat daha yüksek olduğu için sıcaklığın yükselmesi ile polimerler ve metaller bir birinden ayrılmasına sebep olacaktır (Nakamura vd., 1998; Roldughin & Vysotskii, 2000; Thomas vd., 2012).

4.2 Mekanik Özellikler

Genellikle, kompozitler dolgusuz polimer ile kıyaslandığında özellikleri azdır.

Düşük dolgu içeriği nedeniyle, kompozitlerin termal genleşme katsayısında etkin rol oynayan polimerdir. Ancak metal dolgu miktarı artması, termal genleşme katsayısını düşürebilir. Birçok uygulamalarda, başlıca mekanik özellikler; darbe mukavemeti, çekme mukavemeti ve elastisite modülüdür. Kısa metalik partiküller konusunda bir çok gözlemlerinde, dolgu içeriğinin yükselmesi ile birlikte darbe ve çekme mukavemetinde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Bigg, 1979; Bishay vd., 2011; Gungor, 2006; Mansour vd., 2007; Rusu vd., 2001; Tavman, 1996). Bu durum kompozitteki yerel gerilmelerin yüksek olması sebebinin matris ve dolgu arasında zayıf bir yapıştırıcı olarak açıklanmaktadır.

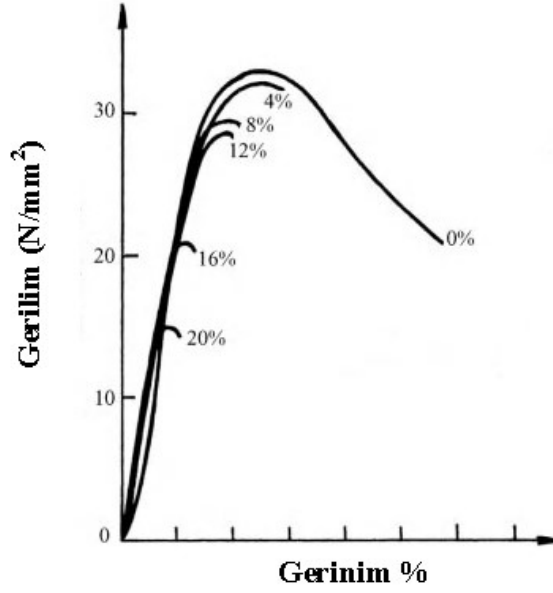
Partikül ve matris arasında bağ yüzey işlemleri ya da ara yüzey reaktif ajanlar ile geliştirilebilir. Bigg (1979) yapmış olduğu çalışmada kullanılan ilaveler ile çekme mukavemetinin çok daha az kayıp elde etini bulmuştur. Bununla birlikte (Tan vd., 1999) yapmış oldukları çalışmada, yüzey işlem ve dolgu olarak fiber kullanımı ve miktarının artması darbe mukavemetini artırdığını gözlemlemişlerdir.

Elastisite modülü; yalnızca kompozitin fazlarına bağlı değil partikül dağılımı ve ara yüzey yapıştırıcılığı bağlı olarak çeşitli davranışlar gösterir. Elastisite modülü, polimer matristen daha sert olan metal parçacıklarda artar. ve buda parçacıkların kümelenmesiyle meydana gelen yüksek dolgu miktarını azaltabilir, matris ile dolgu arasında zayıf bir bağ kurmasına neden olabilir yada değişmeden kalabilir (Gungor, 2006; Martin vd., 2007; Molefi vd., 2010).

Dolgu içeriğini artması ile değişmeyen elastisite modülünün, çekme mukavemeti ve kopma uzamasının azalmasını örnek olarak veren metal dolgulu polimerler için mühendislik gerilim-gerinim eğrileri şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Mekanik testlerde polimer matrisli-metal dolgular için kopma uzaması önemli bir parametredir. Genellikle hacimsel olarak %5 ve % 20 aralığında metal dolguların

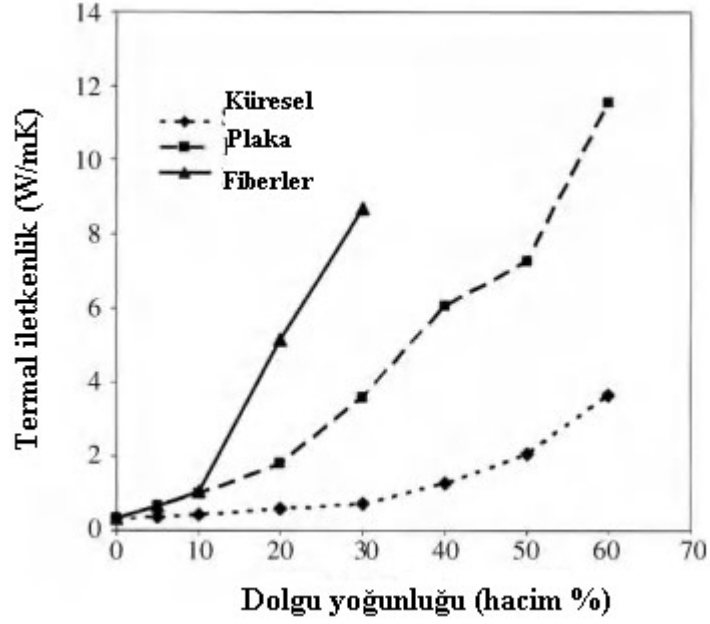
miktarı ile birlikte düşer (Bigg & Bradbury, 1981; Gungor, 2006; Rusu vd., 2001; Tavman, 1996).



Şekil 4.2: Hacimce çinko içeriğine bağlı olarak yüksek yoğunluklu polietilen/çinko kompozitin mühendislik gerilim-gerinim eğrileri (Rusu vd., 2001)

4.3 Termal İletkenlik

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere hacimce dolgu içeriği ile ilgili termal iletkenliğine bağlı bir sızma eşiği davranışı yoktur. Termal iletkenliği kademeli olarak yükseldiği ve daha sonra maksimum hacimsel dolgu yoğunluğu ile ilişkili olarak en yüksek değere kadar üssel bir biçimde arttığı görülür.



Şekil 4.3: Poliyamit/Bakır (Cu) kompozitlerin dolgu içeriğine bağlı olarak termal iletkenliği, ortalama bakır (Cu) boyutları şekli sırasıyla 45,50 ve 600 mm küresel, tabaka ve fiber şeklinde (Tekce vd., 2007)

Tablo 4.3'deki termo plastik ve tablo 4.4'deki termo setler ve elastomerlerin metalik dolgu içerikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Metal parçacık dolgulu termoplastiklerin elektrik iletkenliği

Matris	Dolgu	Şekli	Boyutu (mm)	Dolgu u haci	k_{eff} (W/(m k))	Referans
HDPE	Al	Toz	40–80	33	3.6	(Tavman, 1996)
HDPE	Cu	Toz	15–40	10	0.7	(Tavman, 1997)
HDPE	Cu	Toz	<38	24	1.7	(Molefi vd., 2009)
HDPE	Bronz	Toz	<100	23	1.9	(Sofian vd., 2001)
HDPE	Cu	Toz	<60	24	1.1	(Sofian vd., 2001)
HDPE	Fe	Toz	<100	24	1.3	(Sofian vd., 2001)

HDPE	Sn	Küresel	20–40	16	1.1	(Kumlutas & Tavman, 2006)
HDPE	Zn	Toz	<5	20	0.88	(Sofian vd., 2001)
i-PP	Ni	Toz	40	3.4	0.15	(Maiti & Mahapatro, 1990)
LDPE	Cu	Toz	<38	24	0.72	(Luyt vd., 2006)
LLDP	Cu	Toz	<38	24	0.76	(Luyt vd., 2006)
PA	Cu	Plaka	50	60	11.6	(Tekce vd., 2007)
PA	Cu	Küre	45	60	3.6	(Tekce vd., 2007)
PA	Cu	Fiber	50/600	30	8.6	(Tekce vd., 2007)
PE	Cu	Toz	3.3	30	1.8	(Agari & Uno, 1986)
PP	Al	Fiber	100/1250	15	0.72	(Bigg, 1986)
PP	Al	Fiber	100/1250	28	2.1	(Bigg, 1979)
PP	Al	Toz	8	59	2.7	(Boudenne vd., 2004)
PP	Al	Toz	44	58	4.2	(Boudenne vd., 2004)
PP	Cu	Toz	30	34	2.1	(Boudenne vd., 2005)
PP	Cu	Toz	280	43	2.3	(Boudenne vd., 2005)
PP	Cu	Düzensiz	15	36	2.3	(Weidenfeller vd., 2004)
EVA	Ni	Toz	1–50	26	0.68	(Tlili vd., 2011)
PVC	Cu	Düzensiz	100	46	1.6	(Mamunya vd., 2002)
PVC	Ni	Toz	10	32	1.0	(Mamunya vd., 2002)
PBT	Al	Fiber	90/2000	45	2.2	(Danes vd., 2003)

Elektrik iletkenliği ile termal iletkenliğin en yüksek değeri karşılaştırıldığında daha büyük yoğunlukta dolgularla elde edildiği görülür. Örneğin Bigg, (1979) yapmış olduğu çalışmada polipropilendeki alüminyum fiberler ile yaklaşık %10 ve %30 hacimsel içerikleri için elektrik ve termal iletkenlik değerlerinin artığını bulmuştur.

Tablo 4.4: Metal dolgulu termosetlerin termal iletkenlikleri

Matris	Dolgu	şekli	Boyutu (μm)	Dolgu hacimsel %	k_{eff} (W/(mk))	Referans
ER	Ag	Küresel	27	55.7	1.33	Metallurgical Society of AIME. (1978)
ER	Al	Küresel	2	37.7	0.66	(Nieberlein, 1978)
ER	Al	Fiber	—	29.8	0.50	(Katz&Mileski, 1987)
ER	Al	Toz	44	40	1.43	(Chung vd.,2003)
ER	Al	Fiber	5000	40	1.82	(S. I. Chung vd., 2003)
ER	Au	Küresel	37	50	1.36	Metallurgical Society of AIME. (1978)
ER	SS	Küresel	92	56.7	1.27	(Araujo&Rosenberg 1976)
ER	CI	Pul	<150	40	0.91	(S. I. Chung vd., 2003)
ER	Cu	Küresel	100	40.8	0.82	(Araujo&Rosenberg 1976)
ER	Cu	Küresel	100	57.7	1.37	(Araujo & Rosenberg 1976)
ER	Cu	Küresel	46	39.1	0.86	Metallurgical Society of AIME. (1978)
ER	Cu	Tel	76//3040	12.0	2.52	(Hansen&Tomkiewicz, 1975)
ER	Cu	Küresel	46	55.2	1.36	Metallurgical Society of AIME. (1978)
ER	Sn	Küresel	46	54.2	1.33	(Araujo & Rosenberg 1976)
SR	Al	Küresel	1200	27	0.41	(Hamilton & Crosser, 1962)

Aynı dolgu içeriği ile Şekil 4.3'te gösterildiği gibi yüksek görüntü boyutlu partiküllere sahip kompozit değerleri görebilir (Bigg, 1986; Tekce vd., 2007). Hatta yalıtkan matris, iletkenliği yüksek olan partiküller ile kısa devreye uğrarlar. Partikülerin belirli bir yönelimde olması, imal edilme yöntemi ile ilgi olabilir. Garnier ve diğ., (2002) yapmış olduğu çalışmasında polibütilen tereftalat alimünyum fiberlere enjekte edildiğinde, fiberlerin kısmi olarak akış yönünde yerleştirildikleri için iç düzlemde kompozitin enine göre 3-4 kat daha yüksek termal iletkenlik elde edilir. Bunun gibi termal iletkenliği olan polimerler ısı azaltıcı olarak hareket edebilir ya da sıcak noktaları azaltabilir ve böylece polimerlerin ömürleri artar.

Isı iletimini iyileştirmek için, iletkenlik aralığı açısından metaller kompozitlerde kullanılan uygun malzemelerdir. Dolgu maddesinin termal iletkenliğini 100 kat artırmak gibi bir etkisi varsa, etkisi ihmal edilebilir.(Bigg, 1986; Filip vd., 2007).

5. KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ

5.1 Açık Kalıplama Yöntemler

Polimer matris kompozitlerde en uzun süredir kullanılan ıslak yatırma, açık laminasyon/astarlama, temas kalıp olarak bilinen açık kalıp yöntemlerdir. Geniş bir aralıkta kompozit ürünler için en çok tercih edilen işlemdir. Üretim metotları, temel malzeme teknolojisi kullanımını ve pek çok avantaj ile kolay bir işlem sağlar. Bir açık kalıbın yüzey üzerinde sıvı reçine ve takviye elemanın yerleştirme (bir jel kaplama ile önceden kaplanmış olabilir ya da olmayabilir.) ya da tek kullanımlık sandviç imalatı yapılması durumunda başka bir altlık üzerine yerleştirme, çelik üzerine korozyona dirençli astar, tank ve boruların yerinde tamirinde ve bunun gibi örnekler verilebilir (Rastellini vd., 2008).

El ile takviye elemanı ile reçinenin uygulanması işlemi el ile yatırma olarak tarif edilirken, alternatif bir altlık veya kalıp üzerine hem reçine hem de takviye

elemanı hem de reçine sprej uygulamasına spreyle yatırma denir (El Mahi vd., 2008). Açık kalıp, genelde düşük orta boyutlu seriler için kullanılan bir işlemdir. Daha karmaşık şekillerin yanında daha küçük, daha basit şekillerde üretmek mümkündür (Y. X. Zhang & Zhang, 2010). Elle yatırma işlemi için, çalışanın fazla bir el becerisine gerek yoktur ve düşük maliyetli bir işlem iken sprej yatırma için gerekli olup teçhizatlar biraz pahalıdır.

Açık kalıplama işleminde, kalıp imalatı için kullanılan malzemeler ile üretilecek olan malzeme aynı olabilir. Kalıplar bir CNC tezgahında kesilebilir ya da bondu body dolgular ile kaplanılan bir ekran görüntüsü elde edebilmek için el ile şekillendirilebilir. Her iki durumda da model üzerine bir jel uygulanır (J. Xu & Sankar, 2008). Sonrasında kürlenen reçine ile birlikte cam fiberler arzu edilen kalınlık elde edilene kadar el ile kalıba yatırılır. Aynı anda da bazik çelik ya da ağaç kasa/çerçeve parçanın üretimi için ergonomik bir yöntemde konumlandırmak ve destek sağlamak amacıyla kalıbın arkasına sıkı bir şekilde sabitlenir.

Başlangıçta açık kalıp işlemi, bir fırça yardımıyla jel tabaka kalıba sürülür işlem bitiminde kalıptan çıkartılmasına kolaylık sağlayan jel tabaka kalıbın aslında dış yüzeyini oluşturur (S.-X. Wang vd., 2010). Sonrasında cam fiber mat/hasır filimler/tabaka üzerine kürlenmiş reçine fırça ile ıslatılır. ve ıslatılmış cam fiberler içerisindeki havanın alındığından emin olmak için jel kaplamaya ve sonraki ilave katmanlara sıkıştırılarak rulonlanır. Islatılmış cam fiber tabakaya yaymak için operatör manüel bir şekilde bir boyacı fırçasına benzer bir rulo kullanılarak yapılır. Böylece hava kabarcıkları ortadan kaldırılır.

Açık kalıplama işlemlerinde ısı ya da basınç gerek duyulmadan oda sıcaklığında kürlenebilir. ve her bir kalıp işlem için 4-6 saat aralığı yeterli olmaktadır. Yüksek kalitede ürünler ve birleşenler üretebilmek için iyi eğitimli operatör ve buna uygun işletmeler gereklidir (Deka vd., 2009).

5.1.1 Islak Yatırma Yöntemi

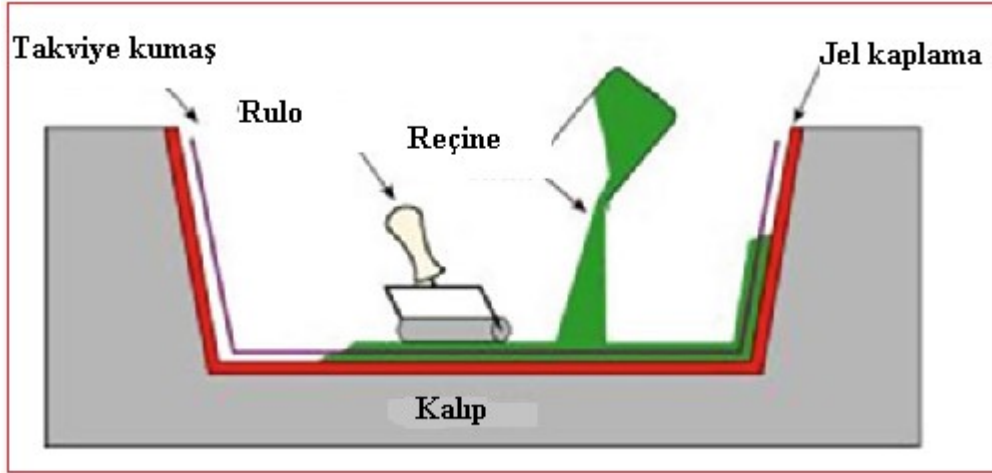
Bu yöntemde yarım kalıptan oluşur ve üretilen parça kalıbın şeklini alır. Dolgu içeriğine sahip olmayan düşük viskoziteli reçinelerden oluşur ve kalıp içerisine yerleştirilen fiberlere sürekli olarak yedirilir. Bu teknik yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Takviye kalıba yerleştirilir ve reçine rulo ya da fırça kullanılarak fiberler arasına uygulanır. Genelde kürlenme oda sıcaklığında meydana gelebilir. Tek seferlik üretim ya da küçük parça üretimleri için özellikle uygundur.

Fiberler el ile kalıp üzerine ya da içerisine yerleştirilirler. Karmaşık şekilli üretim yapılırsa, fiberler küçük parçalar ayrılır. Daha sonra gerekli kalınlık elde edilene kadar işlem devam ettirilir. Sıvı reçine fiberler üzerine dökülür ve hava kabarcıklarını kaldırmak ve fiberlerin tamamen ıslandığından emin olana kadar rulo lama işlemi yapılır. Sıcak bir kür kullanılıyorsa hızlandırıcı kullanılmasına gerek yoktur.

Fiber ve reçine uygulamadan önce, kalıptan birleşenleri ayırmak için silikonsuz mum ya da polivinil alkol ile kaplanır. Parçayı kalıptan ayırmada takoz vurularak veya basınçlı bir hava kullanılarak ayrılır kesilmiş iplik hasırlar en yaygın kullanılanlardır. Ancak daha güçlü ve sert olması gerektiğinde dokuma fitili kullanılır. Çevreden korumak ve estetik amaç için zengin ve pürüzsüz yüzeyli bir reçine üretebilmek amacıyla bir jel kaplama uygulanır (Feraboli vd., 2010).

5.1.2 Elle Yatırma Yöntemi

Elle yatırma işlemi kompozit üretimi için kullanılan en yaygın ve en ucuz yöntemdir. Elle yatırma işleminde karbon fiber, sürekli iplik hasırlar veya fitil dokuma gibi el ile kalıba yerleştirilir. Her bir tabaka üzerine viskozitesi 1,000-1,500 cps (centipoise) olan kürlenmiş reçine ile spreyci uygulanır ve reçine fırça yada rulo ile yedirilir. Şekil 5.1.2’de gösterildiği gibi elle yatırmanın birkaç çeşidi vardır.

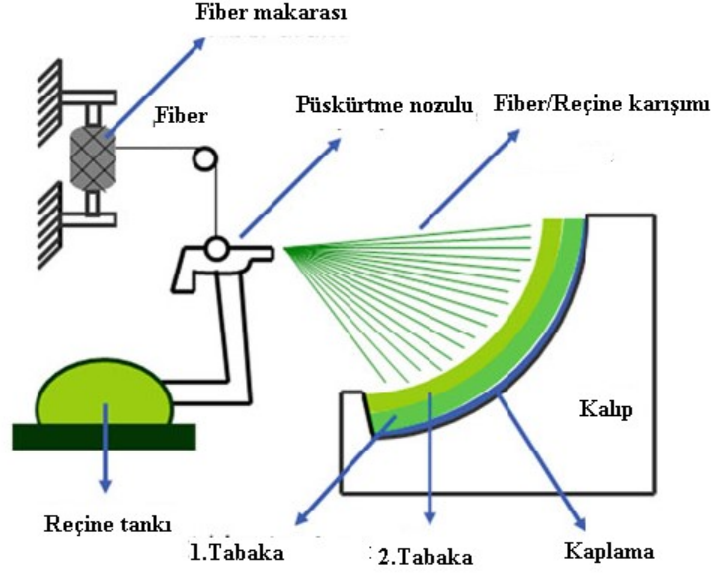


Şekil 5.1.2: Elle yatırma işlemi (Betts vd., 2010; Faraz vd., 2009)

İlk olarak kalıp ayırıcı bir jel ile kaplanır. Böylece oluşan kompozitin herhangi bir zarara uğramadan kalıptan ayrılabilir. Genelde florokarbon tercih edilirken yüzey pürüzlüğü önemli olmadığında silikonlarda kullanılabilir. Silikonlar, sonraki işlemlerde yüzeyde kalıntılar olmasına sebebiyet verir. Ayrıca Polivinilalkolde kalıplarda kullanılmaktadır. İkinci adımda yüzeye 0.3-0.4 mm kalınlığında bir jel kalıp kaplama uygulanır. Üretim için iyi bir görüntü ve düzgün yüzey elde etmek ve reçine ve fiber arasındaki bağı zayıflatan nemin difüzyonun engellemektir. Jel kaplama kısmen kürlendikten sonra, ilk olarak reçine jel kaplama üzerine sürülür. Arkasından bir hasır, örgü demetler ya da kumaş gibi takviye elemanlar ile el ile yatırılır. Tamamen ısladığında ve hava kaparcıklarının giderildiğinden emin olmak için el rulosu ile rulonlanır (Betts vd., 2010; Faraz vd., 2009).

5.1.3 Sprey Püskürtme Yöntemi

Sprey yatırma açık kalıp bir kompozit üretim işlemidir. Şekil 5.1.3'deki gibi reçine takviye elemanı kalıp üzerine püskürtülür.



Şekil 5.1.3: Sprey yatırma işlemi (Chen vd., 2007; G. Li vd., 2008)

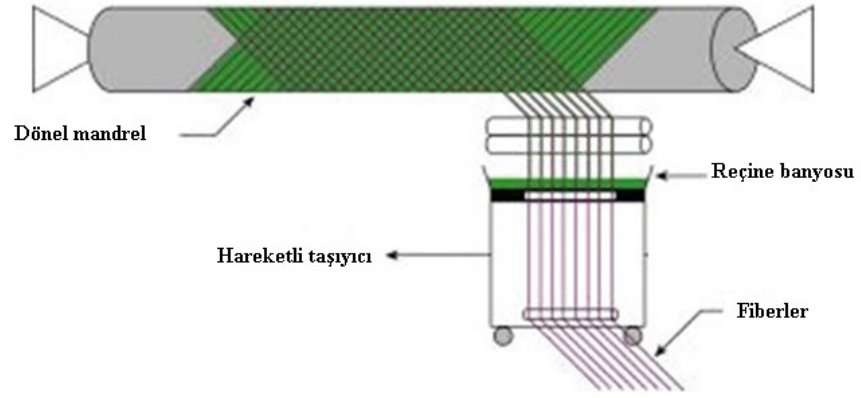
Bir tabanca vasıtasıyla reçine ve fiberler aynı anda ya da ayrı ayrı uygulanabilir. Ağaç, köpük veya diğer çekirdek malzemeler daha sonra eklenebilir ve çekirdek ve laminant arasında ikinci bir sprej tabaka katman oluşturur yani sandviç yapı oluşur. Daha sonra parça kürlenir, soğutulur ve yeniden kullanılabilen kalıptan çıkartılır (Chen vd., 2007; G. Li vd., 2008).

5.1.4 Bant Yatırma/Tape Layup Yöntemi

Bu metot ile emdirilen (sıvı reçine ile emdirilmiş takviye elemanı) bant tabakalar, robotik bir sistemle ile kalıp yüzeyi üzerine uygulanırlar.

5.1.5 İplik Sarma Yöntemi

İplik sarma işlemi, farklı tabakalarda dönel bir mandirel üzerine takviye malzemesi filamanın devamlı sarması işleminden oluşur (Arellano vd., 2010; Zuraida vd., 2007). Sarımdan önce sıvı termoset reçine uygulanırsa, işlem ıslak filamentli sarım olarak isimlendirilir. Filament sarımı ile mandrel üzerine reçine püskürtülürse, kuru filament sarımı denir. Bu işlem, genelde borular ve tanklar gibi dairesel ya da oval kesitli birleşenler için kullanılır. Fiberler istenilen yönde sarılmaya başlamadan önce bir reçine banyosundan geçirilirler. İplik sarım mekanizması çeşitli geometrilerde olmasına rağmen, Şekil 5.1.5’de temel iplik sarım işlemi belirtilmiştir.



Şekil 5.1.5: İplik sarım işlemi (P. A. Sreekumar vd., 2007)

Fiberlerin ilk etapta genişlikleri ayarlanabilmesi için bir besleme gözüne yönlendirilirler sonrasında reçine emdirme yapıp mandirele sarılırlar (P. A. Sreekumar vd., 2007).

Fiberlerin gerilimi bir filament sarım makinesinin işleme için önemlidir. Fiberler çözgü sehpaı/cağlıkla ve besleme hattından fiber gerdiricileri kullanılır. İstenen gerginlik sarım şekline, parça çapına, fiberlerin türüne bağlıdır. Gerilme yönü doğrudan fiberlerin hacim oranını ve boşlukların oranını etkiler.

Fiber paketlendikten sonra reçine, genelde bir fırında ısıtılarak tam kürlenme işlemi yapılır. Sonrasında mandirel kaldırılır. Çelik mandirelleri çıkarmak için

hidrolik silindirden destek alınır. Daha karmaşıkları için mandirel, yeniden kullanılmayan köpük ya da düşük erime noktasına sahip malzemelerden oluşabilir. Bazı durumlarda, minimum gaz geçirgenliği gerektirdiğinde, astar ayrıca mandirel olarak işlev görebilir ve böylece kaldırmaya gerek duyulmaz (Haider vd., 2007).

5.1.6 Otoklav Kürlenme Yöntemi

Oda sıcaklığında kalıp parçaların geleneksel şekilde kürlenmesinin yanında, Şekil 5.1.6’da gösterilen otoklav kürlende kullanılmaktadır.



Şekil 5.1.6: Otoklav görüntüleri (P. Sreekumar, 2009)

Otoklav kürlenme, açık kalıplama yöntemleri ile kalıplanan bir parçanın inert gaz basınç, ısı ve vakum uygulanarak kürlenmesi işlemidir. Kalıp parça ilk olarak bir vakum pompası ile havası alınmış bir plastik torba içerisine yerleştirilir. Kalıp parçadan uçucu ürünler ve inkilizyonlar uzaklaştırılır. Sonrasında, ısı ve inert gaz basıncı otoklavda uygulanarak malzemenin yoğunlaşması ve kürlenmesi sağlanır (P. Sreekumar, 2009).

5.2 Kapalı Kalıplama Yöntemler

Kapalı kalıp yöntemler, kompozit parçanın iki ya da daha fazla parçanın birleştirilmesi ile bir kalıp boşluğunda üretilen geniş bir üretim alanı sağlar. Kendine

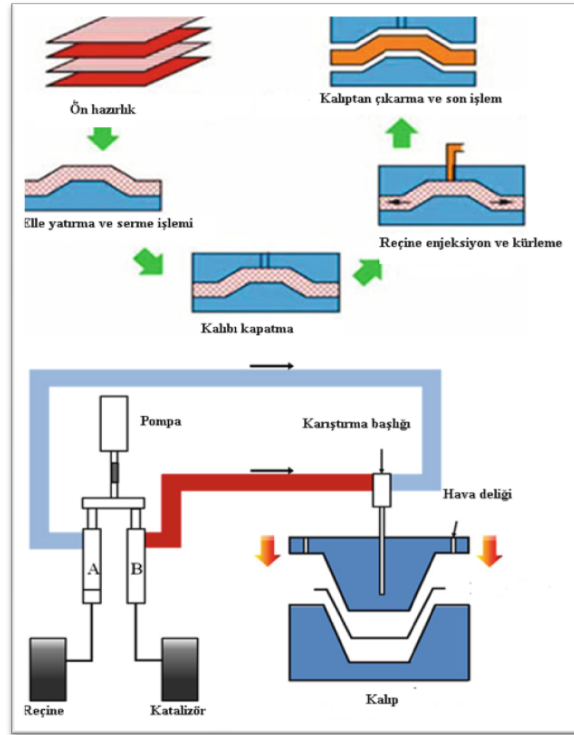
özgü birçok çeşitli kapalı kalıp yöntemi vardır. Bu amaç için kullanılan kapalı kalıp yöntemler basınç kalıp ve sıvı enjeksiyon olarak iki kategoriye ayrılır. Basınç kalıpta kullanılan bu birleşenler, fiber takviye elemanları, dolgular ve kütleme maddelerini kapsar. Yüksek dolgu içeriği, genellikle açık kalıplanmış parçalar için daha yüksek parça yoğunluğuna sebep olur. Birkaç dakikalık çevrim ile yüksek sıcaklık kütleme ve hızlı hidrolik kapalı kalıbın birleşmesi sonucu elde edilir. Çok sayıda parça üretimi için büyük bir sermayenin olması gerekir. Sıvı enjeksiyon kalıp, tepkimeli enjeksiyon kalıp (RIM), yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıp (SRIM) ve reçine transfer kalıp (RTM) işlemleridir. (RIM) tepkimeli enjeksiyon kalıp ve yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıp (SRIM) için içi oyulmuş bir kalıp ile başlar. Tepkimeli enjeksiyon kalıp (RIM) ve yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıp (SRIM) için reçine olarak genel itibariyle üretilen kullanımı sayesinde kaliteli ürünler elde edilir. Sonuç olarak ne basınç kalıp nede (RIM) tepkimeli enjeksiyon kalıp ve yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıp (SRIM) açık kalıp yöntemlere alternatif değildirler. Bunun temel nedeni açık kalıplanmış parçaların sınırlı üretimidir.

Kapalı kalıp yöntemleri arasında en iyi alternatif ise reçine transfer kalıp (RTM) yöntemleridir. Reçine transfer kalıp (RTM) işlemi genel itibariyle açık kalıp parça üretimine çok yakın benzerlikte mukavemet, katlılaşmış/sertleşmiş parçalar üretilir. Çevrim zamanı küçük parçalar için birkaç dakika sürer iken, büyük parçalar için birkaç saattir. Parçanın tasarımına bağlı olarak geniş bir reçine kullanım alanına sahiptir.

5.2.1 Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi

Fiber öncüsüne reçine emdirebilmek için kullanılan işlemdir (Gu vd., 2014). Reçine transfer kalıp (RTM) işleminde, öncü kalıp boşluğuna yerleştirilir. Kalıp kapatılır ve basınç kalıp boşluğuna reçine enjekte edilir. Kalıp içerisindeki öncü genelde vakum altında tutulur. Böylece reçine transfer kalıp (RTM) işleminde hava kabarcıklarını ortadan kaldırılır. Sıvı reçine kalıp boşluğuna doldurulur. Sonrasında kompozitin matrisin oluşturan polimer bir ağı sertleşmesine ve kompozitin kalıptan

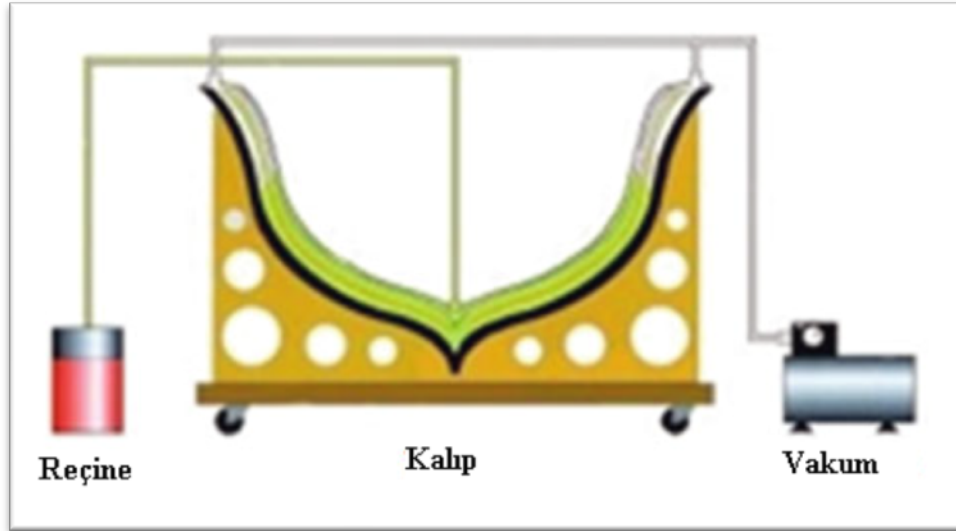
çıkmasını izin verir. Fenolik reçine, polyester, metil metakrilat, vinil ester ve epoksi gibi termoset polimer ile cam fiber, aramid gibi fiberlerin bir birleri ile birleşmesi için kullanılır (Peled vd., 2009; Yun & Lee, 2008). Şekil 5.2.1’de reçine transfer kalıp (RTM) yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 5.2.1: Reçine transfer kalıp işlemi (Peled vd., 2009; Yun & Lee, 2008)

5.2.2 Vakum Destek Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

Vakum destek reçine transfer kalıplama yöntemi (VARTM) kalıp içerisine takviye malzemesi içerisine yerleştirilen üzerine sızdırmaz contalı bir kapak ya da vakum çantası kapatılan tek taraflı kalıplama işlemidir. Şekil 5.2.2’de vakum destek reçine transfer kalıplama işleminin (VARTM) gösterilmiştir.



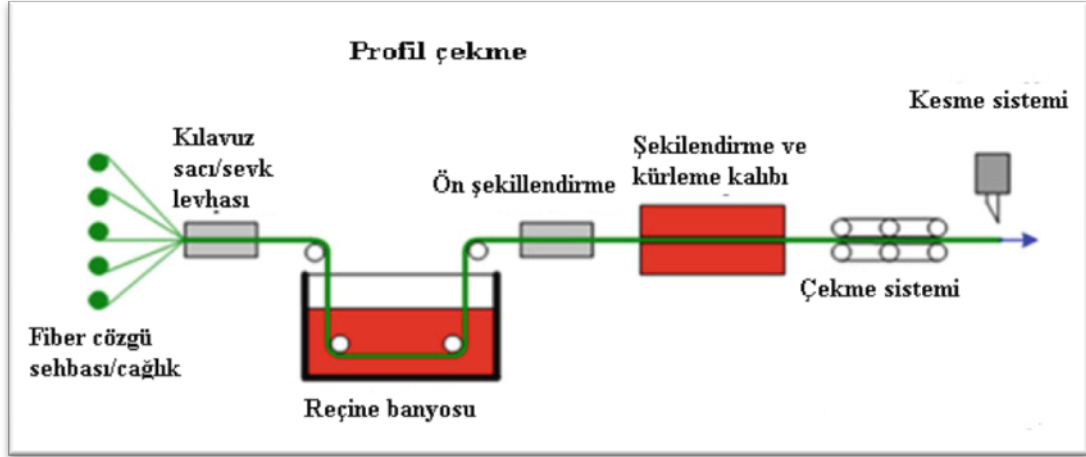
Şekil 5.2.2: Vakum destekli reçine transfer işlemi (Kim vd., 2009)

Orta boyutlu bir meş reçinenin dağılımını korumak kumaşın üzerine sermek için kullanılır. Bu kumaşın amacı panelin kalınlığı boyunca reçinenin akışını kolaylaştırmaktır. Düşük viskoziteli reçine, vakum yardımı ile reçine ve vakum dağılım hatları boyunca ön kalıbın içerisine girer. Vakum destek reçine transfer kalıplama yöntemi (VARTM), ön kalıba transver/yatay yönlerinin yanında düzlemde/yüzey plakasında reçine akışı meydana gelir. Ön kalıbın geçirgenliği, fiberin yapısı ve kumaşın kıvrımı, kumaşın ıslatabilirliğinde önemli bir etkindir (Kim vd., 2009).

Sert kalıp yüzeyine fiberlerin yatırılması ardından fiberler üzerine ince esnek bir mebran serilerek uygulanan yöntem destek reçine transfer kalıplama yöntemi (VARTM) denir. Bunun ile birlikte kalıp aracının çıkış deliklerinin bağlantısına dikkat edilmelidir. Genelde, havacılık endüstrisinde 100 psi (inç kare başına libre) altında reçine enjeksiyon basınç ve sabit boşluk kalıp bir pres kullanılarak sıkıca kapatılır. Çok yüksek fiber hacimli kompozitlere elde edilir. Ancak, kapsülü kuru fiber kalıbı doldurması durumunda 600 psi (inç kare başına libre) kadar çıkarılabilir (Ragheb, 2010).

5.2.3 Profil Çekme Yöntemi

Şekil 5.2.3'te fiber yapısal şekillerinin devamlı bir şekilde çekilmesine profil çekme işlemi gösterilmiştir.

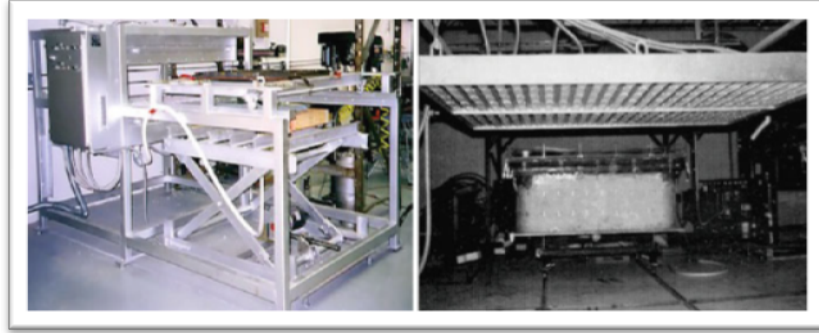


Şekil 5.2.3: Profil çekme işlemi (Akil vd., 2009; Stewart, 2009)

Takviye elemanı fiberler ve reçine karışımı (reçine, dolgular, özel ilaveler) gibi ham malzemelerden oluşur. Sürekli bir çekme cihazının kullanılarak ısıtılmış çelik kalıp boyunca ham malzemelerin çekilmesi esasına dayanır (Akil vd., 2009; Stewart, 2009). Takviye malzemeleri, hasır cam fiber makaraları ya da cam fiber fitil ruloları gibi sürekli formlardan oluşurlar. Kalıp boyunca çekilen ve reçine karışımına doyurulan takviye elemanları, reçineni jelleşmesi kalıptan gelen ısı ile başlar ve kürlenmiş takviye elemanları kalıbın şeklini alır.

5.2.4 Termoform Şekillendirme Yöntemi

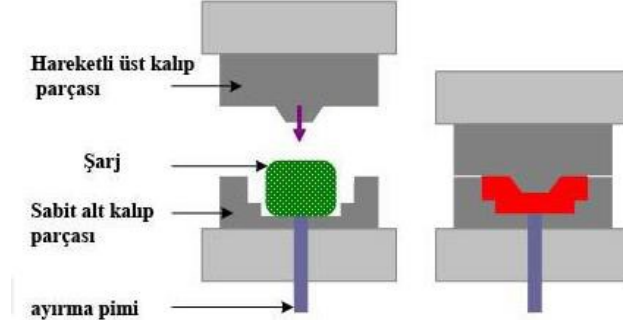
Termoform şekillendirme, basınçlı kuvvet ya da vakum ve ısı kullanılarak bir kalıp yüzeyine plastik sac ya da bir ince tabaka oluşturabilmek için kullanılan kalıplama işlemidir. Bu teknoloji, ilk olarak termoplastik uygulamaları için ortaya çıktı. Bu işlem yukarıdan aşağı doğru akan bir plastik işlemidir. Şekil 5.2.4'te termoform şekillendirme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 5.2.4: Termoform plama yöntemi (Kumar vd., 2014a; R. Liu vd., 2013; Merotte vd., 2010)

5.2.5 Basınç Kalıp Yöntemi

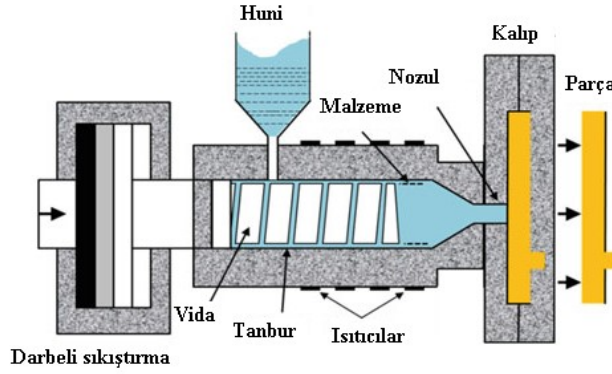
Basınç kalıp, kalıp düzlemine sınırlı hareketli bir pres ile birleştirilen alt ve üst olarak iki yarım kalıptan oluşur. Bu işlemde, polyesterle emdirilmiş kısa fiberlerden epoksi reçine ile emdirilen uzun fiberlere kadar sınırlama olmaksızın üretimi için kullanılır (Kumar vd., 2014a; R. Liu vd., 2013; Merotte vd., 2010). Basınçlı kalıp yöntemi şekil 5.2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2.5: Basınç kalıp yöntemi (Kumar vd., 2014b; G. Liu vd., 2013; Merotte vd., 2010)

5.2.6 Enjeksiyon Kalıp Yöntemi

Kısa fiber takviyeli termoplastik üretimleri için genelde en yaygın kullanılan metotlardan biriside enjeksiyon kalıp yöntemidir. Şekil 5.2.6’da görüldüğü gibi büyük enjeksiyon kalıp makinelerinde üretim gerçekleştirilir.



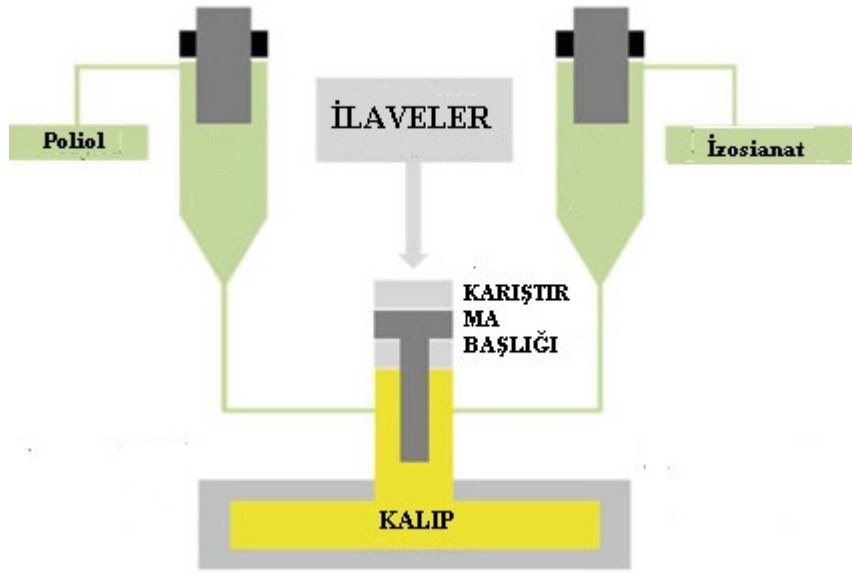
Şekil 5.2.6: Enjeksiyon kalıp işleminin şeması (Y. X. Zhang & Zhang, 2010)

Huni vasıtasıyla reçine makineyi besler. Reçineni arkasından renklendiriciler eklenir. Reçineler bir besleme boğazı vasıtasıyla enjeksiyon tanburuna gönderilirler. Tanbura girdikten sonra uygun bir sıcaklıkta reçineler ısıtılırlar (Y. X. Zhang & Zhang, 2010).

İster önceden karıştırılmış isterse fiziksel bir karışım olarak beslenen fiber/reçine karışımı, huni ile ve önceden ısıtılmış tanburlara aktarılır. Tanbur duvarlarındaki ısı transferi ile malzeme yumuşar. Aynı zamanda, dönel bir vida ile malzemeyi ısıtmak için ileri doğru kaydırılır ve tanbur doldurulur. Erimiş malzeme vidanın dönmesi vidanın önünde toplanır ve daha sonra kanal boyunca kalıp boşluğu içerisine yüksek basınç ile enjekte edilir. Termoplastik kompozitlerin olması durumunda reçineni katılma sıcaklığı altında kalıp soğutulur. Birçok üretim işlemi metotları arasında otomasyon seviyesi yüksek olan bir işlemdir (Morales vd., 2010; Santos vd., 2007).

5.2.7 Tepkimeli Enjeksiyon Kalıp Yöntemi (RIM)

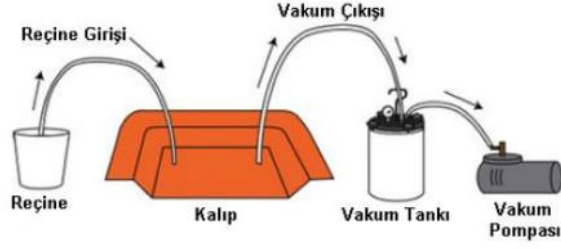
Oligomerik birleşenler ya da yüksek tepkimeli monomerik birleşenler iki tanka yerleştirilirler. Daha sonra hızlı bir şekilde birbirlerine çarpıtılıp karıştırılırlar ve kalıp boşluğuna enjekte edilirler. İki malzeme karışıkça, 5-30 saniye içerisinde bütün hale gelen bir polimer matris oluşturmaya başlar (S.-J. Park, 2015). Tepkimeli enjeksiyon kalıp yöntemi şekil 5.2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2.7: Tepkimeli enjeksiyon kalıp işlemi (S.-J. Park, 2015)

5.2.8 Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum infüzyon yöntemi, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, takviye malzemesi olarak karbon, cam fiber veya aramid (kevlar) kumaşları kullanılırken, matris malzemesi olarak termoset reçineler tercih edilir. Şekil 5.2.8’de vakum infüzyon yöntemi, dört ana bölümden oluşan bir sistem kullanarak çalışır: vakum pompası, vakum tankı (reçine akış tankı), kalıp ve reçine kovası gösterimiştir.



Şekil 5.2.8: Vakum infüzyon yöntemi (Durgun vd., 2014)

Bu yöntemde, öncelikle takviye malzemesi hazırlanır ve bir kalıp üzerine yerleştirilir. Matris malzemesi olan reçine, belirli oranlarda sertleştirici ile karıştırılır ve reçine haznesine konulur.

Daha sonra, kalıp ve reçine haznesi vakum poşeti ile sarılır. Vakum poşeti, kalıbın etrafını tamamen saran hava geçirmez bir şekilde sarılır. Sonrasında, vakum pompa kullanılarak poşet içindeki havanın çekilmesiyle vakum oluşturulur.

Vakum infüzyonu sırasında, oluşan vakum basıncı reçineyi takviye malzemesinin içine çeker. Bu sayede, reçine takviye malzemesinin boşluklarını doldurur ve homojen bir şekilde yayılır. Bu işlem, reçinenin takviye malzemesiyle tam olarak temas etmesini sağlar.

Vakum infüzyonu tamamlandığında, reçine sertleşir ve takviye malzemesiyle birleşerek kompozit malzeme oluşur. Bu yöntem, karmaşık geometriye sahip parçaların üretimini kolaylaştırır ve daha homojen, yüksek mukavemetli kompozit malzemeler elde edilmesini sağlar.

Vakum infüzyon yöntemi, otomotiv, havacılık, denizcilik ve rüzgar enerjisi gibi birçok sektörde kullanılan bir üretim yöntemidir (Durgun vd., 2014)

6. MATERYAL VE METOT

6.1 Karbon Kompozitler İçin Gerekli Olan Malzemeler

6.1.1 Karbon Fiber Kumaşların Özellikleri

Bu çalışma toray T300 karbon filamentler den örülmüş twill (dimi) 245 gr/m² ve plain (düz) yada bez ayağı 200 gr/m² kullanılmıştır. Tablo 6.1.1’de gösterilen toray T300 karbon filamentlerin mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.1.1: Toray T300 karbon filamentlerin mekanik özellikleri

TORAY T300 KARBON FİBER FİLAMENT	
Karbon fiberin çapı	7.0 µm
Yoğunluk	1.75 g/cm ³
Çekme mukavemeti	3530 MPA
Çekme modüllü	230 GPA
Kopma uzaması	%1.5

6.1.2 Jelkot ve Hızlandırıcının Özellikleri

Her türlü kompozit parça üretiminde kullanılabilen ARC 150-N; ahşap kaplamada, şeffaf masa yapımı, küp döküm, süs eşyası yapımı veya sefap zemin kaplaması gibi uygulamalar için geliştirilmiş epoksi reçinedir. Ayrıca sahip olduğu yavaş kuruma ile mükemmel bir şeffaflık oluşturur, sararma yapmaz ve uv direnci yüksektir. Şekil 6.1.2’de epoksi reçinenin kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.1.2: ARC 150-N epoksinin kimyasal özellikleri

ARC 150-N EPOKSİNİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ		
REÇİNE		
Viskozite		1200-1800 mPa
Renk		Şeffaf
Yoğunluk		1,06-1,1 g/ml
SERTLEŞTİRİCİ		
Viskozite		10-15 mPa
Renk		Şeffaf
Yoğunluk		0,92-0,96 g/ml
jelleşme süresi		240-360 dk

6.1.3 Yüzey İşlemleri İçin Gerekli Olan Ekipmanlar

Karbon fiber levhayı kalıptan kolaylıkla çıkarmak ve düzgün bir yüzey elde etmek için Polivaks marka sıvı kalıp ayırıcı 5 ve N tipi vaks kullanılmıştır.

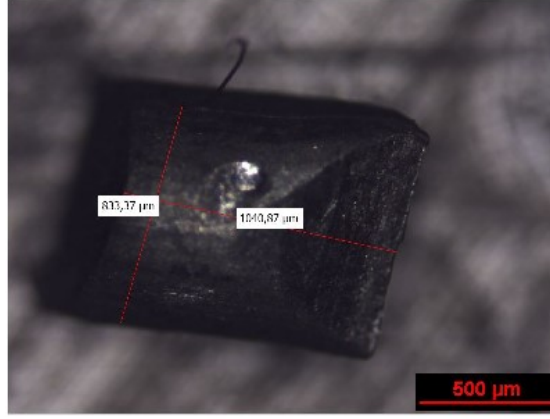
6.1.4 Vakum İnfüzyon Malzemeleri

Vakum infüzyon yöntemiyle karbon kompozit plakaları üretebilmek için aşağıda listelenen malzemeler ve ekipmanları kullanılmıştır.

Ayırma kumaşı olarak bilinen peel ply malzemesi 20, vakum infüzyon akış filesi, vakum poşeti, siral infüzyon hortumu, vakum infüzyon konektörü, vakum İnfüzyon T/L bağlantı, infüzyon macunu, reçine akış deposu, vakum tahliye pompası, delikli naylon

6.1.5 Görüntü Boyutu ve Tozun Şekli

Bir toz şeklinin, uzunluğunun genişliğe oranına görüntü boyutu denir (German, 2016). Şekil 6.1.5’de gösterilen silindirik yapılı gümüşün görüntü boyutu 1,28 dir.



Şekil 6.1.5: Silindirik yapılı gümüşün görüntü boyutu

6.2 Karbon Kompozitlerin Üretim Süreci

42*44 cm boyutlarındaki cam temizlenir. Daha önce planladığı ölçüde kağıt bantlar ile 16*35 cm bir alan açılır. Kompozitlerin yüzey üzerinde makro çatlakların olmaması ve kolay bir şekilde cam yüzeyden kaldırabilmek için, **şekil 6.2**'de gösterildiği gibi vaks dairesel bir şekilde sürülür ve ardından bir bez vasıtası ile cam parlatılır. En az 20 dakika beklenmiştir.



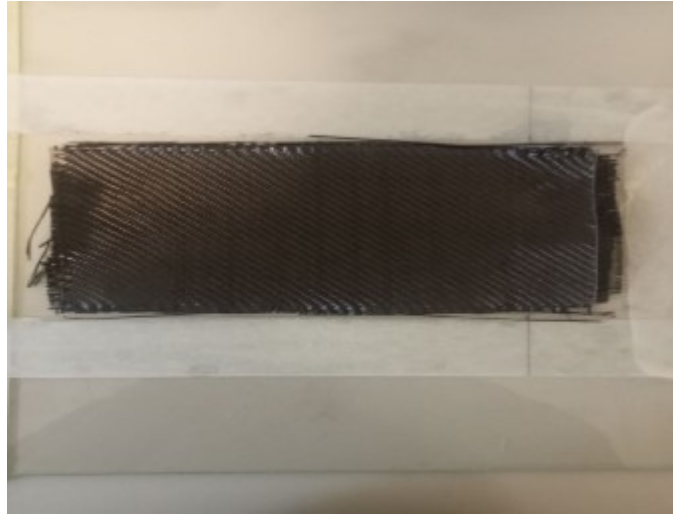
Şekil 6.2: Polivaksın N'nin uygulanması

Şekil 6.3'te gösterildiği gibi polivinil alkol ya da polivaks sünger ile sürülerek ince bir tabaka oluşması sağlanmış ve en az 35 dakika beklenmiştir. Bu işlem 4 defa tekrar edilmiştir.



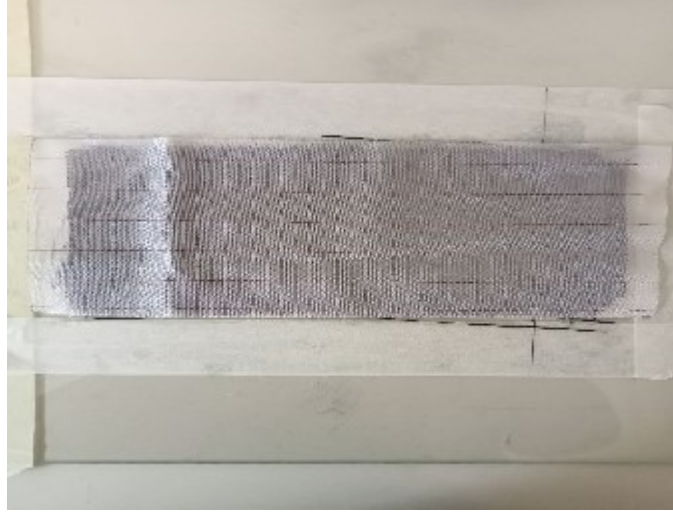
Şekil 6.3: Polivaks sıvının cam'a uygulanması

Şekil 6.4'te gösterildiği cam yüzeye 13*25 cm kesilen dört tabakalı istiflenmiş karbon fiberlerin serimi yapılmıştır.



Şekil 6.4: Karbon fiberlerin serimi

14*28 cm kesilen peel ply (soyma kumaşı), epoksinin kurlenmesi sırasında karbon fiberlerin yüzeyine yapışır, daha sonra kolay bir şekilde çıkartmak ve karbon fiberler düzgün bir yüzey sahip olmasını sağlanmıştır. Bir başka özelliği ise karbon fiber üzerindeki fazla epoksiyi soğurması ya da absorbe edilmesidir. **Şekil 6.5'**te karbon fiberler üzerine serilen peel ply gösterilmiştir.



Şekil 6.5: Peel ply serimi

Şekil 6.6'da gösterilen delikli naylonun görevi işlem sırasında hem hava ve gazların çıkışını hem de sistem den fazla epoksinin uzaklaştırmasını sağlamıştır.



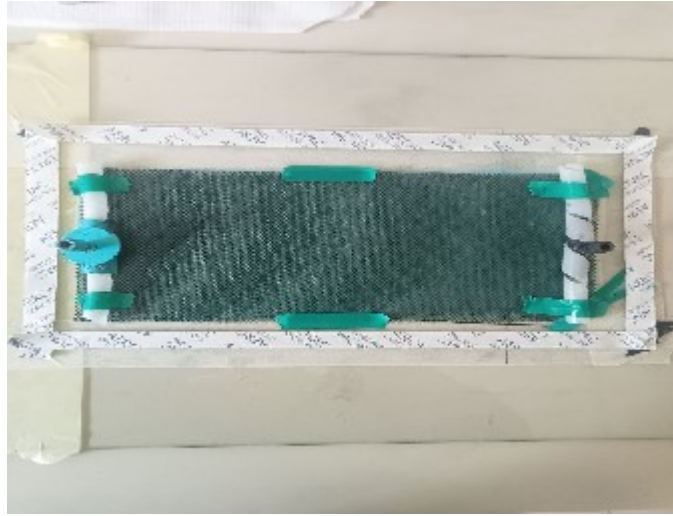
Şekil 6.6: Delikli naylon

Akış filesi epoksinin homojen şekilde dağılımını sağlamak ve sistemden hava ve gazların dışarı aktarılmasına yardımcı olabilmesi için kullanılmıştır. **Şekil 6.7**'de akış filesinin serimi gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Akış filesi

Şekil 6.8’de gösterilen spiral borular akış filesinin genişliği boyunca karşılıklı olarak yerleştirilerek epoksinin karşıya bir hat boyunca ilerlemesini sağlamıştır. Daha sonrada vakum macunu belirlenen alan etrafında vakum poşetlerini tutması için kağıt bantların üzerine yapıştırılmıştır.



Şekil 6.8: Spiral boru, bağlantı elemanları ve vakum macunu

Son adımda, sızdırmazlık sağlayacak vakum naylonu, tüm katmanları tamamen kaplayacak şekilde kalıp yüzeyine sızdırmazlık bandı ile tutturulmuştur. Reçineyi elyaflara aktarabilmek için infüzyon boruları, akış tankıyla bağlantı kurmak üzere yerleştirilmiştir ve Şekil 6.9’da gösterildiği gibi infüzyon sistemi kurulmuştur. Parometrede 610 milimetre civa (mmHg) yani 81.33 kilopascal (kPa) basıncı görene kadar sistemdeki vakum macunu olan yerler kontrol edilmiştir.



Şekil 6.9: Vakum infüzyon sistemi

Katkı malzemesi olmadan, belirtilen miktarlarda reçine ve sertleştirici kullanılarak hazırlanan kompozitler, Şekil 6.10'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Daha sonra, vakum sistemi kullanılarak matris malzemesi hazırlanan sisteme aktarılmıştır.



Şekil 6.10: İlavesiz epoksinin hazırlanması

İlavesiz üretilen kompozitlerden kesilen örnekler ile yakma deneyi yapılarak tam olarak kullanılacak epoksi miktarı ve alaşım elementleri belirlenmiştir. Tablo 6.1.3 ve Tablo 6.1.4'de epoksi ve alaşım elementleri gösterilmiştir.

Şekil 6.1.3: Tabaka sayısına göre epoksinin ve %2 gümüş elementlerinin hazırlanması

Karbon Kompozit	Numune Kodu	Tabaka Sayısı	Kullanılan Epoksi (g)	%2 Gümüş (g)
Twill	T4-2	4	75,21	1,50
	T6-2	6	100	2,00
	T8-2	8	140	2,80
Plain	P4-2	4	75,21	1,50
	P6-2	6	100	2,00
	P8-2	8	140	2,80

Şekil 6.1.4: Tabaka sayısına göre epoksinin ve %4 gümüş elementlerinin hazırlanması

Karbon Kompozit	Numune Kodu	Tabaka Sayısı	Kullanılan Epoksi (g)	%4 Gümüş (g)
Twill	T4-4	4	75,21	3,01
	T6-4	6	100	4,00
	T8-4	8	140	5,60
Plain	P4-4	4	75,21	3,01
	P6-4	6	100	4,00
	P8-4	8	140	5,60

Hazırlanan epoksi ve alaşım elementleri sisteme aktarılmış ve arkasından akış sürekli olarak gözlemlenmiştir ve fiberlerin tamamen epoksi ile kaplandığından emin olunana kadar akış devam etmiştir. Fazla epoksi, çıkış hortumundan akış tankı içindeki bir kaba boşaltılmıştır. Şekil 6.11’de epoksinin karbon fiberleri kapladığı gösterilmiştir.



Şekil 6.11: Karbon fiberlerin epoksi ile kaplanması

Tüm kompozitlerin üretilmesinin ardından, mekanik testler için hassas numune boyutları elde edebilmek ve pürüzlü kesim sonucunda çentik etkisi yaratmamak amacıyla, kompozitler Şekil 6.12'de görüldüğü gibi ASTM standartlarına uygun ölçülerde yarı otomatik mermer kesim makinesi ile kesilmiştir.



Şekil 6.12: Yarı otomatik mermer makinesi ile kesilen örnekler

6.3 Deneylerde İstifade Edilen Ölçüm Araçları

6.3.1 Nevola

Isıl işlem fırını, malzemelerin belirli sıcaklık, süre, ve atmosfer koşullarında kontrollü bir şekilde ısıl işleme tabi tutulduğu bir cihazdır. Bu fırınlar, genellikle metallerin, seramiklerin, plastiklerin veya diğer malzemelerin mekanik, termal veya kimyasal özelliklerini değiştirmek amacıyla kullanılır (Sindel, 2011). Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme bölümüne ait ısıl işlem fırını **şekil 6.3.1**'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.1: Nevola ısıl işlem fırını

6.3.2 Nikon ECLIPSE LV150NL

Şekil 6.3.2'de gösterilen Pamukkale Üniversitesi Teknolojisi Fakültesi Metalurji ve Malzeme mühendisliğine ait optik mikroskobun temel birim özellikleri:

- Tablanın merceğe yaklaşabileceği mesafe: 38 mm (LV-S32 3x2 bir kolon yükseltici ile kullanıldığında: 73 mm)
- İç led aydınlatma güç kaynağı, büyük ve küçük ayar düğmeleri
- Büyük ayar düğmesi: 14 mm aralıklar ile dönme (tork ayarı ile, yeniden odaklanma mekanizması)
- Küçük ayar düğmesi: 0.1 mm aralıklar ile tablayı sağa, sola, ileri ve geri hareket etmeyi sağlar.



Şekil 6.3.2: Optik mikroskop

6.3.3 Zeiss Supra 40VP

SEM, odaklanmış bir elektron demeti kullanarak numune yüzeyinin belirli bir alanını tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur. Yüksek enerjili elektron demeti, katı numune yüzeyine enerji transferi yapar. Bu birincil elektronlar, numunedeki bazı elektronları yerinden oynatır. Yerinden oynayan ikincil elektronlar, bir algılayıcı tarafından toplanarak sinyale dönüştürülür. Şekil 6.3.3'teki SEM'de, elektron demetinin numune yüzeyiyle buluşma açısına bağlı olarak, farklı bölgelerden kopan ikincil elektronların sayısı değişebilir.

Zeiss Supra 40VP, ileri düzey taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknik özellikleri:

- Maksimum Çözünürlük: 1 nanometre (nm)
- Büyütme Aralığı: 12x ile 900,000x arasında değişen geniş bir büyütme aralığı
- İvme Gerilimi: Maksimum 30 kilovolt (kV)
- Elektron Kaynağı: Alan emisyon katodu (Field Emission Cathode) kullanır, bu da yüksek çözünürlük ve parlaklık sağlar.



Şekil 6.3.3: Zeiss Supra 40VP alan emisyon mikroskobu

6.3.4 Hardway WDW-100

Hardway WDW-100 test cihazı ile belirli bir malzemenin mekanik mukavemetini belirlenmesinde oldukça önemlidir. Cihazdan elde edilen sonuçlar; kalite kontrol ve uygun malzeme seçiminde kullanılabilir. Ayrıca cihaz test edilen malzemenin özelliklerini tahmin etmede'de kullanılır. Bu özellikler arasında maksimum uzama veya kesit alanında azalma ve kopma mukavemeti bulunur. Şekil 6.3.4'te gösterilen Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne çekme cihazının teknik özellikleri

Hardway WDW-100 Teknik Özellikler:

- Maksimum Yük: 100 kN.
- Test Gücü Hassasiyeti: $\pm 1\%$.
- Ölçüm Aralığı: Tam ölçeğin 0.04% 'ünden 100% 'üne kadar.
- Yer Değiştirme Çözünürlüğü: 0.01 mm.
- Test Yük Hızı: 0.05 ile 500 mm/dak.

- Etkili Test Alanı: Çekme - 700 mm'ye kadar; Basma - 750 mm'ye kadar.
- Güç Kaynağı: Tek fazlı 220V, 50Hz.
- Boyutlar ve Ağırlık: 700 x 600 x 1950 mm; yaklaşık 450 kg.

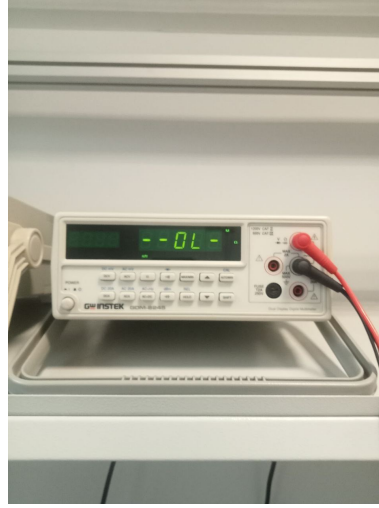


Şekil 6.3.4: Hardway WDW-100 test cihazı

6.3.5 GDM-8245 Çift Ekranlı Dijital Multimetre

Şekil 6.3.5’de gösterilen Pamukkale Üniversitesi Teknolojisi Fakültesi Biyomedikal mühendisliğine ait multimetrenin temel özellikleri:

- 50000 sayım ekranı
- Alternatif akım, doğru akım, direnç, kapasitör, hertz (hz), diyot, sürekli ikaz uyarı tuşları mevcut
- Çift ekranda görülen yazılan yazılar: alternatif akım (ACV) ve hertz ya da doğru akım (DCV) ve desibelmetre (dBm)
- Manuel ve otomatik kademe ayarı
- %0.03 doğru akım hassasiyet ölçümü
- 50 khz üzerinde alternatif akım frekans ölçümü



Şekil 6.3.5: Multimetre

6.3.6 Yarı Otomatik Mermer Kesim Makinesi

Şekil 6.3.6’da gösterilen Denizli birinci sanayi bölgesindeki yıldız granit mermerdeki 1700 mm çalışma genişliği olan mermer kesme cihazının teknik özellikleri:

- Çalışma Kalınlığı: 150 mm
- Çalışma Uzunluğu: 3500 mm
- Tabla Ebatları: 1500x3000 mm
- Testere Çapı: 350-600 mm
- Makine İleri Geri: Lineer Kızak sistemi



Şekil 6.3.6: Mermer kesim cihazı

6.3.7 Gümüş Paladyum Kaplama Cihazı

Şekil 6.3.6’da belirtilen gümüş paladyumun Qorum Q150R ES teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Gümüş ve paladyum kaplama.
- Masaüstü kullanımı için uygun.
- Kullanıcı dostu arayüz ve dokunmatik ekran kontrolü
- Hızlı ve güçlü vakum oluşturma yeteneği.
- Uniform ve yüksek kaliteli kaplamalar.
- Hassas ve tekrarlanabilir kaplama için ayarlanabilir kaplama parametreleri.
- Farklı boyut ve şekillerdeki numuneler için uygun kaplama alanı.



Şekil 6.3.6: Gümüş paladyum kaplama cihazı

6.4 Yakma Deneyi

ASTM D2584 (Amerikan test ve malzeme topluluğu), bir örneğin (numunenin) belirli koşullar altında yakıldığı zaman uçucu maddenin ağırlık yüzdesi olan kürlenmiş takviyeli reçinenin yakma kaybını belirlemek için bir olanak sağlar. Örneğin (numunenin) yakma kaybının ağırlık yüzde hesabı aşağıdaki gibidir.

$$\text{Yakma kaybı, \% ağırlık} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

$$W_1 = \text{Örneğin ilk ağırlığı (g)}$$

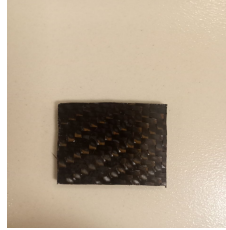
$$W_2 = \text{Örneğin son ağırlığı (g)}$$

Bu tez kapsamında, yakma testi numunelerin yüzde ağırlık kaybı hesaplanmıştır. 25*25 mm boyutlarındaki yakma numuneleri, vakum infüzyon yöntemiyle üretilen kompozitlerden elde edilmiştir. Her bir kompozit plaka için, bu standartlara uygun olarak toplamda üç adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 6.4: Twill dört katlı yakma testi örneği

Numuneler hassas bir terazide tartıldıktan sonra Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümüne ait nevola markalı bir fırında 300 °C sıcaklıkta ve yarım saat boyunca yakılmıştır. Bu sürenin sonunun da numuneler tartılmış ve ağırlık yüzdeleri hesaplanmıştır (Kılıçtek, 2020).



Şekil 6.5:Yakma işlemi sonrası twill dört katlı yakma testi örneği

Yukarıda verilen ağırlık yüzde hesabından yararlanılarak numunelerin yakma deneyi sonrası kalan reçinenin ağırlık yüzdesi hesabı yapılmıştır. Twill dört katlı numune örnek olarak verilmiştir. Buna görede 4, 6 ve 8 tabakalı kompozitler ile devam edilmesine karar verilmiştir. Diğerleri ise Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

$$\text{Yakma kaybı, \% ağırlık} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

$$\text{Yakma kaybı, \% ağırlık} = [(1,16 - 1,11) / 1,16] \times 100$$

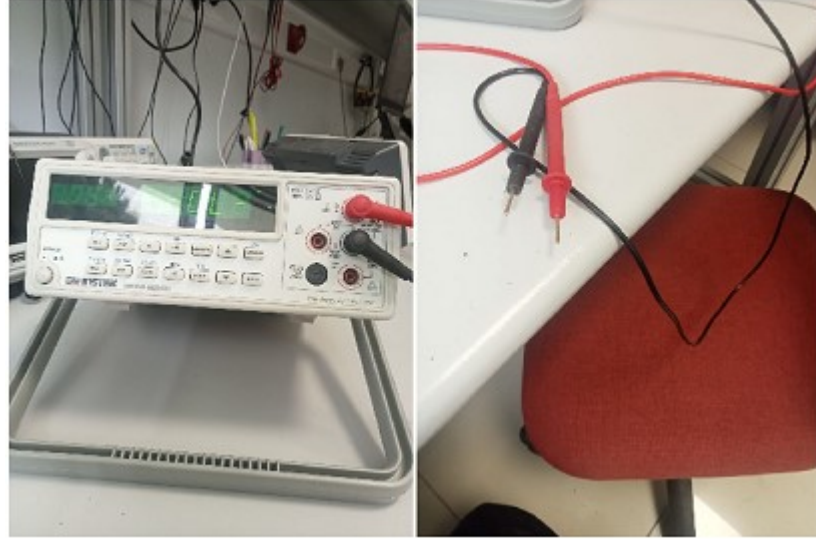
$$\text{Yakma kaybı, \% ağırlık} = 4,31$$

Tablo 6.4: İlavesiz numunelerin yakma kaybı

Numune Ağırlıkları (g)	Numune Kodu	Tabaka Sayısı	W ₁	W ₂	Eksilen	Yakma Kaybı % Ağırlık
Plain	P2	2	0,55	0,51	0,04	7,27
	P4	4	1,05	1,01	0,04	3,81
	P6	6	1,58	1,51	0,07	4,43
	P8	8	1,65	1,58	0,07	4,24
Twill	T2	2	0,42	0,37	0,05	11,90
	T4	4	1,16	1,11	0,05	4,31
	T6	6	1,37	1,32	0,05	3,65
	T8	8	1,58	1,55	0,03	1,90

6.5 Elektriksel Direnç Deneyi

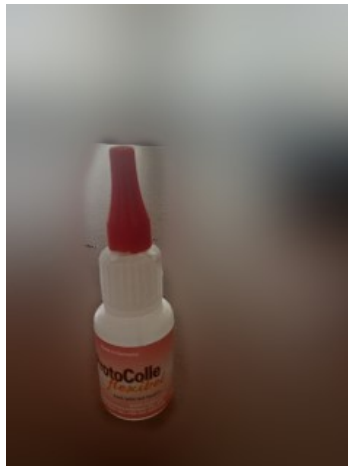
ASTM D257-14 (Amerikan test ve malzeme topluluğu); test metotudu yüzey direnci, hacim direnci, doğru akım yalıtkan direnç ölçümlerini kapsayan prosütürdür. Bu ölçümlerden ve numune ile elektrotların geometrik boyutlarından yola çıkarak, elektrik yalıtım malzemelerinin hem hacimsel hem de yüzey direnci hesaplanabilir. Bunun yanı sıra, ilgili iletkenlik ve iletkenlik değerleri de hesaplanabilir. Ölçüm için daha önceden karar verilen Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesine bağlı Biyomedikal Mühendisliği laboratuvarında ilk olarak belirli mesafelerden matkapla delindikten sonra Şekil 6.5’de gösterilen GDM-8245 multimetre ve multimetre probu EA03 kullanılmıştır.



Şekil 6.5: a)multimetre b)multimetre probu

6.6 Çekme Deneyi

4,6 ve 8 tabakalı kompozitler; ASTM D3039 standartlarına uygun olarak örneklere ayrıldıktan sonra çekme cihazın tutan çeneleri için numunelerin uç kısımlarına en 25mm, boy 50mm ve et kalınlığı 1.5mm olacak şekilde ayarlanmıştır ve daha sonra ayakkabı tamirinde kullanılan raf ömrü 6 ile 12 ay değişen Şekil 6.6'da gösterilen protocolle flexibel yapıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 6.6: Protocolle flexible

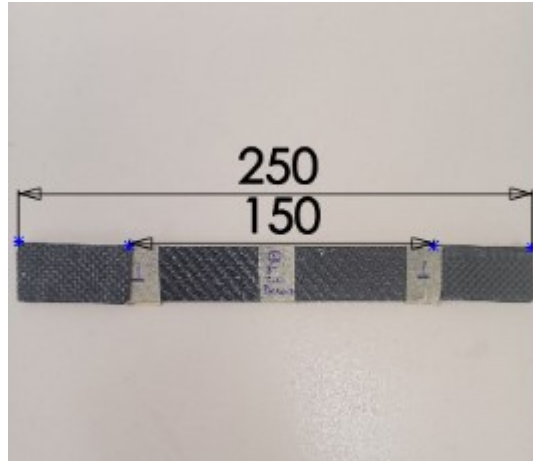
Yapıştırma işleminin ardından kürlenmesini sağlamak amacıyla Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine İmalat bölümüne ait olan takım

tezgahlarındaki mingeneler kullanılmıştır. Şekil 6.7’de numuneler mingenelere bağlanması gösterilmiştir.



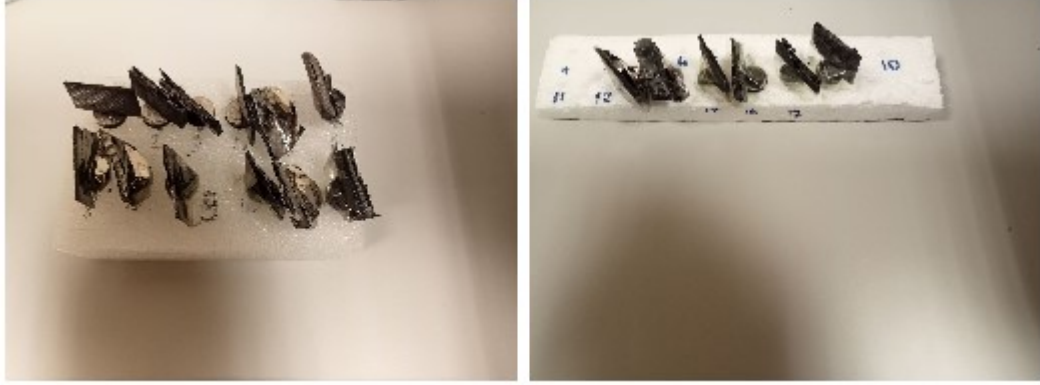
Şekil 6.7: Numunelerin mingenelere bağlanması

İşlem sonrasında numuneler Şekil 6.8’de olduğu gibi hazırlanarak ASTM normlarına uygun hale getirilmiştir.



Şekil 6.8: Çekme testi numunesi

Çekme işlemi sonrası en yüksek değerlilik 18 numuden kesit alındıktan sonra PAULTAM (İleri Teknoloji ve Araştırma Merkezi) de örnekler kaplatılmıştır. Şekil 6.9'da kaplanmış örnekler gösterilmektedir.



Şekil 6.9: Kaplanmış örnekler

7. BULGULAR

Bu bölümde twill ve plain kompozit ikinci takviye malzemesi olarak gümüş ilavesinin çekme ve elektriksel sonuçları değerlendirilmiştir.

7.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Üretilen twill karbon kompozitlerden alınan takviyeli gümüşün üçer adet alınan numunenin kırılma türleri, kopma mukavemeti ve elastis modülleri Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Twill karbon kompozitlerin çekme değerleri ve kırılma türleri

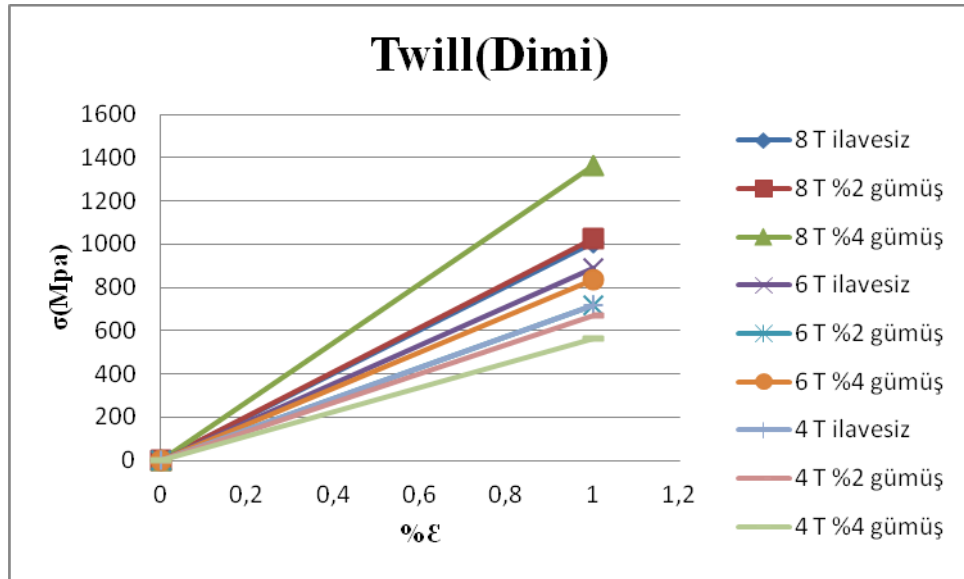
Örgü türü	Numune kodu	Tabaka sayısı	Alaşım elemetleri	Kırılma türü	E(Gpa)	σ (Mpa)
Twill(Dimi)	T8	8	İlavesiz	Alt çeneden	6,66	1009
				Üst çeneden		
				Üst çeneden		
	T8-2	8	%2 gümüş	Üst çeneden	6,66	1025
				Üst çeneden		
				Üst çeneden		
	T8-4	8	%4 gümüş	Ortanın altından	7,66	1361
				Alt çeneden		
				Üst çeneden		
	T6	6	İlavesiz	Ortanın üzerinden	6,66	891
				Üst çeneden		
				Üst çeneden		
	T6-2	6	%2 gümüş	Alt ve üst çeneden	4,66	718
				Deleminasyon		
				Üst çeneden		
	T6-4	6	%4 gümüş	Üst çeneden	5	835
Üst çeneden						
Üst çeneden						
T4	4	İlavesiz	Alt ve üst çeneden	5,66	715	
			Ortadan			
			Üst çeneden			
T4-2	4	%2 gümüş	Ortadan	5,33	672	
			Alt ve üst çeneden			
			Üst çeneden			
T4-4	4	%4 gümüş	Alt ve üst çeneden	7	561	
			Üst çeneden			
			Üst çene ve deleminasyon			

T8 ortalama değerler incelendiğinde kopma mukavemeti en yüksek değeri T8-4 gümüş üç numunenin ortalaması 1360,667 Mpa olarak tespit edilmiştir.

Mukavemet değeri diğerleri ile kıyaslandığında yaklaşık ortalama değerler göz önüne alındığında 300 Mpa olarak bulunmuştur.

T6 tabaka ortalama değerler incelendiğinde kopma mukaveti üç numunenin ortalaması ilavesiz 891 Mpa olarak bulunmuştur. İlavesiz yüksek değere sahip olsada diğerleride birine yakın değerler tespit edilmiştir. İlavesiz yüksek olmasının nedeni ise diğerlerine ilave edilen gümüşlerin üretim esnasında tam olarak homojen şekilde dağıtılamamasıdır.

T4 ortalama değerleri bakılacak olursa yine en yüksek değer 715 Mpa ilavesizler de olduğu görülmekte ancak ikinci sıradaki %2 gümüş ilaveli kompozit üçüncü sıradakine göre yaklaşık 100 Mpa olarak bulunmuştur. T6 kompozitler ile aynı sebebler olduğu tespit edilmiş ve çekme işlemi esnasında bağlamadan kaynaklı olarak değerlerin düşük çekmesine sebebiyet verilmiştir.



Şekil 7.2: Twill kopma dayanım grafiği

Üretilen plain karbon kompozitlerden takviyeli gümüşün üçer adet alınan numunenin kırılma türleri, kopma mukavemeti ve elastis modülleri Tablo 7.3’de gösterilmiştir.

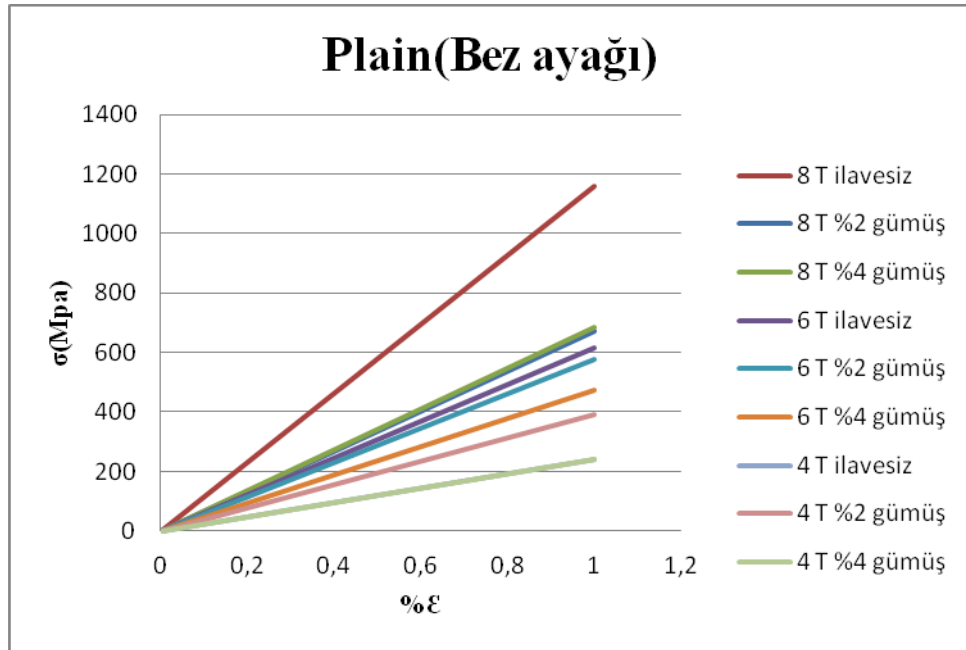
Tablo 7.3: Plain karbon kompozitlerin çekme değerleri ve kırılma türleri

Örgü türü	Numune Kodu	Tabaka sayısı	Alaşım elemetleri	Kırılma türü	E(Gpa)	σ (Mpa)
Plain(Bez ayığı)	P8	8	İlavesiz	Üst çene ve ortanın altından	9	1157
				Üst ve Alt çeneden		
				Üst ve Alt çeneden		
	P8-2	8	%2 gümüş	Ortadan koptu	7	673
				Ortanın altından koptu		
				Üst ve Alt çeneden		
	P8-4	8	%4 gümüş	Ortanın altından koptu	8,66	686
				Alt çene ve ortanın üstünden		
				Deleminasyon		
	P6	6	İlavesiz	Üst ve Alt çeneden	7,66	616
				Üst ve Alt çeneden		
				Alt çeneden		
	P6-2	6	%2 gümüş	Alt çeneden	9	576
				Üst çeneden		
				Alt çeneden		
	P6-4	6	%4 gümüş	Üst çeneden	8,33	474
				Alt çeneden		
				Üst çeneden		
P4	4	İlavesiz	Ortadan koptu	7	239	
			Üst çenenin birz altından			
			Üst çeneden			
P4-2	4	%2 gümüş	Üst çeneden	6,33	393	
			Üst çene ve ortadan			
			Üst çeneden			
P4-4	4	%4 gümüş	Ortanın altından	6,33	241	
			Alt çeneden			
			Alt çeneden			

P8 ortalama değerler incelendiğinde kopma mukavemeti en yüksek ilavesiz yaklaşık 1156 Mpa olarak tayin edilmiştir. Mukavemet değerleri diğerleri ile kıyaslandığında 500 Mpa bir fark ortaya çıkarken 2 gümüş ve 4 gümüş birbirine yakın değerler bulunmuştur.

T6 ortalama kopma mukavemet değerleri incelendiğinde ilavesiz olan ortalama 616 Mpa olarak bulunmuştur. Diğerleri kıyaslandığında ise mukavemet değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

T4 ortalama kopma mukavemet değerleri incelendiğinde ise %2 gümüş ilaveli olarak en yüksek değer yaklaşık 392 Mpa olarak bulunmuştur. Diğerleri ile kıyaslandığında bir birine yakın değerler olduğu grlmştir.



şekil 7.4: Plain kopma dayanım grafiği

Genel olarak bakıldığında belirgin bir akma noktası her iki grafikte görülmemiştir. Bunun sebebi ise çekme esnasında sünek bir davranış göstermeden beklenmedik anda örneklerin kopması esasına dayandırılmaktadır. Netice itibari ile teknik tekstil olarak kullanılan karbon fiberlerin yoğunluğu 245 g/m² dokuma türü

olarak iki ters iki düz olan %4 gümüş 8 tabakalı kompozit olarak bulunmuştur. İkinci sırada ise yoğunluğu 200 g/m² örgü tipi ilavesiz olan plain bulunmuştur. Diğer twill tipi kompozitlerden yüksek değerler elde edemiyişimizin sebebi üretim ve çekme aşamasında yapılan hatalar olduğu varsayılmaktadır.

Yönlere bağlı karbon fiber kompozitlerde mekanik özelliklerini geliştirmeye çalışmışlar.Kosedag ve diğerlerinin (2023) yayınlamış olduğu makalede; vakum infüzyon tekniği ile 8 ve 4 tabakadan oluşan 0⁰ ve 90⁰ tek yönlü fiber oryantasyonlu takviye elemanı ile sırasıyla %0, %0.5, %1, ve %2 ağırlık oranlı Gr ve SiC ilaveli ve ilavesiz kompozitler üretilmiştir. ASTM'ye bağlı çekme, basma ve üç nokta eğme sonuçlarına göre; 2009 Mpa çekme dayanımı 0⁰ oryantasyon fiber takviyeli %2 Gr(grafen) ilaveli, 538.30 Mpa basma dayanımı 0⁰ oryantasyon fiber takviyeli %0.5 SiC ilaveli, 0.848 Mpa çekme dayanımı ilavesizde yüksek olduğu bulunmuştur.

Dimi karbonlara ilave edilen borkarbür mekanik değerleri artmıştır. Muralidhara ve Suresha (2020) yapmış oldukları çalışmada; vakum infüzyon ve elle yatırma yöntemi ile 2 tabakadan oluşan T800 dimi çift yönlü karbon fiber takviyeli hacimsel olarak %1, %3 ve %5 B₄C (borkarbür) ilaveli ve ilavesiz kompozitler hazırlanmış ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. 700 Mpa çekme dayanımı, 700 Mpa eğme dayanımı, 36 Mpa iç tabaka, diğerlerinden daha yüksek sertlik değeri ile hacimse olarak %1 B₄C (borkarbür) olur iken darbe dayanımı 2400 J/m olarak ilavesiz olarak bulunmuştur.

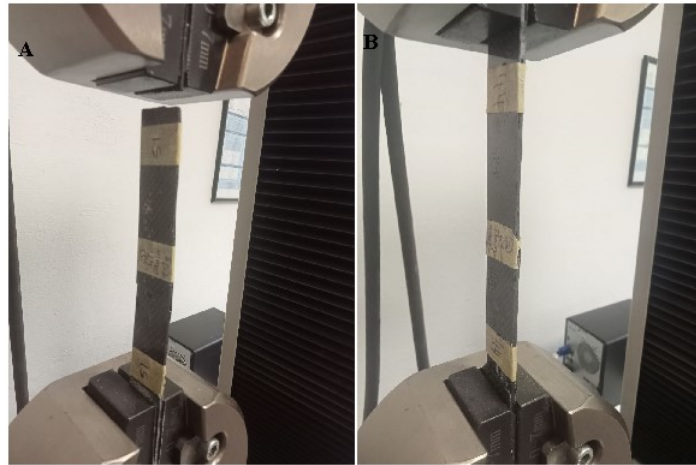
Sehar ve diğerlerinin (2022) ayak protezi üzerine yapmış oldukları çalışmada; elle yatırma yöntemi 2, 4, 6, 10 tabakadan oluşan karbon kompozitler üretilmiştir. ASTM'ye bağlı 2 ve 5 mm/dk farklı çekme yüklerinin en iyi sonuçlar; 5 mm/dk ile 2, 6, 10 tabakalı sırasıyla 254.51, 341.54, 576.07 (N/mm²) olarak tespit edilmiştir.

Ravindran ve diğerleri (2023) nin yapmış oldukları çalışmada, değişik yüzde ağırlıklı nano silika ve fenol formaldehit kompozit ile kaplanmış 5 (PF-F, 1 NS, 2 NS, 3 NS, 4 NS) farklı keten kumaş üretilmiştir. Sonuçlara göre nano silka kırınım piki 2 θ :220 olarak tespit edilmiştir. TGA termogravimetrik analiz ile ileri seviyede termal kararlı olduğu anlaşılmıştır. Mekanik özelliklerde nano silikanın ilavesi ile çekme mukavemeti, modülleri, tokluk ve nihai gerilme gelişmiştir. PF hibrit kompozitlerdeki dielektrik katayısı nano silikanın ilavesi polarizasyonu

kolaylaştırmıştır. Yüksek frekanslarda elektronik polarizasyon AC alternatif akım iletkenliğinde bir artış görülmüştür. 2 NS nin içerisinde bulunan nano silka homojen şekilde dağılmış olduğu için çekme mukavemeti 1 NS(61.26 MPa) göre %61 bir artış görülmüştür.

Sha ve diğerlerinin (2023) yapmış olduğu çalışmada; plazma buhar biriktirme yöntemi ile takviye elemanı karbon fiber, düşey(dik) grafen ile sarılmıştır. Matriks (epoksi) içerisine nano teller ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bir fırça ile matris, takviye elemanına yedirilmiştir. Islak yatırma metodu uygulanmış ve ardından sıcak pressleme yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırmak için ilavesiz kompozitler üretilmiştir. İlavesizlere göre dikey yönde ve iç düzlemde elektrik iletkenliği sırasıyla %38 katın üzerinde ve yaklaşık %39 gelliştiği bulunmuştur. Ancak çekme mukavemetinde herhangi bir gelişme görülmemiş isede eğmede mukavemeti ve dayanımı sırasıyla yaklaşık %13.1 ve %11.6 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; karbon fiber kompozitlerin hibrit iletken nano ilavelerin kullanımının faydalı olduğu bulunmuştur.

ASTM D3039 – D3039M standartlarına kırılma türleri türleri incelenmiş Tablo 7.1 ve Tablo 7.3 teki gibi sınıflandırılmıştır. Twill ve plain tipi kompozitlerin genel itibari ile üst çene ve alt çeneden koptuğu bulunmuştur. Şekil 7.5 te kırılma türleri gösterilmiştir.



Şekil 7.5: Kırılma türleri a) üst çeneden b) alt çeneden

7.2 Elektrisel Direnç Deney Sonuçları

Her bir twill tipi kompozit için beş farklı konumdan elektriksel direnç değerleri Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

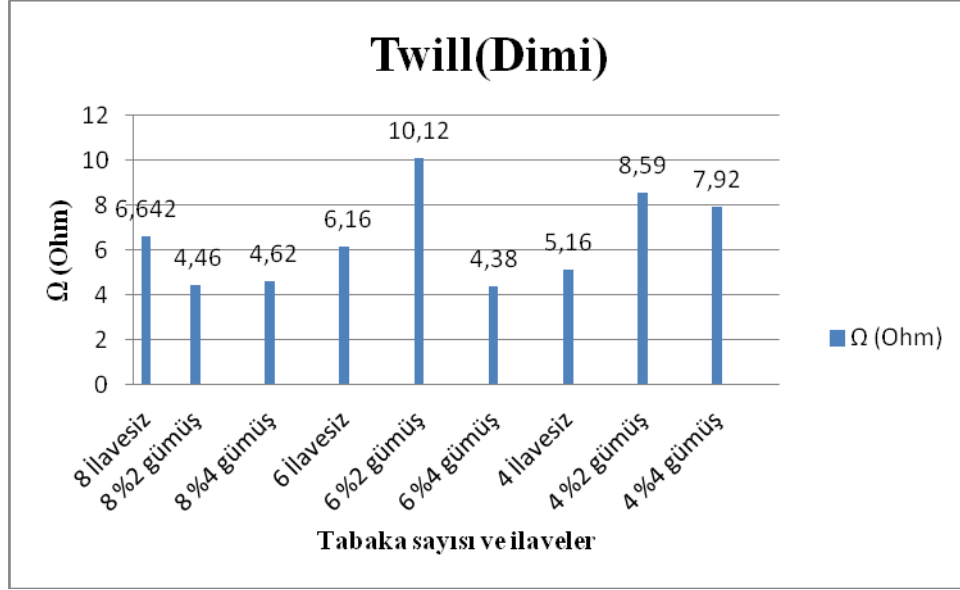
Tablo 7.2: Twill türü kompozitlerin elektriksel direnç değerleri

Örgü türü	Numune Kodu	Tabaka sayısı	Alaşım elementleri	Ölçülen elektrik direnci değerleri (Ω)				
				1	2	3	4	5
Twill(Dimi)	T8	8	İlavesiz	12,17	4,2	4,38	8,24	4,22
	T8-2	8	%2 gümüş	2,55	3,96	5,99	2,77	7,02
	T8-4	8	%4 gümüş	4,44	2,56	4,92	6,73	4,43
	T6	6	İlavesiz	5,8	5,65	4,68	5,5	9,17
	T6-2	6	%2 gümüş	25,65	4,24	4,99	7,84	7,89
	T6-4	6	%4 gümüş	3,38	6,1	4,72	3,75	3,95
	T4	4	İlavesiz	4,21	4,29	3,75	4,55	8,98
	T4-2	4	%2 gümüş	5,77	4,25	18,77	3,85	10,3
	T4-4	4	%4 gümüş	6,42	10,44	8,38	5,91	8,44

T8 ortalama direnç değerlerine bakılacak olunursa en yüksek ilavesiz 6.64 ohm olarak bulunmuştur. Diğerleri ile kıyaslandığında yaklaşık 2 ohm luk artış var.

T6 tabaka ortalama direnç değerlerine bakılacak olunursa %2 gümüş ilaveli 10,12 ohm olarak görülmektedir. İkinci kompozit olan ilavesiz ile kıyaslandığında 4 ohm fazla olduğu tespit edilmiştir.

T4 ortalama direnç değerlerini inceliyecek olursak %2 gümüş ilaveli 8,59 ohm olarak görülmektedir. Diğer kompozitler ile karşılaştırıldığında aralarında önemli bir fark olamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.3: Twill kompozitlerin elektriksel direnç grafiği

Her bir plain tipi kompozit için beş farklı konumdan elektriksel direnç değerleri Tablo 7.4’de gösterilmiştir.

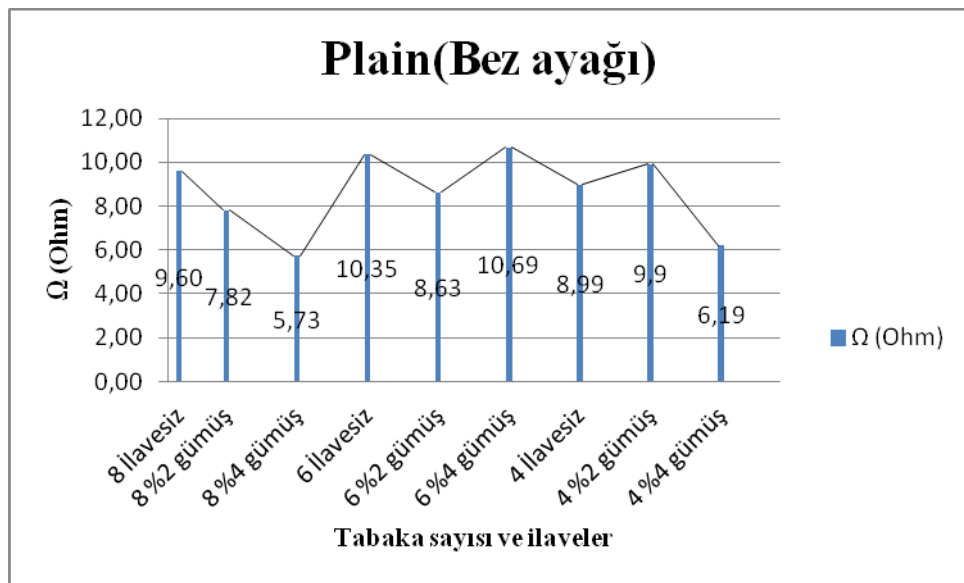
Tablo7.4: Plain türü kompozitlerin elektriksel direnç değerleri

Örgü türü	Numune kodu	Tabaka sayısı	Alaşım elementleri	Ölçülen elektrik direnci değerleri (Ω)				
				1	2	3	4	5
Plain(Bez ayağı)	P8	8	İlavesiz	10,09	8,87	7,75	9,95	11,35
	P8-2	8	%2 gümüş	8,18	7,44	8,75	6,62	8,13
	P8-4	8	%4 gümüş	7,58	5,52	6,26	5,84	3,47
	P6	6	İlavesiz	12,55	11,55	8,04	9,5	10,11
	P6-2	6	%2 gümüş	6,75	9,28	8,07	11,15	7,88
	P6-4	6	%4 gümüş	9,53	10,19	13,03	6,84	13,84
	P4	4	İlavesiz	9,25	8,73	7,45	9,25	10,25
	P4-2	4	%2 gümüş	10,09	10,73	11,73	8,87	8,08
	P4-4	4	%4 gümüş	8,81	5,07	5,43	4,63	7,03

P8 kompozit türleri incelendiğinde ortalama direnç değerleri incelendiğinde ilavesiz 9,6 ohm olduğu görülmüştür. Diğer kompozitlerin direnç değerleri ile kıyasalandığı ise bir birine yakın değerler tespit edilmiştir.

P6 kompozit türleri incelendiğinde ortalama direnç değerleri incelendiğinde %4 gümüş olan 10,69 ohm olduğu görülmüştür. İlavesiz ile bir birine yakın değerler elde edilmiştir.

P4 kompozit türleri ortalama direnç değerleri incelendiğinde %2 gümüş olan 9,9 ohm olduğu görülmektedir.



Şekil 7.4: Plain kompozitlerin elektriksel direnç grafiği

Genel itibari ile T6-4 gümüş olan kompozit 4.38 ohm ile endüşük elektriksel direnç sahip olmuştur. Yani içerisindeki gümüşler bir elektriksel ağ şeklinde düşünüldüğü için elektriği en iyi ileten kompozit olmuştur.

Li ve diğerlerinin (2022) şehir içi raylı sistemlerin pantografik kaymak blokları üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, farklı bakır fiber içeriklerine sahip iğnemsli/karbon (CF-NC/C) kompozitler başarıyla geliştirilmiştir. Ayrı ayrı, %0, %4, %8, %12 ve %16 bakır fiber içeren iğne-kökü numunelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunlar arasından NC/C-8 kompozitlerin sırasıyla yoğunluk, direnç ve mukavemet etkisi 1.68829 g/cm^3 , $40.63 \mu\Omega\cdot\text{m}$ ve 0.13j/cm^2 NC/C-8 e %5 bakır ilavesi ile CF-NC/C-5 aşınma ve sürtünme özelliklerini geliştirmiştir. Sonuç olarak

CF-NC/C kompozitin mükemmel özellikli ideal bir kaygan düzlemsel malzeme olduğu kanıtlanmıştır.

Wang ve diğerleri (2019) nin yapmış oldukları çalışmada, sırasıyla hacimsel olarak %0, %0.1, %0.25, %0.5, %0.75, %1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) takviyeli bakır köpük/reçine kompozitlerinin iletkenlik, mekanik ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Sonuçlara göre çok katmanlı karbon nano tüplerin yüksek özgül yüzey alanı yüzünden kompozitlerin elektrik iletkenliği yani direnci en düşük kompozit hacimsel olarak %1 olmuştur. MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüplerin) sayesinde reçine matris deki çatlak gelişimini engellemiştir. MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüplerin) yalnızca elektrik iletkenliği ve mekanik özellikleri değil aynı zamanda akım taşıma sürtünme testleri esnasında tribolojik davranışları da gelişmiştir.

Ravindran ve diğerleri (2023) nin yapmış oldukları çalışmada, değişik yüzde ağırlıklı nano silika ve fenol formaldehit kompozit ile kaplanmış 5 (PF-F, 1 NS, 2 NS, 3 NS, 4 NS) farklı keten kumaş üretilmiştir. Sonuçlara göre nano silika kırınım piki $2\theta:220$ olarak tespit edilmiştir. TGA termogravimetrik analiz ile ileri seviyede termal kararlı olduğu anlaşılmıştır. Mekanik özelliklerde nano silikanın ilavesi ile çekme mukavemeti, modülleri, tokluk ve nihai gerilme gelişmiştir. PF hibrit kompozitlerdeki dielektrik katayısı nano silikanın ilavesi polarizasyonu kolaylaştırmıştır. Yüksek frekanslarda elektronik polarizasyon AC alternatif akım iletkenliğinde bir artış görülmüştür. 2 NS nin içerisinde bulunan nano silika homojen şekilde dağılmış olduğu için çekme mukavemeti 1 NS(61.26 MPa) göre %61 bir artış görülmüştür.

Alderete ve diğerleri (2023) nin yapmış olduğu çalışma kapsamında; toz metalurjisi ve sıcak eksensiz presleme yolu ile sinterlenmiş, carbon nanotüp takviyeli sırasıyla hacimsel olarak %0.5, %0.75 ve %1 gümüş ve bakır metal matrisli kompozitler hazırlanmıştır. Yapılan ışık, elektron mikroskobu, derinliğe bağlı elektriksel karakterizasyon, yüke bağlı ECR (elektriksel temas direnci) ve yüze yorulma testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre; Bakır tozların gümüşe göre karbon nanotüp üzerinde daha iyi birikmiştir. Gümüş pullu ile oluşturulan ham peletler bol miktarda iç gözenekler gözlenmiştir. Elektrot malzemesi olarak kullanılan karşı

malzemeye göre oldukça yumuşak olduğu, referans malzeme göre tüm üretilen kompozitlerin üstün performans sergilediği tespit edilmiştir.

Bortolussi ve diğerleri (2020) nin yapmış olduğu çalışma kapsamında; Soğuk sprey yöntemi ile karbon fiber takviyeli poliakril eter eter keten ve üç farklı aliminyum sırasıyla; küresel oksitli, küresel oksitsiz ve düzensiz olarak altlığa uygulanmıştır. Sonuç olarak; oksitsiz aliminyum diğerlerine göre daha iyi bir elektrik iletkenliği yani daha düşük bir elektrik direnci olduğu bulunmuş ve netice itibari kaplamaların elektriği iletmediği tespit edilmiştir.

Wang ve diğerlerinin (2020) yayınlamış olduğu çalışmada; (Ag/CCF) gümüş kaplı karbon kırpıntı ve (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojonel bisonel A epoksi incelenmiştir. Dolgu içeriği %7.2 ye ulaştığında (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojonel bisonel A epoksi kompozitin hacimsel direnci $1.69 \times 10^{16} \Omega$ dan $9.51 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ ye düşmüş ve aynı miktarlarda (Ag/CCF) gümüş kaplı karbon kırpıntının hacimsel direnci (Ag/CCF/HEP) gümüş kaplı karbon kırpıntı takviyeli hidrojonel bisonel A epoksi göre daha da az olduğu bulunmuştur.

Dai ve diğerlerinin (2022) yüksek mukavemetli karbon fiber takviyeli sandiviç pantoğraf şeritler, yüksek hızlı demir yolu sistemlerinde çalışmada; elektrik iletkenliği ve mekanik mukaveti iyi olan CFRCS/Cu/CF/penolitik reçine) kompozit üretilmiştir ve ayrıca saf karbon şeritle temas şeritlerin(PCCS) ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre; CFRCS kompozitlerin saf karbon şeritle temas şeritlerin PCCS kompozitlere göre daha iyi mekanik özellik sergilediği gözlenmiştir. (CFRCS/Cu/CF/penolitik reçine) kompozitlerin darbe mukavemeti karbon şeritle temas şeritlerin(PCCS) kompozitlere göre çok daha yüksek ve elektrik iletkenliği daha düşük bulunmuştur.

Feng ve diğerlerinin (2007) karbon nanotüblerin –gümüş-grafittin aşınma ve sürtünme özellikleri basınç üzerine yapmış olduğu çalışmada; Mekanik özelliklerin aşınma basıncı ile artmıştır. Fakat kompozitlerin elektrik direnci basıncının artması ile ilk önce azalmış daha sonra yeniden artmıştır.

Sha ve diğerlerinin (2023) yapmış olduğu çalışmada; plazma buhar biriktirme yöntemi ile takviye elemanı karbon fiber, düşey(dik) grafen ile sarılmıştır. Matriks (epoksi) içerisine nano teller ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bir fırça ile matris, takviye elemanına yedirilmiştir. Islak yatırma metodu uygulanmış ve ardından sıcak pressleme yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırmak için ilavesiz kompozitler üretilmiştir. İlavesizlere göre dikey yönde ve iç düzlemde elektrik iletkenliği sırasıyla %38 katın üzerinde ve yaklaşık %39 gelliştiği bulunmuştur. Ancak çekme mukavetinde herhangi bir gelişme görülmemiş isede eğmede mukavemeti ve dayanımı sırasıyla yaklaşık %13.1 ve %11.6 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; karbon fiber kompozitlerin hibrit iletken nano ilavelerin kullanımının faydalı olduğu bulunmuştur.

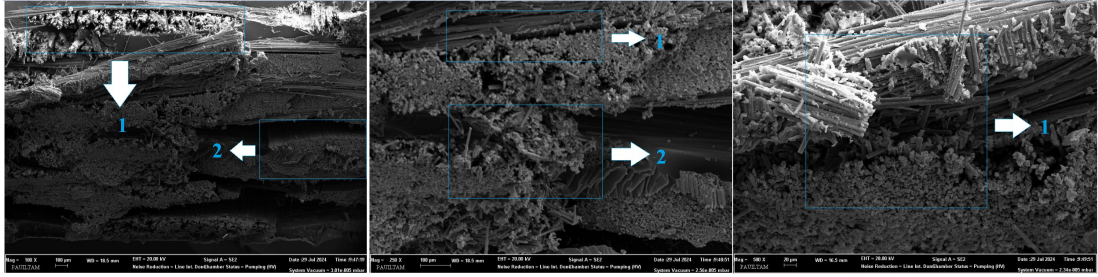
Magdee ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu çalışmada; elektro sarım tekniği kullanılarak, aktif karbon takviyeli, (PAN) poliyaknitrit ve gümüş takviyeli kompozit üretilmiştir. Gümüşün hacimce oranı %8 seçilmiştir. Aktif karbonun hacimce oranı sırasıyla; %0, %1, %2, %3, %4, %5 olarak belirlenmiştir. Aktif karbonun %5 çıkması ile vizkozite hızlı şekilde 36 Pa.s düşmüştür. Ayrıca sarım solüsyonunun iletkenliği 540 den 139 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e kadar düşmüştür.

Audoit ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu çalışmada; karbon fiber takviyeli ve matriks olarakta poliakril eter keton kullanılmıştır. Gümüş nano ilavesi hacimce %0.5 ve %4 aralığında kullanılmıştır. Düşük gümüş içeriği elektrik iletkenliği artırırken %3 ve %4 aralığında iletkenliği etkisi olmamıştır.

7.3 FESEM Görüntü Analizleri ve EDS İç Yapı Analizleri

Arayüzeyin salması (desorption) ile çok fazla kırılma enerjisi tüketerek demet şeklindeki liflerin ayrılması işlemine kırılma özelliği denir.

Plain 8 tabaka ilavesiz'e ait kırık yüzeylerin mikro yapıları incelenmiştir. 100, 250 ve 500 kat büyütme yapılmış mikro yapılar şekil 8'de gösterilmiştir.



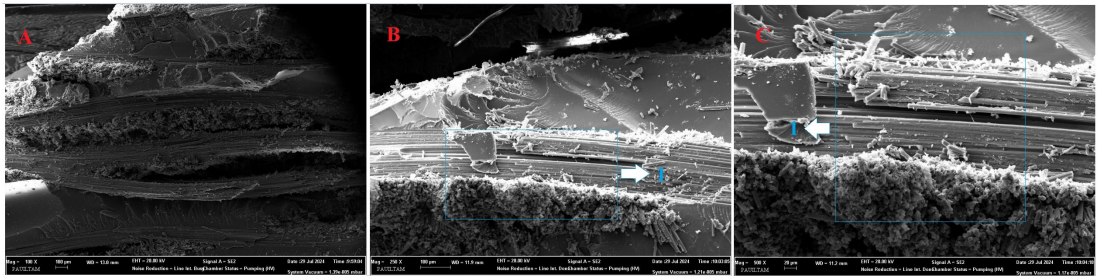
Şekil 7.3: 8 tabakalı ilavesiz a) 100 kat, b) 250 kat c) 500 kat

100 kat büyütmede, 1 numurla bölgeye bakılacak olunursa lifler arasında boşluklar var ve aynı zamanda liflerin epoksi ayrılma durumu söz konusu 2 numaralı bölgede ise y yönünde liflerin sıkı bir şekilde olması durumu görülmektedir.

250 kat büyütmeye bakılacak olunursa, 1 bölgede lif kırılmaları mevcut 2 bölgede ise liflerin epoksiden ayrılması görülmekte

500 kat büyütmede ise reçine artıkları ve x yönünde lif demetlerin kopması görülmektedir.

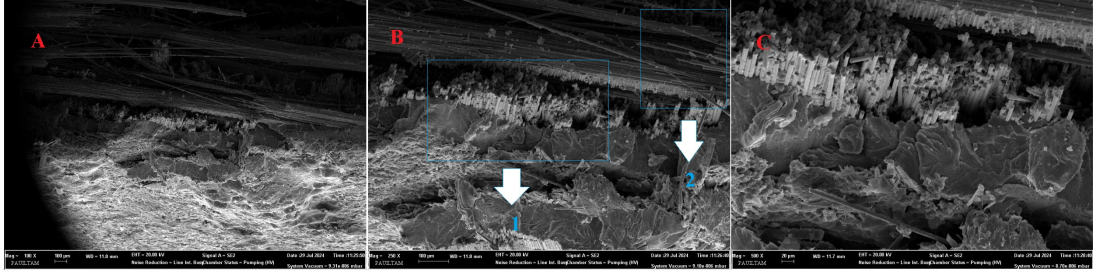
Plain 8 tabaka %4 gümüş ait FESEM analizi görüntüleri Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4: 8 tabakalı %4 gümüş ilaveli a) 100 kat, b) 250 kat c) 500 kat

100 kat büyütmede homojen bir yapı görülmektedir. 250 kat büyütmede x yönünde liflerin reçineden ayrılması y bakılacak olunursa lifler reçineye gömülü olduğu görülmektedir. 500 kat büyütmede reçine artıkları vardır.

Twill 8 tabaka ilavesiz ait kırık yüzeyin 100 kat, 250 kat ve 500 kat mikro yapıları Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



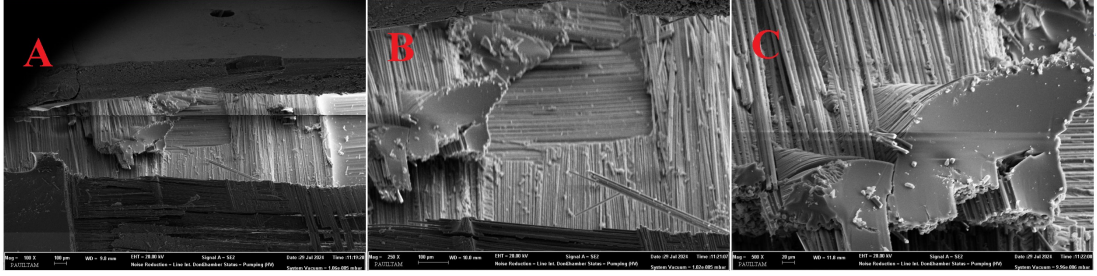
Şekil 7.5: Twill 8 tabakalı ilavesiz a) 100 kat, b) 250 kat c) 500 kat

100 kat büyütmede kısmi olarak numune reçine kaplı iken diğer yarısı delemantasyon yani tabakalar arası ayrılmalar mevcut.

250 kat büyütmede 1. bölgede x yönünde liflerin reçineden sıyrılması söz konusu. bölgede ise y yönünde yani reçineden liflerin sıyrılması söz konusu

500 kat büyütmede lifler arası sıkı bir şekilde görülsede yer yer boşluklar görülmektedir.

Twill 8 tabaka %4 gümüş ait FESEM analizi görüntüleri Şekil 7.6’da gösterilmiştir.

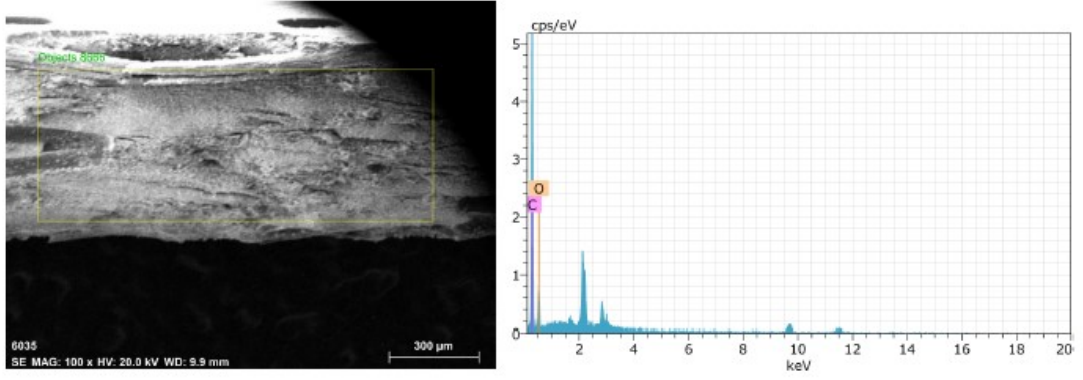


Şekil 7.6: 8 tabakalı %4 gümüş ilaveli a) 100 kat, b) 250 kat c) 500 kat

100,250 ve 500 kat büyütmelerde liflerin reçineden sıyrılmaları görülmektedir. Ayrıca 500 kat büyütmede reçine kalıntıları mevcuttur.

(EDS) Enerji dağılımlı spektrometri ile katkılı ve katkısız karbon kompozitlerin içerisindeki bulunan elementlerin sayısal verileri tespit edilmiştir.

8 tabaka plain ilavesiz EDS analizi Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7: 8 tabaka plain EDS görüntüsü

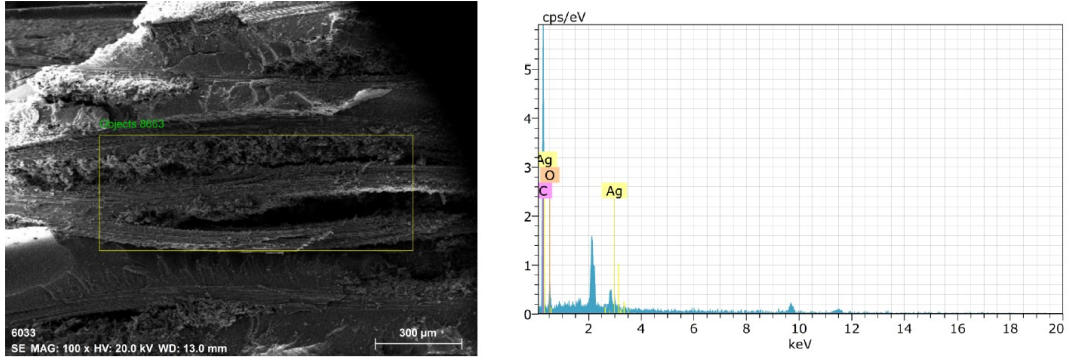
Plain 8 tabaka ilavesizden alınan EDS analizlerine göre karbon, oksijen tespit edilmiştir. EDS analizden çıkan yüzdeler Şekil 7.8 gösterilmiştir.

Spectrum: Objects 8666

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	72.50	72.50	77.83	10.22
O	8	K-series	27.50	27.50	22.17	5.73
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 7.8: 8 tabaka plain yüzdeler

8 tabaka plain %4 gümüş ilaveli kompozit numunenin EDS analizi Şekil 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.9: 8 tabaka plain %4 gümüş ilaveli EDS görüntüsü

Plain 8 tabaka % 4 gümüş takviyeli kompozitten alınan EDS analizlerine göre karbon, oksijen ve gümüş tespit edilmiştir. EDS analizden çıkan yüzdeler Şekil 7.10’da gösterilmiştir.

Spectrum: Objects 8663

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	76.45	76.45	82.23	11.55
O	8	K-series	21.73	21.73	17.55	5.79
Ag	47	L-series	1.82	1.82	0.22	0.16
Total:			100.00	100.00	100.00	

Şekil 7.10: 8 tabaka plain %4 gümüş ilaveli kompozitin yüzdeler değeri

Twill tipi kompozit örneklerinin dokuma türünden kaynaklı (EDS) Enerji dağılımlı spektrometri analizleri yapılamamıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tabakalı hibrit kompozitlerin üretiminde twill ve plain tipi karbon lifleri kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak ise epoksi reçine seçilmiştir. ve ikinci takviye malzemesi olarak gümüş tercih edilmiştir. Vakum infüzyon ile üretilen 2, 4, 6 ve 8 tabakalı kompozitlere her biri için ilavesiz, %2 gümüş ve %4 gümüş takviye elemanı kullanılmıştır. Bu kompozitleri mekanik özelliklerini belirlemek gayesi ile yakma, elektriksel direnç ve çekme işlemleri yapılmıştır. SEM ve EDS görüntüleriyle desteklenmiştir.

Deney verileri ve elde edilen sonuçlar

- Yakma kaybı deney verileri göre plain 2, 4, 6 ve 8 tabakada sırasıyla %7.27, %3.81, %4.43 ve %4.24 olarak twill 2, 4, 6 ve 8 tabakada sırasıyla %11.90, %4.31, %3.65, %1.9 olarak bulunmuştur.
- Netice itibari ile teknik tekstil olarak kullanılan karbon fiberlerin yoğunluğu 245 g/m² dokuma türü olarak iki ters iki düz olan %4 gümüş 8 tabakalı kompozit olarak bulunmuştur. İkinci sırada ise yoğunluğu 200 g/m² örgü tipi ilavesiz olan plain bulunmuştur. Diğer twill tipi kompozitlerden yüksek değerler elde edemiyişimizin sebebi üretim ve çekme aşamasında yapılan hatalar olduğu varsayılmaktadır.
- Sonuç olarak 6 tabakalı %4 gümüş olan kompozit 4.38 ohm ile endüşük elektriksel direnç sahip olmuştur. Yani içerisindeki gümüşler bir elektrisel ağ şeklinde düşünüldüğü için elektriği en iyi ileten kompozit olmuştur.
- Yapılan çekme deneyi sonucunda twill ve plain tipi kompozitlerin genel itibari ile üst çene ve alt çeneden koptuğu bulunmuştur.
- İkinci takviye olarak kullanılan gümüşün görünütü boyutu ve şekli kompozitlerin elektriksel dirençini kısmende olsa etkilemiştir. Ancak çekme mukavvetinde twill 8 tabaka haricindeki kompozitlerde bir artışa rastlanmamıştır. Yani her iki grafiktede bir birine yakın değerler görülmüştür.
- SEM görüntülerine bakılacak olursa ara yüzey mekanizması olarak oluşan; lif kırılmaları, reçine artıkları, delamimasyon yani katmanlar arası ayrılmalar,

pull out yani liflerin reçineden sıyrılmaları ve boşluk olması durumunda elektriksel direnç artmasına neden olacaktır.

- EDS analizine göre 8 tabaka plain ilaveli ve ilavesiz analizleri sonucunda karbon, oksijen ve gümüş tespit edilirken twill tipi kompozitlerde dokuma türünden kaynaklı analizler yapılamamıştır.
- Karbon kompozitlere gümüş ilavesi yaparak elektriksel anizotropik yani yöne bağlı elektrik iletkenliğini iyileştirmek gayesi ile tüm yönlerde aynı iletimi sağlayarak yapısal alanlarda, havacılık endüstrisi, biyomedikal uygulamalarında, uydu haberleşme sistemleri, baskı devre elemanı ve bread board gibi elektronik sanayinde kullanılması amaçlanmıştır.
- İncelenilen arayüzlerin bir termistör (direnç sensörü) görevi gördüğü görülmüştür.
- Çekme mukavemeti verilerine dayanarak twill dokumalı kompozitlerin ıslanabilirlik özelliği yani reçinenin karbon liflere iyi bir şekilde nüfus ederek plainlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

9. KAYNAKLAR

- Afrouzian, A., Movahhedi Aleni, H., Liaghat, G., & Ahmadi, H. (2017). Effect of nano-particles on the tensile, flexural and perforation properties of the glass/epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(12), 900-916. <https://doi.org/10.1177/0731684417694753>
- Agari, Y., & Uno, T. (1986). Estimation on thermal conductivities of filled polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 32(7), 5705-5712.
- Akil, H. M., Cheng, L. W., Ishak, Z. M., Bakar, A. A., & Abd Rahman, M. A. (2009). Water absorption study on pultruded jute fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 69(11-12), 1942-1948.
- Alderete, B., Mücklich, F., & Suarez, S. (2023). Electrical Characterization of Carbon Nanotube Reinforced Silver and Copper Composites for Switching Contacts. *Journal of Composites Science*, 7(7), 284.
- Araujo, Fft., & Rosenberg, H. M. (1976). The thermal conductivity of epoxy-resin/metal-powder composite materials from 1.7 to 300K. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 9(4), 665.
- Arellano, M. T., Crouzeix, L., Douchin, B., Collombet, F., Moreno, H. H., & Velázquez, J. G. (2010). Strain field measurement of filament-wound composites at ± 55 using digital image correlation: An approach for unit cells employing flat specimens. *Composite Structures*, 92(10), 2457-2464.
- Audoit, J., Cortes, L. Q., Racagel, S., Lonjon, A., Dantras, E., & Lacabanne, C. (2019). Conductive sizing for improving electrical conductivity of carbon fiber/polyaryl ether ketone/AgNWs composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(34), 47872. <https://doi.org/10.1002/app.47872>
- Baker, A. A. (2004). *Composite materials for aircraft structures*. AIAA.
- Barton, J. M., Hamerton, I., Jones, J. R., & Stedman, J. C. (1996). Mechanical properties of tough, high temperature carbon fibre composites from novel functionalized aryl cyanate ester polymers. *Polymer*, 37(20), 4519-4528.
- Betts, D. N., Salo, A. I., Bowen, C. R., & Kim, H. A. (2010). Characterisation and modelling of the cured shapes of arbitrary layup bistable composite laminates. *Composite Structures*, 92(7), 1694-1700.
- Bigg, D. M. (1979). Mechanical, thermal, and electrical properties of metal fiber-filled polymer composites. *Polymer Engineering & Science*, 19(16), 1188-1192.

- Bigg, D. M. (1986). Thermally conductive polymer compositions. *Polymer composites*, 7(3), 125-140.
- Bigg, D. M., & Bradbury, E. J. (1981). Conductive polymeric composites from short conductive fibers. *Conductive Polymers*, 23-38.
- Bilge, K., Venkataraman, S., Menciloglu, Y. Z., & Papila, M. (2014). Global and local nanofibrous interlayer toughened composites for higher in-plane strength. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 58, 73-76.
- Bishay, I. K., Abd-El-Messieh, S. L., & Mansour, S. H. (2011). Electrical, mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride composites filled with aluminum powder. *Materials & Design*, 32(1), 62-68.
- Bortolussi, V., Figliuzzi, B., Willot, F., Faessel, M., & Jeandin, M. (2020). Electrical conductivity of metal-polymer cold spray composite coatings onto carbon fiber-reinforced polymer. *Journal of Thermal Spray Technology*, 29, 642-656.
- Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Gehin, E., & Majeste, J.-C. (2004). Thermophysical properties of polypropylene/aluminum composites. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 42(4), 722-732.
- Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Majesté, J. C., & Géhin, E. (2005). Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11), 1545-1554.
- Broyles, N. S., Verghese, K. N. E., Davis, S. V., Li, H., Davis, R. M., Lesko, J. J., & Riffle, J. S. (1998). Fatigue performance of carbon fibre/vinyl ester composites: The effect of two dissimilar polymeric sizing agents. *Polymer*, 39(15), 3417-3424.
- Carneiro, O. S., Covas, J. A., Bernardo, C. A., Caldeira, G., Van Hattum, F. W. J., Ting, J.-M., Alig, R. L., & Lake, M. L. (1998). Production and assessment of polycarbonate composites reinforced with vapour-grown carbon fibres. *Composites Science and Technology*, 58(3-4), 401-407.
- Chen, W., Yu, Y., Li, P., Wang, C., Zhou, T., & Yang, X. (2007). Effect of new epoxy matrix for T800 carbon fiber/epoxy filament wound composites. *Composites Science and Technology*, 67(11-12), 2261-2270.
- Chung, D. D., & Chung, D. (2012). *Carbon fiber composites*. Elsevier.
- Chung, D. D. L. (2017). Carbon-Matrix Composites. İçinde *Carbon Composites* (ss. 387-466). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804459-9.00007-5>

- Chung, K., & Seferis, J. C. (2001). Evaluation of thermal degradation on carbon fiber/cyanate ester composites. *Polymer degradation and stability*, 71(3), 425-434.
- Chung, S. I., Im, Y. G., Jeong, H. D., & Nakagawa, T. (2003). The effects of metal filler on the characteristics of casting resin for semi-metallic soft tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 134(1), 26-34.
- Dai, E., Li, G., Lu, G., Wang, W., Han, Z., Song, Z., Zhang, Q., Yuan, H., & Zhang, X. (2022). Tribological behavior and wear mechanism of Cu/CF/phenolic resin sandwich composites under current. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5_suppl), 8983S-8999S. <https://doi.org/10.1177/1528083720966697>
- Danes, F., Garnier, B., & Dupuis, T. (2003). Predicting, measuring, and tailoring the transverse thermal conductivity of composites from polymer matrix and metal filler. *International Journal of Thermophysics*, 24, 771-784.
- Davies, I. J., & Rawlings, R. D. (1999). Mechanical properties in compression of CVI-densified porous carbon/carbon composite. *Composites science and technology*, 59(1), 97-104.
- De Araujo, F.F.T., Garrett, K.W., and Rosenberg... - Google Akademik. (t.y.). Geliş tarihi 10 Ocak 2024, gönderen https://scholar.google.com.ly/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=De+Araujo%2C+F.F.T.%2C+Garrett%2C+K.W.%2C+and+Rosenberg%2C+H.M.+%281976%29+Presented+at+ICCM+Proceedings+of+the+International+Conference+on+Composite+Materials.+vol.+2%2C+p.+568.&btnG=
- Deka, L. J., Bartus, S. D., & Vaidya, U. K. (2009). Multi-site impact response of S2-glass/epoxy composite laminates. *Composites Science and Technology*, 69(6), 725-735.
- Dong, W., Liu, H.-C., Park, S.-J., & Jin, F.-L. (2014). Fracture toughness improvement of epoxy resins with short carbon fibers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1220-1222.
- Duchoslav, J., Unterweger, C., Steinberger, R., Fürst, C., & Stifter, D. (2016). Investigation on the thermo-oxidative stability of carbon fiber sizings for application in thermoplastic composites. *Polymer Degradation and Stability*, 125, 33-42.
- Durgun, İ., Vatansever, O., Ertan, R., & Yavuz, N. (2014). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kompozit Parça İmalat Yöntemlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Engineer & the Machinery Magazine*, 649.

- El Mahi, A., Assarar, M., Sefrani, Y., & Berthelot, J.-M. (2008). Damping analysis of orthotropic composite materials and laminates. *Composites Part B: Engineering*, 39(7-8), 1069-1076.
- Erklig, A., Jabbar, A., & Alsaadi, M. (2016). Tensile and flexural behavior of nano-silica modified carbon/Kevlar hybrid composites. *International Conference on Advanced Technology & Sciences, September*, 01-03.
- Faraz, A., Biermann, D., & Weinert, K. (2009). Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(15), 1185-1196.
- Feng, N., Wang, X., & Wu, D. (2013). Surface modification of recycled carbon fiber and its reinforcement effect on nylon 6 composites: Mechanical properties, morphology and crystallization behaviors. *Current Applied Physics*, 13(9), 2038-2050.
- Feng, Y., Wang, J., Zhang, M., & Xu, Y. (2007). The influence of pressure on the electrical tribology of carbon nanotube–silver–graphite composite. *Journal of Materials Science*, 42(23), 9700-9706. <https://doi.org/10.1007/s10853-007-1939-5>
- Feraboli, P., Cleveland, T., Stickler, P., & Halpin, J. (2010). Stochastic laminate analogy for simulating the variability in modulus of discontinuous composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(4), 557-570.
- Fernandez, B., Arbelaiz, A., Diaz, E., & Mondragon, I. (2004). Influence of polyethersulfone modification of a tetrafunctional epoxy matrix on the fracture behavior of composite laminates based on woven carbon fibers. *Polymer composites*, 25(5), 480-488.
- Filip, C., Garnier, B., & Danes, F. (2007). *Effective conductivity of a composite in a primitive tetragonal lattice of highly conducting spheres in resistive thermal contact with the isolating matrix.*
- Fitzer, E., & Manocha, L. M. (1998). *Carbon reinforcements and carbon/carbon composites*. Springer Science & Business Media.
- Fitzer, E., Manocha, L. M., Fitzer, E., & Manocha, L. M. (1998). Microstructure of carbon/carbon composites. *Carbon reinforcements and carbon/carbon composites*, 148-189.
- Garnier, B., Dupuis, T., Gilles, J., Bardon, J. P., & Danes, F. (2002). Thermal contact resistance between matrix and particle in composite materials measured by a

thermal microscopic method using a semi-intrinsic thermocouple.
International Heat Transfer Conference Digital Library.

- Gebhard, A., Bayerl, T., Schlarb, A. K., & Friedrich, K. (2009). Galvanic corrosion of polyacrylnitrile (PAN) and pitch based short carbon fibres in polyetheretherketone (PEEK) composites. *Corrosion science*, 51(11), 2524-2528.
- German, R. M. (2016). *Particulate Composites: Fundamentals and Applications*. Springer.
- Gu, Y., Tan, X., Yang, Z., & Zhang, Z. (2014). Hot compaction and mechanical properties of ramie fabric/epoxy composite fabricated using vacuum assisted resin infusion molding. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 852-861.
- Gungor, A. (2006). The physical and mechanical properties of polymer composites filled with Fe-powder. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5), 2438-2442.
- Haider, M., Hubert, P., & Lessard, L. (2007). An experimental investigation of class A surface finish of composites made by the resin transfer molding process. *Composites Science and Technology*, 67(15-16), 3176-3186.
- Hamilton, R. L., & Crosser, O. K. (1962). Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1(3), 187-191. <https://doi.org/10.1021/i160003a005>
- Hansen, D., & Tomkiewicz, R. (1975). Heat conduction in metal-filled polymers: The role of particle size, shape, and orientation. *Polymer Engineering & Science*, 15(5), 353-356. <https://doi.org/10.1002/pen.760150506>
- Hertel, D., Valette, R., & Münstedt, H. (2008). Three-dimensional entrance flow of a low-density polyethylene (LDPE) and a linear low-density polyethylene (LLDPE) into a slit die. *Journal of non-newtonian fluid mechanics*, 153(2-3), 82-94.
- Hou, M., Ye, L., Lee, H. J., & Mai, Y. W. (1998). Manufacture of a carbon-fabric-reinforced polyetherimide (CF/PEI) composite material. *Composites science and technology*, 58(2), 181-190.
- Huang, C.-Y., & Wu, C.-C. (2000). The EMI shielding effectiveness of PC/ABS/nickel-coated-carbon-fibre composites. *European polymer journal*, 36(12), 2729-2737.
- Ishigure, Y., Iijima, S., Ito, H., Ota, T., Unuma, H., Takahashi, M., Hikichi, Y., & Suzuki, H. (1999). Electrical and elastic properties of conductor-polymer composites. *Journal of Materials science*, 34, 2979-2985.

- Jiang, Z., Gyurova, L. A., Schlarb, A. K., Friedrich, K., & Zhang, Z. (2008). Study on friction and wear behavior of polyphenylene sulfide composites reinforced by short carbon fibers and sub-micro TiO₂ particles. *Composites Science and Technology*, 68(3-4), 734-742.
- Jin, F.-L., Rhee, K.-Y., & Park, S.-J. (2006). Surface treatment of montmorillonite on the thermal stabilities of bisphenol-A diglycidyl dimethacrylate nanocomposites. *Materials Science and Engineering: A*, 435, 429-433.
- Karsli, N. G., & Aytac, A. (2011). Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites. *Materials & Design*, 32(7), 4069-4073.
- Katz, H. S., & Mileski, J. V. (1987). *Handbook of fillers for plastics*. Springer Science & Business Media.
- Kılıçtekin, S. (2020). *Farklı Tabakalarda Nanoalimüna Katkılı Karbon – Kevlar Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerin ve Darbe Tokluğunun Araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kim, H.-Y., Park, K.-T., Jeong, J., Lee, Y.-H., Hwang, Y.-K., & Kim, D. (2009). A pultruded GFRP deck panel for temporary structures. *Composite structures*, 91(1), 20-30.
- Ko, T.-H., Kuo, W.-S., Han, W.-T., & Day, T.-C. (2006). Modification of a carbon/carbon composite with a thermosetting resin precursor as a matrix by the addition of carbon black. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(1), 333-337. <https://doi.org/10.1002/app.23846>
- Kosedag, E., Ekici, R., Yildiz, N., & Caliskan, U. (2023). Effect of SiC and graphene nanoparticles on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced epoxy composites. *Polymer Composites*, 44(12), 8578-8588. <https://doi.org/10.1002/pc.27720>
- Kumar, K. S., Siva, I., Jeyaraj, P., Jappes, J. W., Amico, S. C., & Rajini, N. (2014a). Synergy of fiber length and content on free vibration and damping behavior of natural fiber reinforced polyester composite beams. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 379-386.
- Kumar, K. S., Siva, I., Jeyaraj, P., Jappes, J. W., Amico, S. C., & Rajini, N. (2014b). Synergy of fiber length and content on free vibration and damping behavior of natural fiber reinforced polyester composite beams. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 379-386.

- Kumrlutas, D., & Tavman, I. H. (2006). A numerical and experimental study on thermal conductivity of particle filled polymer composites. *Journal of thermoplastic composite materials*, 19(4), 441-455.
- Kurtz, S. M. (2012). Synthesis and processing of PEEK for surgical implants. İçinde *PEEK Biomaterials Handbook* (ss. 9-22). Elsevier.
- Kusy, R. P., & Corneliussen, R. D. (1975). The thermal conductivity of nickel and copper dispersed in poly (vinyl chloride). *Polymer Engineering & Science*, 15(2), 107-112.
- Li, G., Zhang, C., Wang, Y., Li, P., Yu, Y., Jia, X., Liu, H., Yang, X., Xue, Z., & Ryu, S. (2008). Interface correlation and toughness matching of phosphoric acid functionalized Kevlar fiber and epoxy matrix for filament winding composites. *Composites Science and Technology*, 68(15-16), 3208-3214.
- Li, M., Ren, B., Wu, W., Jiang, K., Zhang, J., Xu, E., Liu, J., Zhong, H., Tong, G., & Jiang, Y. (2022). Copper fiber reinforced needle-coke/carbon composite for pantograph slide and its current-carrying wear performance. *Materials Research Express*, 9(5), 055605.
- Li, M., Wan, Y., Gao, Z., Xiong, G., Wang, X., Wan, C., & Luo, H. (2013). Preparation and properties of polyamide 6 thermal conductive composites reinforced with fibers. *Materials & Design*, 51, 257-261.
- Liu, G., Hu, X. L., Zhang, P., Yu, R. L., Bao, J. W., Chen, M. H., Li, Q. W., & Yi, X. S. (2013). *Carbon nanotube film interlayer toughened carbon fiber reinforced epoxy resin hybrid composites*.
- Liu, R., Li, X., Liu, X., Shen, B., & Han, Z. (2013). The tribological properties of poly (p-phenylene benzobisoxazole) pulp reinforced friction materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(6), 4032-4039.
- Luyt, A. S., Molefi, J. A., & Krump, H. (2006). Thermal, mechanical and electrical properties of copper powder filled low-density and linear low-density polyethylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(7), 1629-1636.
- Ma, C. C. M., Tai, N. H., Wu, S. H., Lin, S. H., Wu, J. F., & Lin, J. M. (1997). Creep behavior of carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone (PEEK)[± 45] 4s laminated composites (I). *Composites Part B: Engineering*, 28(4), 407-417.
- Magdee, T., Aussawasathien, D., Sriphalang, S.-N., & Hrimchum, K. (2019). Silver modified polyarylonitrile-activated carbon composite fibers via electrospinning process. *AIP Conference Proceedings*, 2055(1). <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2055/1/060001/617689>

- Maiti, S. N., & Mahapatro, P. K. (1990). Thermal properties of nickel powder filled polypropylene composites. *Polymer composites*, 11(4), 223-228.
- Malliaris, A., & Turner, D. T. (1971). Influence of particle size on the electrical resistivity of compacted mixtures of polymeric and metallic powders. *Journal of Applied Physics*, 42(2), 614-618.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design*. CRC press.
- Mamunya, Y. P., Davydenko, V. V., Pissis, P., & Lebedev, E. V. (2002). Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders. *European polymer journal*, 38(9), 1887-1897.
- Mansour, S. H., Gomaa, E., & Bishay, I. K. (2007). Effect of metal type and content on mechanical, electrical and free-volume properties of styrenated polyesters. *Journal of materials science*, 42, 8473-8480.
- Marieta, C., Schulz, E., & Mondragon, I. (2002). Characterization of interfacial behaviour in carbon-fibre/cyanate composites. *Composites science and technology*, 62(2), 299-309.
- Martin, M., Hanagud, S., & Thadhani, N. N. (2007). Mechanical behavior of nickel+ aluminum powder-reinforced epoxy composites. *Materials Science and Engineering: A*, 443(1-2), 209-218.
- May-Pat, A., Valadez-González, A., & Herrera-Franco, P. J. (2013). Effect of fiber surface treatments on the essential work of fracture of HDPE-continuous henequen fiber-reinforced composites. *Polymer Testing*, 32(6), 1114-1122.
- Merotte, J., Simacek, P., & Advani, S. G. (2010). Resin flow analysis with fiber preform deformation in through thickness direction during Compression Resin Transfer Molding. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(7), 881-887.
- Michalowski, J., Mikociak, D., Konsztowicz, K. J., & Blazewicz, S. (2011). Mechanical properties of C/C composites processed by wet impregnation and P-CVI methods. *Journal of materials science*, 46, 5587-5594.
- Moaseri, E., Karimi, M., Maghrebi, M., & Baniadam, M. (2014). Two-fold enhancement in tensile strength of carbon nanotube-carbon fiber hybrid epoxy composites through combination of electrophoretic deposition and alternating electric field. *International Journal of Solids and Structures*, 51(3-4), 774-785.
- Moaseri, E., Maghrebi, M., & Baniadam, M. (2014). Improvements in mechanical properties of carbon fiber-reinforced epoxy composites: A microwave-

assisted approach in functionalization of carbon fiber via diamines. *Materials & Design*, 55, 644-652.

- Molefi, J. A., Luyt, A. S., & Krupa, I. (2009). Comparison of the influence of Cu micro-and nano-particles on the thermal properties of polyethylene/Cu composites. *Express Polym Lett*, 3, 639-649.
- Molefi, J. A., Luyt, A. S., & Krupa, I. (2010). Comparison of LDPE, LLDPE and HDPE as matrices for phase change materials based on a soft Fischer–Tropsch paraffin wax. *Thermochimica Acta*, 500(1-2), 88-92.
- Montes-Morán, M. A., Martínez-Alonso, A., Tascón, J. M. D., Paiva, M. C., & Bernardo, C. A. (2001). Effects of plasma oxidation on the surface and interfacial properties of carbon fibres/polycarbonate composites. *Carbon*, 39(7), 1057-1068.
- Monti, M., Natali, M., Petrucci, R., Kenny, J. M., & Torre, L. (2011). Carbon nanofibers for strain and impact damage sensing in glass fiber reinforced composites based on an unsaturated polyester resin. *Polymer Composites*, 32(5), 766-775.
- Morales, G., Barrena, M. I., De Salazar, J. G., Merino, C., & Rodríguez, D. (2010). Conductive CNF-reinforced hybrid composites by injection moulding. *Composite structures*, 92(6), 1416-1422.
- Motozuka, S., Tagaya, M., Hotta, Y., Morinaga, M., Ikoma, T., Honma, T., Daimon, T., & Tanaka, J. (2013). Mechanochemical fabrication of carbon fiber/nylon-6 composites with interfacial bondings. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(5), 2182-2189.
- Muralidhara, B., & Suresha, B. (2020). The effect of boron carbide on the mechanical properties of bidirectional carbon fiber/epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2340-2345.
- Nakamura, S., Tommura, T., & Sawa, G. (1998). Electrical conduction mechanism of polymer-carbon black composites below and above the percolation threshold. *1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (Cat. No. 98CH36257)*, 1, 265-268.
- Nieberlein, V. (1978). Thermal conductivity enhancement of epoxies by the use of fillers. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 1(2), 172-176.
- Novák, I., Krupa, I., & Chodák, I. (2004). Electroconductive adhesives based on epoxy and polyurethane resins filled with silver-coated inorganic fillers. *Synthetic Metals*, 144(1), 13-19.

- Park, J.-M. (2000). Interfacial properties of two-carbon fiber reinforced polycarbonate composites using two-synthesized graft copolymers as coupling agents. *Journal of colloid and interface science*, 225(2), 384-393.
- Park, S.-J. (2015). *Carbon fibers* (C. 210). Springer.
- Park, S.-J., & Jang, Y.-S. (2001). Interfacial characteristics and fracture toughness of electrolytically Ni-plated carbon fiber-reinforced phenolic resin matrix composites. *Journal of colloid and interface science*, 237(1), 91-97.
- Park, S.-J., Park, S.-J., & Jin, F.-L. (2015). Matrices for Carbon Fiber Composites. *Carbon Fibers*, 67-99.
- Peled, A., Mobasher, B., & Cohen, Z. (2009). Mechanical properties of hybrid fabrics in pultruded cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 31(9), 647-657.
- Petrie, E. M. (2007). *Handbook of adhesives and sealants*. McGraw-Hill Education.
- Ragheb, W. F. (2010). Local buckling analysis of pultruded FRP structural shapes subjected to eccentric compression. *Thin-Walled Structures*, 48(9), 709-717.
- Rastellini, F., Oller, S., Salomón, O., & Oñate, E. (2008). Composite materials non-linear modelling for long fibre-reinforced laminates: Continuum basis, computational aspects and validations. *Computers & structures*, 86(9), 879-896.
- Ravindran, L., MS, S., Anilkumar, S., Ponnar, S., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2023). Mechanical, Morphological Behaviour and Electrical Conductivity of Phenol Formaldehyde-Flax Fabric (PF-F) Hybrid Composites Reinforced with Rice Husk Derived Nano-silica. *Silicon*, 15(7), 3237-3250.
- Ren, P., Liang, G., & Zhang, Z. (2006). Epoxy-modified cyanate ester resin and its high-modulus carbon-fiber composites. *Polymer composites*, 27(4), 402-409.
- Roldughin, V. I., & Vysotskii, V. V. (2000). Percolation properties of metal-filled polymer films, structure and mechanisms of conductivity. *Progress in organic coatings*, 39(2-4), 81-100.
- Rusu, M., Sofian, N., & Rusu, D. (2001). Mechanical and thermal properties of zinc powder filled high density polyethylene composites. *Polymer testing*, 20(4), 409-417.
- Samyn, P., & Schoukens, G. (2009). Thermochemical sliding interactions of short carbon fiber polyimide composites at high pv-conditions. *Materials Chemistry and Physics*, 115(1), 185-195.
- Santos, P. A., Spinacé, M. A., Feroselli, K. K., & De Paoli, M.-A. (2007). Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion and injection

- molding. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(12), 2404-2411.
- Sehar, B., Waris, A., Gilani, S. O., Ansari, U., Mushtaq, S., Khan, N. B., Jameel, M., Khan, M. I., Bafakeeh, O. T., & Tag-ELDin, E. S. M. (2022). The impact of laminations on the mechanical strength of carbon-fiber composites for prosthetic foot fabrication. *Crystals*, 12(10), 1429.
- Sha, Z., Cheng, X., Islam, M. S., Sangkarat, P., Chang, W., Brown, S. A., Wu, S., Zhang, J., Han, Z., & Peng, S. (2023). Synergistically enhancing the electrical conductivity of carbon fibre reinforced polymers by vertical graphene and silver nanowires. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 168, 107463.
- Sindel, L. (2011). *Identifying technical specifications of industrial heat treatment furnaces* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Singh, S., Sharma, R., & Khanuja, M. (2018). A review and recent developments on strategies to improve the photocatalytic elimination of organic dye pollutants by BiOX (X= Cl, Br, I, F) nanostructures. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 35, 1955-1968.
- Sofian, N. M., Rusu, M., Neagu, R., & Neagu, E. (2001). Metal powder-filled polyethylene composites. V. Thermal properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 14(1), 20-33.
- Spencer, M. W., Cui, L., Yoo, Y., & Paul, D. R. (2010). Morphology and properties of nanocomposites based on HDPE/HDPE-g-MA blends. *Polymer*, 51(5), 1056-1070.
- Sreekumar, P. (2009). Marc Saiter J, Joseph K, Unnikrishnan G, Thomas S. Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabricated by resin transfer molding. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf*, 40, 1777-1784.
- Sreekumar, P. A., Joseph, K., Unnikrishnan, G., & Thomas, S. (2007). A comparative study on mechanical properties of sisal-leaf fibre-reinforced polyester composites prepared by resin transfer and compression moulding techniques. *Composites science and technology*, 67(3-4), 453-461.
- Stewart, R. (2009). Filament winding spins light, strong composite structures with precision. *Reinforced Plastics*, 53(5), 34-39.
- Tan, S., Zhang, M., Rong, M., & Zeng, H. (1999). Effect of interfacial modification on metal fiber filled polypropylene composites and property balance. *Polymer composites*, 20(3), 406-412.

- Tavman, I. H. (1996). Thermal and mechanical properties of aluminum powder-filled high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 62(12), 2161-2167.
- Tavman, I. H. (1997). Thermal and mechanical properties of copper powder filled poly (ethylene) composites. *Powder Technology*, 91(1), 63-67.
- Tekce, H. S., Kumlutas, D., & Tavman, I. H. (2007). Effect of particle shape on thermal conductivity of copper reinforced polymer composites. *Journal of reinforced plastics and composites*, 26(1), 113-121.
- Thomas, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., & Sreekala, M. S. (2012). *Polymer composites, macro-and microcomposites* (C. 1). John Wiley & Sons.
- Tlili, R., Cecen, V., Krupa, I., Boudenne, A., Ibos, L., Candau, Y., & Novák, I. (2011). Mechanical and thermophysical properties of EVA copolymer filled with nickel particles. *Polymer composites*, 32(5), 727-736.
- Turku, I., Kärki, T., & Puurtinen, A. (2018). Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic. *Heliyon*, 4(3), e00559.
- Vautard, F., Ozcan, S., & Meyer, H. (2012). Properties of thermo-chemically surface treated carbon fibers and of their epoxy and vinyl ester composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(7), 1120-1133.
- Wang, P., Deng, G., Zhu, H., Zhang, H., Yin, J., Xiong, X., & Wu, X. (2019). Effect of MWCNT content on conductivity and mechanical and wear properties of copper foam/resin composite. *Composites Part B: Engineering*, 168, 572-580.
- Wang, R.-M., Zheng, S.-R., & Zheng, Y. G. (2011). *Polymer matrix composites and technology*. Elsevier.
[https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=uHhwAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wang,+R.-M.,+Zheng,+S.-R.,+%26+Zheng,+Y.+G.+\(2011\).+Polymer+matrix+composites+and+technology.+&ots=abAEii8BjU&sig=1BNCWNDPWQnhMTzbuGudMMFpz_g](https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=uHhwAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wang,+R.-M.,+Zheng,+S.-R.,+%26+Zheng,+Y.+G.+(2011).+Polymer+matrix+composites+and+technology.+&ots=abAEii8BjU&sig=1BNCWNDPWQnhMTzbuGudMMFpz_g)
- Wang, S.-X., Wu, L.-Z., & Ma, L. (2010). Low-velocity impact and residual tensile strength analysis to carbon fiber composite laminates. *Materials & Design*, 31(1), 118-125.
- Wang, Y., Chen, Z., Niu, J., Shi, Y., Zhao, J., Ye, J., & Tian, W. (2020). Electrically responsive shape memory composites using silver plated chopped carbon fiber. *Frontiers in Chemistry*, 8, 322.
- Wang, Z.-J., Kwon, D.-J., Gu, G.-Y., Lee, W.-I., Park, J.-K., DeVries, K. L., & Park, J.-M. (2013). Evaluation of interfacial properties of atmospheric pressure plasma-treated CNT-phenolic composites by dual matrix fragmentation and

- acoustic emission tests. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 52, 151-158.
- Weidenfeller, B., Höfer, M., & Schilling, F. R. (2004). Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat capacity of particle filled polypropylene. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 35(4), 423-429.
- Wu, G. M., & Schultz, J. M. (2000). Processing and properties of solution impregnated carbon fiber reinforced polyethersulfone composites. *Polymer composites*, 21(2), 223-230.
- Wu, Z., Meng, L., Liu, L., Jiang, Z., Xing, L., Jiang, D., & Huang, Y. (2014). Interfacial microstructure and properties of carbon fiber-reinforced unsaturated polyester composites modified with carbon nanotubes. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(5), 444-453.
- Xu, H., Feng, Z., Chen, J., & Zhou, H. (2006). Tribological behavior of the carbon fiber reinforced polyphenylene sulfide (PPS) composite coating under dry sliding and water lubrication. *Materials Science and Engineering: A*, 416(1-2), 66-73.
- Xu, J., & Sankar, B. V. (2008). Prediction of stitch crack evolution and gas permeability in multidirectional composite laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(10), 1625-1631.
- Yan, G., Wang, X., & Wu, D. (2013). Development of lightweight thermoplastic composites based on polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer alloys and recycled carbon fiber: Preparation, morphology, and properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(6), 3502-3511.
- Yun, M. S., & Lee, W. I. (2008). Analysis of bubble nucleation and growth in the pultrusion process of phenolic foam composites. *Composites science and technology*, 68(1), 202-208.
- Zhang, X., Pei, X., & Wang, Q. (2009). The tribological properties of acid-and diamine-modified carbon fiber reinforced polyimide composites. *Materials Chemistry and Physics*, 115(2-3), 825-830.
- Zhang, X.-R., Pei, X.-Q., & Wang, Q.-H. (2009). Friction and wear studies of polyimide composites filled with short carbon fibers and graphite and micro SiO₂. *Materials & Design*, 30(10), 4414-4420.
- Zhang, Y. X., & Zhang, H. S. (2010). Multiscale finite element modeling of failure process of composite laminates. *Composite Structures*, 92(9), 2159-2165.
- Zuraida, A., Khalid, A. A., & Ismail, A. F. (2007). Performance of hybrid filament wound composite tubes subjected to quasi static indentation. *Materials & design*, 28(1), 71-77.