



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOKTORA
TEZİ**

**PETROL TÜREVİ POLİMERLERE
NANOPARTİKÜL KATKILANDIRILARAK
NANOKOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ
VE KARAKTERİZASYONU**

Vildan ÖZKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MAYIS 2019



**PETROL TÜREVİ POLİMERLERE NANOPARTİKÜL
KATKILANDIRARAK NANOKOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Vildan ÖZKAN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Vildan ÖZKAN tarafından hazırlanan “PETROL TÜREVİ POLİMERLERE NANOPARTİKÜL KATKILANDIRILARAK NANOKOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Müh. Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

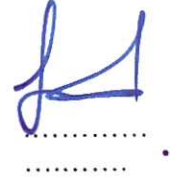
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Başkan: Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU

Makine Müh. Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Üye: Prof. Dr. Şana SUNGUR

Analiti Kimya Anabilim Dalı, Mustafa Kemal Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Üye: Doç. Dr. Memduh KARA

Makine Müh. Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Üye: Doç. Dr. M. Lütfi YOLA

Biyomedikal Müh. Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Tez Savunma Tarihi: 27 /05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ☒ Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- ☒ Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ☒ Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ☒ Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- ☒ Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ☒ Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Vildan ÖZKAN

27/05/2019

PETROL TÜREVİ POLİMERLERE NANOPARTİKÜL KATKILANDIRARAK
NANOKOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

(Doktora Tezi)

Vildan ÖZKAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2019

ÖZET

Bu tez kapsamında poliakrilonitril (PAN), polivinilklorür (PVC) ve termoplastik poliüretan (TPU) polimerlerinin nanofiberleri elektrospın yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Her bir polimer için; katkısız, %1 grafen katkılı ve %1 çok duvarlı karbonnanotüp (ÇDKNT) katkılı olacak şekilde toplamda 9 farklı çeşit nanofiber üretimi yapılmıştır. Elde edilen nanofiberler kullanılarak 5 katmanlı (3 katman nanofiberin aralarına birer kat cam elyaf gelecek şekilde) polimer takviyeli kompozit malzemeler elle yatırma yöntemi kullanılarak elde edilmişlerdir. Her bir kompozit malzemenin kalınlığı 4 mm'dir. Çalışmanın ilk basamağında üretilen nanofiberlerin morfolojik yapıları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Ayrıca her bir nanofiberin mekanik dayanımının tespiti için çekme testi yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında üretilmiş nanofiberlerden elde edilen kompozit malzemelerin radar absorpsiyon kapasiteleri ölçülmüş, mekanik dayanımlarının tespiti için çekme ve düşük hızlı darbe testleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Çekme testi sonucunda hasarlanmış yüzey morfolojisi SEM ile incelenmiştir. Ayrıca kompozit malzemelere polimerlerin etkisinin anlaşılabilmesi açısından, sadece cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler aynı şartlarda üretilerek, düşük hızlı darbe ve çekme testleri yapılmıştır. Çalışmanın son kısmında ise üretilmiş olan polimer takviyeli kompozit malzemelerin kimyasal özellikleri ve bağ yapılarının tespiti için FT-IR, DSC ve TGA testleri yapılmıştır. Testlerin tamamı sonucunda, kompozit malzemelerin maruz kalabileceği maksimum kuvvetler, gerilmeler, uzama ve şekil değiştirmeler, radar absorpsiyon kapasiteleri, bağ yapıları, camsı geçiş sıcaklıkları, sıcaklık sonucunda ki kütle kayıpları belirlenip, karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; polimerlerden elektrospın yöntemi ile elde edilen nanofiberlerine %1 oranında grafen ve ÇDKNT katkılanılmasının, mekanik dayanımı ve kimyasal yapılarında olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak grafen ve ÇDKNT takviyesinin polimer takviyeli kompozit malzemelerin radar absorpsiyonu kapasitelerinde de olumlu etkileri olduğu saptanmıştır. TPU, PAN ve PVC nanofiberlerinin saf ve nanopartikül katkılı şekilde kompozit malzemelerde kullanılması sonucunda, her bir polimerin farklı noktalarda dayanımları olduğu yapılan incelemeler sonucu belirlenmiştir. Tek bir polimerin öne çıkmadığı, üç polimerinde iyileştirmelere katkıda bulunduğu fakat yapısal özelliklerinin etkileri sonucunda farklı polimerlerin farklı test gruplarında iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Elektrospın yöntemi, polimer takviyeli kompozit malzemeler, mekanik dayanım, kimyasal karakterizasyon, radar absorpsiyonu

Sayfa Adedi : 177

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF NANOCOMPOSITE MATERIALS BY
NANOPARTICLE ADDITIVE TO PETROLEUM DERIVATIVE POLYMERS
(Ph. D. Thesis)

Vildan ÖZKAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

MAY 2019

ABSTRACT

In this thesis, the nanofibers of polyacrylonitrile (PAN), polyvinylchloride (PVC) and thermoplastic polyurethane (TPU) polymers are produced by electrospin method. For each polymer; 9 different types of nanofibers were produced, with no additives, with 1% graphene added and 1% multi-walled carbonnanotube (MWCNTs). By using the obtained nanofibers, the composite materials including 5 layer polymer matrix were obtained by using the manual deposit method. The thickness of each composite material is 4mm. Morphological structures of nanofibers produced in the first step of the study were investigated by Scanning Electron Microscope (SEM). In addition, tensile test was performed to determine the mechanical strength of each nanofiber. In the second stage of the study, the radar absorption capacity of the composite materials obtained from the nanofibers was measured and the tensile and low velocity impact tests were compared for the determination of their mechanical strength. As a result of the tensile test, the damaged surface morphology was investigated by SEM. In order to understand the effect of polymers on composite materials, only glass fiber reinforced composite materials were produced under the same conditions and low velocity impact and tensile tests were performed. In the last part of the study, FT-IR, DSC and TGA tests were performed to determine the chemical properties and bond structures of the composite materials including polymer matrix. As a result of the tests, the maximum forces, stresses, elongation and deformations to which composite materials may be exposed, radar absorption capacities, bond structures, glass transition temperatures, mass losses were determined, compared and the results were interpreted. When the results are examined; It has been determined that 1% graphene and MWCNTs additive to nanofibers obtained by the electrospin method from polymers have positive effects on mechanical strength and chemical structures. In addition, it was determined that graphene and MWCNTs additive have positive effects on the radar absorption capacity of composite materials including polymer matrix. As a result of the usage of TPU, PAN and PVC nanofibers in pure and nanoparticle added composite materials, It was determined that each polymer had strengths at different points. In addition to a single polymer, three polymers have contributed to improvements. However, it has been observed that different polymers provide improvement in different test groups as a result of the effect of structural properties.

Key Words : Electrospin method, composite materials including polymer matrix,
mechanical strength, chemical characterization, radar absorption

Page Number : 177

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında, büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yoğun akademik görevlerine rağmen her fırsatta zaman ve ilgisini esirgemeyen, yol gösteren ve bana yardımcı olan tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ahmet YAPICI'ya en derin saygı ve teşekkürlerimi iletmek isterim.

Çalışmalarımın her aşamasında her türlü desteği veren sayın Doç. Dr. M. Lütfi YOLA'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım başta bölüm başkanım Prof. Dr. Ergül YAŞAR olmak üzere, Öğr. Gör. Göksel SARAÇOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ, Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN, Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan AKGÖL, Arş. Gör. Dr. Bahattin TANÇ, Arş. Gör. Olcay ALTINTAŞ ve Arş. Gör. Murat YILDIZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma süresince yanımda olan, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Çiğdem ÇİL, Arş. Gör. Gökhan ÇEVİK, Arş. Gör. Onur Eser KÖK, Cuma DEĞER ve Hacı GÖDE' ye teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kıymetli zamanlarını ve fikirleri ile desteklerini esirgemeyen TİK üyeleri; Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU ve Prof. Dr. Şana SUNGUR'a teşekkür ediyorum.

Ayrıca tezin düzenlenmesi ve kontrolü aşamasında desteklerini ve önerilerini paylaşmaktan çekinmeyen İSTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Tolga DEPCİ ve Müdür Yardımcıları Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHÇECİ ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Hakan DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatımın her aşamasında bana destek olan, sadece bir eş değil aynı zamanda bilgisini esirgemeyen bir meslektaş olan canım eşim Abdullah ÖZKAN'a, hayat ışığım, biricik oğlum Alperen ÖZKAN'a, bu uzun yolda anlayış, yardım ve inançlarını esirgemeyen canım babam Kubilay AYBEK'e ve canım annem Bahar AYBEK'e sonsuz minnettarlığımı sunarak, bu çalışmanın onurunun ve bana ait her türlü hakkının kendilerine de ait olduğunu söylemek istiyorum.

Bu çalışmanın ülkemize yararlı olmasını temenni ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Polimer	3
2.1.1. Molekül ağırlıklarına göre polimerler (oligomer, makromolekül)	4
2.1.2. Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yarı sentetik, sentetik) polimerler.....	5
2.1.3. Organik ya da inorganik olmalarına göre polimerler.....	5
2.1.4. Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre polimerler.....	6
2.1.5. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre polimerler.....	6
2.1.6. Zincir yapısına göre polimerler.....	8
2.1.7. Sentezlenme şekillerine göre polimerler.....	9
2.2. Nanoteknoloji ve Uygulama Alanları	10
2.3. Karbon Esaslı Nano Malzemeler	12
2.3.1. Grafit	14
2.3.2. Grafen.....	16
2.3.3. Karbon nanotüp (KNT)	18
2.3.4. Fulleren	21

	Sayfa
2.4. Lif ve Nanolif Üretim Teknikleri	23
2.4.1. Lif üretim teknikleri	23
2.5. Kompozit Malzeme	39
2.5.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	40
2.5.2. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	50
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	59
4. MATERYAL ve YÖNTEM	64
4.1. Materyal	64
4.1.1. Polimerler ve çözücüler	64
4.1.2. Kompozit malzeme sentezinde kullanılan materyaller	70
4.2. Yöntem	73
4.2.1. Nanofiber üretimi	73
4.2.2. Kompozit malzemelerin üretimi	76
4.2.3. Çekme testi.....	81
4.2.4. Düşük hızlı darbe testi.....	82
4.2.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi.....	85
4.2.6. Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Termal Gravimetre (DTG)	86
4.2.7. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) Analizi	86
4.2.8. Radar Absorpsiyonu.....	87
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	88
5.1. Fiber SEM Görüntüleri	88
5.1.1. Saf PAN fiberlerinin sem görüntüleri	88
5.1.2. ÇDKNT katkılı PAN fiberlerinin SEM görüntüleri.....	90
5.1.3. Grafen katkılı PAN fiberlerinin SEM görüntüleri	91

	Sayfa
5.1.4. Saf PVC fiberlerinin SEM görüntüleri.....	92
5.1.5. ÇDKNT katkılı PVC fiberlerinin SEM görüntüleri.....	93
5.1.6. Grafen katkılı PVC fiberlerinin SEM görüntüleri.....	94
5.1.7. Saf TPU fiberlerinin SEM görüntüleri.....	95
5.1.8. ÇDKNT katkılı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri	96
5.1.9. Grafen katkılı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri.....	97
5.2. Düşük Hızlı Darbe Testi.....	98
5.3. Çekme Testi	113
5.3.1. Fiber çekme testi	113
5.3.2. Kompozit malzemesi çekme testi	118
5.3.3. Çekme testi sonucunda malzemelerin SEM görüntüleri.....	122
5.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi.....	126
5.5. Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Termal Gravimetre (DTG)	131
5.6. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) Analizi	137
5.7. Radar Absorpsiyon.....	140
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	150
6.1. Sonuç.....	150
6.2. Öneriler	156
KAYNAKLAR	158
ÖZGEÇMİŞ..	171

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Karbon allotroplarının fiziksel özellikleri (Doğan, 2014).....	14
Çizelge 2.2. Farklı malzemelerin KNT'lerle karşılaştırılması (Doğan, 2013).....	20
Çizelge 4.1. PVC kopolimerlerinin ve vinil plastiklerin mekanik özellikleri (Dinlenç, 2009).....	65
Çizelge 4.2. Poliüretanın temel özellikleri (Allod, 2018)	69
Çizelge 4.3. Hexion epoksi mekanik özellikleri (Dostkimya,2017).....	72
Çizelge 4.4. Üretilen kompozit malzemeler ve adlandırmaları	77
Çizelge 4.5. Çekme testi için numunelerin ağırlık değerleri	78
Çizelge 4.5. (Devam) Çekme testi için numunelerin ağırlık değerleri	79
Çizelge 4.6. Darbe testi için numunelerin ağırlık değerleri	80
Çizelge 4.6. (Devam) Darbe testi için numunelerin ağırlık değerleri	81
Çizelge 5.1. Düşük hızlı darbe deneyi verileri	99
Çizelge 5.2. Kompozit malzemelerin maksimum kuvvet- maksimum gerilme değerleri.....	120
Çizelge 5.3. Üretilen kompozit malzemelerin DSC testi sonucundaki değerleri.....	130
Çizelge 5.4. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin TGA değerleri	137
Çizelge 5.5. Metal Plakalı katkısız ve nanopartikül katkı pan takviyeli kompozit malzemenin % absorbanlığı	144
Çizelge 5.6. Metal plakalı katkısız ve nanopartikül katkı TPU takviyeli kompozit malzemenin % absorbanlığı	148

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Stiren ve polistirenin moleküler yapısı.....	4
Şekil 2.2. Zincir yapılarına göre polimerler (Akyüz, 1999: 41-55, 59-89, 102-106)	7
Şekil 2.3. Karbon atomunun birkaç allotropu: a) elmas; b) grafit; c) altıgen elmas; d-e-f) fullerenerler (C ₆₀ , C ₅₄₀ , C ₇₀); g) amorf karbon; h) karbon nanotüp (Wikipedia, 2018).....	14
Şekil 2.4. Yapısal olarak grafit (Çuhadaroglu ve Kara, 2018).....	15
Şekil 2.5. Grafenin band yapısı (Karaduman, 2013).....	17
Şekil 2.6. Grafen oksitte fonksiyonel grupların giderilmesi (Karaduman, 2013).....	18
Şekil 2.7. (a) Tek duvarlı karbon nanotüp, (b) Çok duvarlı karbon nanotüp (Yetim, 2011).....	19
Şekil 2.8. Farklı kristal yapılarına göre karbon nanotüpler (Yetim, 2011)	19
Şekil 2.9. Fuller çeşitleri (Hermanson, 2013).....	22
Şekil 2.10. (a) Endohedral, (b) Ekzohedral, (c) Hetero fullerene (Yılmaz, 2003)	23
Şekil 2.11. Eriyikten üretim tekniğinden lif üretimi (Rangkupan, 2002).....	24
Şekil 2.12. Düze çıkış sayılarına göre delik şekilleri ve oluşan lif kesitleri (Kozanoğlu, 2006).....	25
Şekil 2.13. Yaş üretim tekniğinin şematik gösterimi (Keser, 2016).....	26
Şekil 2.14. Kuru üretim tekniğinin şematik gösterimi (Keser, 2016).....	27
Şekil 2.15. Jel üretim tekniğinin şematik gösterimi (Barham, P.J., 1986)	27
Şekil 2.16. Nanolif kullanım alanları (Üstündağ, 2009)	28
Şekil 2.17. Kendiliğinden tutunma yöntemi ile oluşturulan nanofiberler (Ramakrishna, Fujihara, Teo, Lim ve Ma, 2005)	29
Şekil 2.18. Faz ayrımı yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramakrishna ve diğerleri, 2005).....	30
Şekil 2.19. Kalıp sentezi yöntemi ile nanofiber üretimi (Kiper, 2018).	30

Şekil	Sayfa
Şekil 2.20. Bikomponent lifleri enine kesitlerinin tepeden görünüşleri (Hatiboğlu, 2006).....	31
Şekil 2.21. Meltblown tekniği ile nanolif üretiminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006).....	32
Şekil 2.22. Çekme yöntemi ile nanolif üretimi (Ramakrishna, ve diğerleri, 2005).....	33
Şekil 2.23. Elektrospin yönteminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006)	34
Şekil 2.24. Elektrospin işlemi esnasında oluşan taylor konisi (Rim ve diğerleri, 2013).....	35
Şekil 2.25. Polimer damlacığının Taylor konisinden jet oluşumuna doğru şekil değiştirmesi (Evcin, 2017)	36
Şekil 2.26. Taylor konisinin şematik gösterimi (Evcin, 2017)	36
Şekil 2.27. Düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona doğru SEM görüntüleri (Li, Wang, 2013).....	37
Şekil 2.28. Elektrospinde kullanılan toplayıcılar; a) sabit plaka, b) döner silindir, c) döner disk, d) paralel çubuklar, e) döner bant ve f) tel ızgara (Şimşek, 2018).....	38
Şekil 2.29. Kompozit malzeme fazları (Callister ve Rethwisch, 2013)	40
Şekil 2.30. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Beşergil, 2016)	40
Şekil 2.31. Kompozit malzeme takviye şekilleri; (a) Parçacık Takviyeli (b) Kısa fiber takviyeli (c) Sürekli fiber takviyeli (Meyers ve Chawla, 2008)	41
Şekil 2.32. (a) Tek-yönlü tabakalı fiber dizilimi, (b) çapraz-tabakalı-izotropik fiber dizilimi, (c) üç-boyutlu örgü fiber dizilimi (Beşergil, 2016).....	43
Şekil 2.33. Matris fazı sınıflandırılması.....	44
Şekil 2.34. Epoksinin kürleşme reaksiyonu (Beşergil, 2016)	46
Şekil 2.35. Poliester kürleşmesinin yapısı (Beşergil, 2016)	47
Şekil 2.36. Vinilester reçinenin kimyasal yapısı (Bayraktar, 2016).....	48
Şekil 2.37. Poliüretanın yapısı (Beşergil, 2016).....	49
Şekil 2.38. Fenolik reçinenin yapısı (Ersoy, 2002).	49

Şekil	Sayfa
Şekil 2.39. Elle yatırma yöntemi (Ataş, 2009)	52
Şekil 2.40. Püskürtme yöntemi (Ataş, 2009)	53
Şekil 2.41. Elyaf sarma yöntemi (Poliya, 1999).....	54
Şekil 2.42. Reçine transfer kalıplama yöntemi (KosseKompozit, 2017)	55
Şekil 2.43. Pres kalıplama yöntemi (İlhan, 2018)	57
Şekil 2.44. Pultrüzyon yöntemi (İlhan, 2018)	58
Şekil 4.1. PVC kimyasal formülü ve atom modeli (Lebedev, 2018).....	64
Şekil 4.2. THF ve DMF çözücülerinin kimyasal formülü ve atom modeli (Lebedev, 2018).....	66
Şekil 4.3. Poliüretan sentezi (Yurtseven, 2014)	68
Şekil 4.4. Poliüretan atom modeli (Yurtseven, 2014)	68
Şekil 4.5. PAN Polimerinin kimyasal formülü ve atom modeli, (Lebedev, 2018).....	70
Şekil 4.6. ASTM D638 Tip IX numune ölçüleri (Kestrel, 2000)	72
Şekil 4.7. (a) Nanofiber katkılı, (b) Nanofiber katkısız kompozit malzemeleri basitleştirilmiş kesit görüntüleri	76
Şekil 4.8. Ağırlık düşürme test cihazı (Yıldız, 2017).....	83
Şekil 5.1. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet- zaman grafiği	100
Şekil 5.2. %1 ÇDKNT katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği	101
Şekil 5.3. %1 Grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği	102
Şekil 5.4. PAN takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği	102
Şekil 5.5. PVC takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği	103
Şekil 5.6. TPU takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği	103

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği.....	104
Şekil 5.8. ÇDKNT katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği	105
Şekil 5.9. Grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği.....	105
Şekil 5.10. PAN takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği	106
Şekil 5.11. PVC takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği	106
Şekil 5.12. TPU takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği	107
Şekil 5.13. ÇDKNT katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği	107
Şekil 5.14. Grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği	108
Şekil 5.15. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği.....	108
Şekil 5.16. Kompozit malzemelerin toplam impuls değerlerinin karşılaştırılması	109
Şekil 5.17. Kompozit malzemelerin absorbe edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması	110
Şekil 5.18. Kompozit malzemelerin iade edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması	110
Şekil 5.19. Kompozit malzemelerin temas rijitliği değerlerinin karşılaştırılması	111
Şekil 5.20. Kompozit malzemelerin eğilme rijitliği değerlerinin karşılaştırılması	111
Şekil 5.21. Kompozit malzemelerin tepe kuvvet değerlerinin karşılaştırılması	112
Şekil 5.22. Kompozit malzemelerin tepe deplasman değerlerinin karşılaştırılması	112
Şekil 5.23. Katkısız PAN fiber kuvvet-uzama grafiği	113
Şekil 5.24. ÇDKNT takviyeli PAN fiber kuvvet-uzama grafiği.....	114
Şekil 5.25. Grafen takviyeli PAN fiber kuvvet-uzama grafiği	114

Şekil	Sayfa
Şekil 5.26. Saf PVC fiber kuvvet-uzama grafiği	115
Şekil 5.27. ÇDKNT takviyeli PVC fiber kuvvet-uzama grafiği	116
Şekil 5.28. Grafen takviyeli PVC fiber kuvvet-uzama grafiği	116
Şekil 5.29. Saf TPU fiber kuvvet-uzama grafiği	117
Şekil 5.30. ÇDKNT takviyeli TPU fiber kuvvet-uzama grafiği	117
Şekil 5.31. Grafen takviyeli TPU fiber kuvvet-uzama grafiği	118
Şekil 5.32. Polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırılmalı gerilme-şekil değiştirme grafiği	119
Şekil 5.33. Katkısız saf polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri	127
Şekil 5.34. ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri	127
Şekil 5.35. Grafen takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri .	128
Şekil 5.36. Katkılı ve katkısız PAN polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri	129
Şekil 5.37. Katkılı ve katkısız PVC polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri	129
Şekil 5.38. Katkılı ve katkısız TPU polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri	130
Şekil 5.39. Katkısız PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği ...	131
Şekil 5.40. Grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafigi	132
Şekil 5.41. ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafigi	132
Şekil 5.42. Katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği ...	133
Şekil 5.43. Grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafigi	134
Şekil 5.44. ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafigi	135
Şekil 5.45. Katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği ...	135

Şekil	Sayfa
Şekil 5.46. Grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği	136
Şekil 5.47. ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği	136
Şekil 5.48. Saf PAN, grafen katkılı PAN ve ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu	138
Şekil 5.49. Saf PVC, grafen katkılı PVC ve ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu	139
Şekil 5.50. Saf TPU, grafen katkılı TPU ve ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu	139
Şekil 5.51. Metal plakalı katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	142
Şekil 5.52. Metal plakalı grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	142
Şekil 5.53. Metal plakalı ÇDKNT katkılı pan takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	143
Şekil 5.54. Metal plakalı katkısız PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	145
Şekil 5.55. Metal plakalı grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	145
Şekil 5.56. Metal plakalı ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	146
Şekil 5.57. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	146
Şekil 5.58. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	147
Şekil 5.59. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği	147

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Farklı polimerlerden elde edilen fiber SEM görüntüleri (Ekşi, 2007).....	7
Resim 4.1. Kullanılan (a) PVC (b) THF ve (c) DMF	66
Resim 4.2. (a) Ultrasonik Banyo (b) Manyetik Karıştırıcı	67
Resim 4.3. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam elyaf.....	71
Resim 4.4. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi	71
Resim 4.5. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan köpek kemiği modeli kalıplar	72
Resim 4.6. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan düz plaka modeli kalıplar	73
Resim 4.7. Nanofiber üretiminde kullanılan elektrospin cihazı	73
Resim 4.8. Şırıngadan tambura doğru fırlayan jetler	74
Resim 4.9.a. PAN polimerinden elde edilen nanofiberler tabakalar	75
Resim 4.9.b. PVC polimerinden elde edilen nanofiberler tabakalar	75
Resim 4.9.c. TPU polimerinden elde edilen nanofiber tabakalar	75
Resim 4.10-a. Düz plaka modeli üretilen kompozit malzemeler.....	76
Resim 4.10-b. Köpek kemiği modeli üretilen kompozit malzeme	77
Resim 4.11. Çekme test cihazı	81
Resim 4.12. Düşük hızlı darbe test cihazı.....	85
Resim 4.13. Radar absorpsiyon test cihazı	87
Resim 5.1. SEM cihazı	88
Resim 5.2. Saf PAN nanofiber SEM görüntüleri (150 X)	89
Resim 5.3. Saf PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	89
Resim 5.4. ÇDKNT-PAN nanofiber SEM görüntüleri (150 X)	90
Resim 5.5. ÇDKNT-PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)	90
Resim 5.6. G-PAN nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X).....	91

Resim	Sayfa
Resim 5.7. G-PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	91
Resim 5.8. Saf PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X).....	92
Resim 5.9. Saf PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	92
Resim 5.10. ÇDKNT-PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X).....	93
Resim 5.11. ÇDKNT-PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	93
Resim 5.12. G-PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X).....	94
Resim 5.13. G-PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	94
Resim 5.14. Saf TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (1 kX).....	95
Resim 5.15. Saf TPU nanofiberlerin kalınlıkları (5 kX).....	96
Resim 5.16. ÇDKNT-TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (500 X).....	96
Resim 5.17. ÇDKNT-TPU nanofiberlerin kalınlıkları (5 kX).....	97
Resim 5.18. G-TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (500 X).....	97
Resim 5.19. G-TPU nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX).....	98
Resim 5.20-a. Çekme testi sonucunda polimer takviyeli kompozit malzemeler.....	120
Resim 5.20-b. Çekme testi sonucunda polimer takviyeli kompozit malzemeler.....	121
Resim 5.21. Saf PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	122
Resim 5.22. Grafen takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	122
Resim 5.23. ÇDKNT takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	123
Resim 5.24. Saf PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	123
Resim 5.25. ÇDKNT takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	124
Resim 5.26. Grafen takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü.....	124

Resim	Sayfa
Resim 5.27. Saf TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü	125
Resim 5.28. Grafen takviyeli TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü	125
Resim 5.29. ÇDKNT takviyeli TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü	126



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

C_n	n Sayıdaki Karbon Atomu
Å	Angstrom
Gp	Gaz basınç presostatı
MPa	Megapascal
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
kV	Kilovolt
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
°C	Santigrat
g	Gram
cm ³	Santimetre küp
M _w	Molekül ağırlığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
DTG	Diferansiyel Termal Gravimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre
PAN	Poliakrilonitril
PVC	Polivinilklorür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TPU	Termoplastik Poliüretan

1. GİRİŞ

Teknoloji, bilim ve endüstri birbirinden ayrı düşünölemeyen, insanlığın ihtiyaçları doğrultusunda sürekli yeniliklerin, gelişmelerin ve araştırmaların devam ettiğı alanlar olup farklı bakış açıları kazandırarak çözüm önerileri sunmaktadırlar. Teknolojik ilerlemeler, sanayi ve endüstri alanlarının ihtiyaçları ile geleneksel cihazlar, malzemeler ve üretim süreçleri yerlerini inovatif fikirler ve yoğun çalışmaların ışığında yeni nesil malzemelere ve üretim şekillerine bırakmışlardır. Bu yenilenme ve gelişmeler her alanda en uygun şartları sağlayabilecek malzeme sentezlerine doğru 21. yüzyılda hızla ilerlemektedir. Malzemelerin negatif yönlerinin ortadan kaldırılmaya çalışılması araştırmacıları daha dayanıklı, üstün özelliklere sahip malzeme arayışına sevk etmiştir. Araştırmacılar tarafından; mevcut kullanılan malzemelerin eksiklikleri belirlenerek, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve bu malzemelerin kullanım alanlarında hasarlardan ve eksikliklerden dolayı üretimlerin aksamayarak sürekli hale gelmesi, aynı zamanda hasar düzeltilmesi sebebiyle gerçekleşen bütçe sıkıntılarının büyük oranda önüne geçilmesi planlanmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler ihtiyaca göre şekillendirilebilen, dayanımı yüksek malzemeler olarak son yıllarda ön plana çıkmıştır (Yavuz, 2017).

Kompozit malzemeler yapısal değışiklerle gerekli istenilen formlara sokulabildiklerinden dolayı gerekli ekleme ve çıkarmalar yapılabilmekte bu sebeple gelişen teknolojinin önünde de set oluşturmamaya, inovatif yeniliklere ayak uydurabilmektedirler. Kompozit malzemeler aynı anda sağlamlık, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek sertlik, darbe dayanımı, hafiflik vb. özellikleri bünyesinde barındırmaktadır (Bayraktar, 2016). Özellikle polimer esaslı kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle önemli avantajlar sağlarlar. Polimer esaslı kompozit malzemeler neredeyse metaller malzemeler kadar dayanıklı ve sert, bunun yanı sıra oldukça da hafiftirler. Polimer esaslı kompozit malzemelerin bu özelliklerinden dolayı savunma ve uzay sanayi tarafından bu tür malzemelere önem verilmektedir. Kompozit malzemelerin bu tür alanlarda kullanılmasının veya tercih edilmesinin ana sebebi dayanım/yoğunluk oranının çok yüksek olmasıdır (Aricasoy, 2006).

Son yıllarda bilim ve teknolojinin önem verdiği diğerkonulardan bir diğeri ise nano teknolojidir. Bu teknoloji ile nano boyutta ki parçacıkları kullanılarak yeni materyaller sentezleyebilmekte ve hali hazırda kullanılan malzemelerin yapılarında değışiklik

yapılarak yeni malzemeler üretilebilmektedir. Nano teknoloji geliştirilmeye açık bir teknoloji olması ve uygulamalarda büyük bir alana hitap etmesinden dolayı hemen hemen tüm sektörlerde kullanılmaktadır. Günümüzde fizik, kimya, biyoloji, bilgisayar, malzeme bilimi, havacılık, uzay, elektronik, tıp, inşaat gibi birçok dalda kullanılmaktadır.

Nano teknoloji, mikron altı boyutunda üretilen malzemelerin eklendiği materyallerde mekanik, karakteristik ve elektronik açıdan geliştirilmelerini hedeflemektedir. Nanomalzemelerden ise en çok ilgiyi, elektronik ve mekanik açıdan üstün özelliklere sahip olmaları sebebi ile grafen ve karbon nanotüpler çekmektedir (Yavuz, 2017).

Bu çalışmada; polimer esaslı kompozitlerin ve nano malzemelerin tüm bu gelişimleri ve kattıkları yararları göz önüne alarak bu iki malzeme birleştirilmiştir. Polimer esaslı kompozitlere farklı nano malzeme katkılayarak bu kompozitlerin mekanik, karakteristik ve radar ölçümleri incelenmiştir. Nano malzeme olarak karbon nanotüp ve grafen parçacıkları 1% oranında, ayrı ayrı hazırlanan poliakrilonitril (PAN), polivinilklorür (PVC) ve termoplastik poliüretan (TPU) solüsyonlarına katılarak elektrospinning yöntemi ile nanolifler üretilmiştir. Çok katmanlı şekilde üretilen nanoliflerden elde edilen kompozit malzemelerin mekanik, karakteristik ve radar ölçümleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Polimer

Günümüzde, toplam enerji kaynaklarının büyük bir kısmını birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmakta ve bu yakıtların da büyük bir kısmı petrole dayanmaktadır.

Ham petrol 20. Yüzyıl da çoğunlukla aydınlatma amacı ile kullanılsa da sonra ki yıllarda yakıt ihtiyacının artması ile rafine edilmiş ham petrol ve bu ürünlerin tüketim alanları farklılaşmıştır. Ham petrol işlenerek zamanla petrokimya sanayi sonucu elde edilen ürünler artmış ve bunlardan elde edilen daha dayanıklı ürünler birçok sektörde kullanılmıştır.

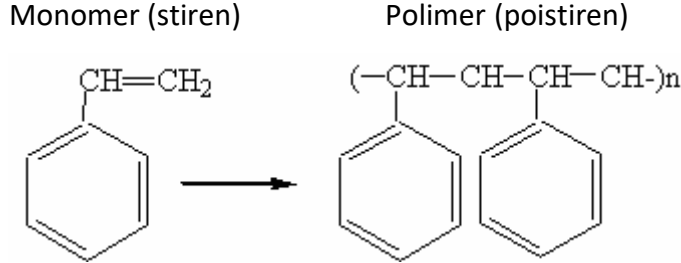
Petrokimyasal ürünler; ham madde, ara madde ve son ürün olarak üç başlık altında toplanabilir.

Petrokimyasallar petrol veya doğalgazdan başlayarak damıtılarak elde edilen geniş bir kimyasal bileşikler grubudur. Petrolün yanı sıra bazı kimyasal bileşikler; kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan veya organik yenilenebilir kaynaklardan da elde edilebilir. Olefinler (etilen ve propilen) ve aromatikler (benzen, toluen ve ksilen izomerleri) en çok üretilen petrokimyasal sınıflarıdır. Petrol rafinerizasyonu genellikle petrol fraksiyonlarının sıvı katalitik kraking işlemi ile olmaktadır. Olefinlerin üretimi etan ve propan gibi doğalgaz bileşiklerinin buhar kırınımı, Aromatikler ise naftanın katalitik krakingi sonucu elde edilir. Olefinler ve aromatikler, çözücü, deterjan, yapıştırıcı, plastikler, reçineler, fiberler gibi malzemelerin çoğunun yapı taşıdır (Petrokimyasallar, 2017). Ayrıca birçoğunun içeriğinde bulunan polimerik maddeler de yine petrokimya endüstrisinin son ürünleridir (Beşergil, 2007).

Monomer; bir polimerin (veya oligomerin) yapısal birimlerinden birini veya daha fazlasını oluşturan moleküllere denilmektedir (Beşergil, 2008). Aynı cins veya başka cins monomerler bir araya gelerek polimer zincirlerini (makromoleküller) oluşturur. Bir polimerin yapısında n sayıda monomer molekülü bulunur ki bu n sayısı binleri bulabilir. Örneğin; etilen, vinil klorür, izobütilen, stiren gibi monomerlerinin polimerleri, polietilen, poli(vinil klorür), poliizobütilen ve polistiren olarak adlandırılır (Baysal, 1994).

Kısaca polimer; çok sayıdaki aynı veya farklı monomerlerin bir kimyasal işlemle birbirleriyle birleşmesi sonucu oluşan uzun zincirli bileşiklerdir (Beşergil, 2008).

Polistiren için:



Şekil 2.1. Stiren ve polistirenin moleküler yapısı

Polimerler amaca uygun olacak şekilde sıralandığında;

- Molekül ağırlıklarına göre (oligomer, makromolekül)
- Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yapay)
- Organik ya da inorganik olmalarına göre
- Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre
- Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre (Düz, dallanmış, çapraz bağlı, kristal, amorf polimerler)
- Zincir yapısına göre (homopolimer, kopolimer)
- Sentezlenme şekillerine göre sınıflandırılmaktadır. (Baysal, 1994).

2.1.1. Molekül ağırlıklarına göre polimerler (oligomer, makromolekül)

Polimerlerin temel taşı monomerlerdir. Makromolekül denilen bir polimer molekülünde yüzlerce, binlerce bazen daha fazla sayıdaki monomer birbirine bağlı halde bulunur. En az sayıda monomer ile oluşturulmuş polimerlere oligomer, yüksek sayıda monomer ile elde edilmiş polimerlere de makromolekül denir. Aktif olarak laboratuvar çalışmalarında ya da sanayide kullanılan polimerlerin çoğu genellikle 5,000-250,000 molekül ağırlığı bölgesinde bulunur (Baysal, 1994).

2.1.2. Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yarı sentetik, sentetik) polimerler

Tabiattaki canlı varlıkların bünyelerinde olan polimere doğal polimerler denir. Nişasta, selüloz, doğal kauçuk, protein, DNA, RNA gibi polimerler doğal polimerlere örnek olarak verilebilir. Aynı zamanda protein, DNA, RNA gibi canlı vücudunda bulunan polimerlere biyopolimerler de denmektedir. Bitki ve ağaçların temel yapısını oluşturan selüloz doğada en bol bulunan bir polimerdir. Pamuğun temel bileşeni de selülozdur (Altıntaş, 2013).

Monomerlerin birleştirilmesi ile oluşturulan polimerlere sentetik polimerler denir. Bunlar, monomerlerden başlayarak endüstride sentez edilen polimerlerdir. Sentetik polimerlere; Polietilen, Polivinilklorür, Polistiren gibi birçok örnek verilebilir. Birçok sentetik polimerin yapımında kaynak olarak petrol kullanılmaktadır.

Doğal polimerlerin yapıları ile oynanması sonucu elde edilen polimerlere yarı- sentetik polimerler denir. Örnek olarak; selülozdan selüloid eldesi verilebilir. Polimerler; doğal, yarı sentetik ya da sentetik olmasına bakılmaksızın son ürün haline gelirken içlerine çoğu kez boya, dolgu maddeleri, antioksidan v.b. gibi katkı maddeleri karıştırılmaktadır (Altıntaş, 2013).

2.1.3. Organik ya da inorganik olmalarına göre polimerler

Yapılarında başta karbon atomu olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen (F,Cl, Br, I gibi) atomları içeren polimerlere organik polimer adı verilir. Eğer polimer zinciri üzerinde dizili atomlar aynı cinstense bu tarz polimere 'homo zincir', farklı cins atomlar ise 'heterozincir' polimer olarak adlandırılır. Bir atomun ana zincir üzerinde bulunabilmesi için en aşağı iki değerlikli olması gerekir. Bu sebeple örneğin hidrojen ve halojenler merkez zincirde bulunamazlar. Organik polimerler, organik maddelere verilen adlara göre (örneğin; alifatik, aromatik gibi) sınıflandırılabilirler.

İnorganik polimerler ise; Organik polimerlere göre daha az kullanılmaktadırlar. Polimerin merkez zincirinde karbon atomu yerine periyodik cetvelin 4. ve 6. Grup elementleri yer alır. Alümina silikat, doğal ve sentetik zeolitler inorganik polimerlere örnek olarak verilebilirler.

2.1.4. Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre polimerler

Yapılarındaki kimyasal bağa bağlı olarak plastikler, termoplastik ve termoset olmak üzere ikiye ayrılır.

Termoplastikler (Isıl plastikler); yapılarında önemli değişiklikler gerçekleşmeden birçok defa ısıya maruz kalarak tekrar şekillendirilebilirler. Bunların çoğu kovalent bağlı uzun karbon zincirlerine sahiptir. Bazen azot, oksijen ya da kükürt atomları da merkez zincirlerine kovalent bağ ile bağlanırlar. Isı ve basınç ile akışkan hale geçer ve bu sayede farklı şekillerde yapılandırılabilirler. Yapılarına uyan çözücüler ile çözünebilir ve kalıplanarak değişik formlarda kullanılabilirler. Polietilen, poliamid, polivinilklorür termoplastiklere örnek verilebilir (Ekşi, 2007).

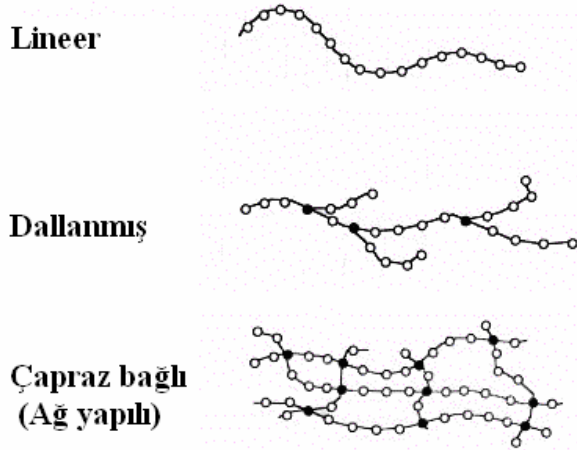
Termoplastikler; makromoleküllerin sıralanış şekillerine göre iki kısımda incelenebilir. Makromoleküllerin sıralanışı gelişi güzel ise malzeme “amorf” malzemedir. Amorf malzemeler içlerine herhangi bir malzeme karıştırılmadığı takdirde saydam yapıdadırlar. Bazı termoplastiklerde ise bazı kısımlarda makromoleküllerin sıralanışları belirli bir düzen içerir. Böyle termoplastiklere “yarı kristal” denmektedir. Plastiklerde, makromoleküller karışık ve iç içe geçmiş yani kristalli kısımların arasında amorf kısımların da yer aldığı şekilde bulunmaktadır. Bundan dolayı plastik malzemelerin tamamen kristalli bir yapıya da olmaları mümkün değildir (Yaşar, 2001: 89 - 132).

Termoset plastikler ise; yüksek oranda çapraz bağ içerirler ve sabit bir biçimde şekillendirilerek kimyasal bir tepkimeye sokularak sertleştirilirler. Sonrasında ısı etkisiyle tekrar yumuşamazlar ya da tekrar şekillendirilemezler. Çok yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıklarında ise bozunurlar (Akıncı, 2015)

2.1.5. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre polimerler

Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre polimerleri inceleyecek olursak; lineer, dallanmış ve çapraz bağlı olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Lineer yapı denilince zincirde sıralanan monomerlerin dümdüz bir çizgi gibi bulunmadığı bilinmelidir. Düz kelimesi fiziksel yapıyı değil kimyasal yapıyı belirtmektedir. Yani lineer yapı denilince akla hiçbir dallanmanın olmadığı zincirler gelir. Eğer doğrusal düzlemdeki ana zincire

bağlanmış monomerler varsa bu yapıya ise “dallanmış” denir. Dallanmış birkaç yapı birbirine bağlanmış ise bu yapıya da “çapraz bağlı” denmektedir (Şekil 2.2) (Akyüz, 1999: 41-106).

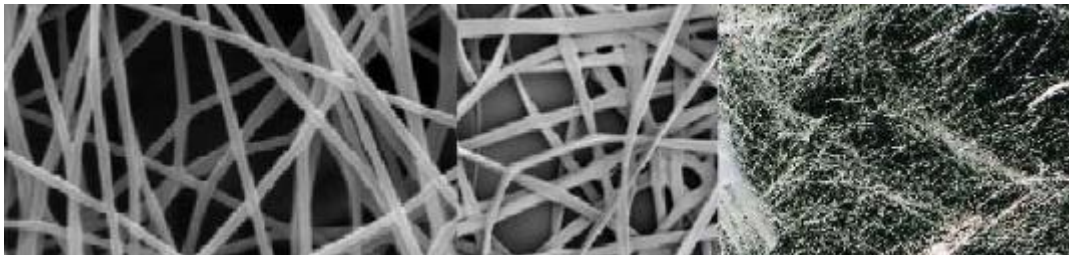


Şekil 2.2. Zincir yapılarına göre polimerler (Akyüz, 1999: 41-106)

Polimerlerin fiziksel yapıları incelendiğinde; plastikler, fiberler ve elastomerler olarak üç gruba ayrılabilir.

Plastikler lineer veya dallanmış büyük moleküllerden yani makromoleküllerden oluşmuşlardır. Plastikler; termoset ve termoplastik yapıdaki polimerlerdir.

Fiberler ise değişik üretim metodları kullanarak polimer malzemelerden elde edilmiş malzemelerdir. Resim 2.1’de farklı polimerlerden elde edilen fiber sem görüntülerine örnekler verilmiştir.



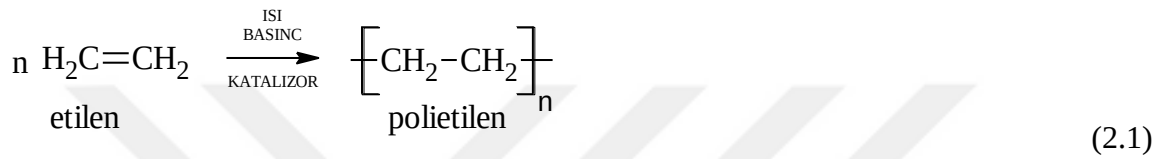
Resim 2.1. Farklı polimerlerden elde edilen fiber SEM görüntüleri (Ekşi, 2007)

Elastomerler ise, çapraz bağlı, uzun zincirli yapıdadırlar. Düşük şiddetteki gerilmeler sonucunda dahi büyük deformasyona uğrarlar. Gerilmeler neticesinde boylarının kat ve kat

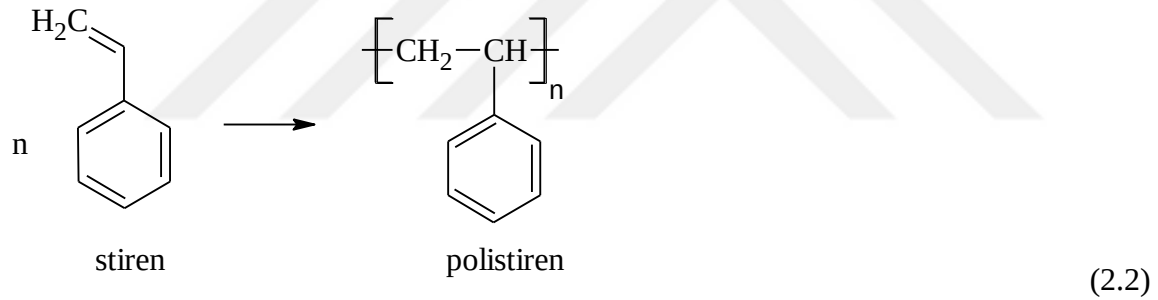
fazlası uzunluğa çıkıp gerilme ortadan kalkınca tekrar eski hallerine geri dönebilirler. En çok bilinen elastomer kauçuk'tur. Elastomerlerin yapısındaki çapraz bağların sayısı artarsa daha dayanıklı ve rijit bir yapı oluşabilmektedir.

2.1.6. Zincir yapısına göre polimerler

Tek bir cins monomerin tekrarlanması ile elde edilen polimerlere homopolimerler denir. Örnek olarak etilen grubunun tekrarlandığı polietilen (PE) verilebilir. Polietilenin polimerizasyon reaksiyonu Eşitlik 2.1'de verilmiştir.



Birden fazla cins monomerden elde edilen polimerlere ise kopolimerler denir. Polistiren kopolimerlere örnek olarak verilebilir ve polimerizasyon reaksiyonu Eşitlik 2.2'de verilmiştir.



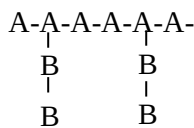
Kopolimerler kendi içinde de sınıflara ayrılırlar.

a- Ardışık (alternatif) polimerler: Farklı monomerlerin ardışık sıra ile oluşturduğu polimerlerdir. (-A-B-A-B-A-B-A-B-)

b- Blok (düzenli) polimerler: Polimerde farklı monomerlerin her biri uzun bloklar halinde yer almaktadır. (-A-B-B-B-A-B-B-B-A-)

c- Gelişigüzel polimerler: farklı monomerlerin rastgele sıralanması ile oluşturdukları polimerlerdir. (-A-A-B-A-B-B-A-)

d-Graft (aşıllı) polimerler: Monomerlerin her biri uzun zincirler halinde ana zincire yan bağlanması ile oluşan polimerlerdir.

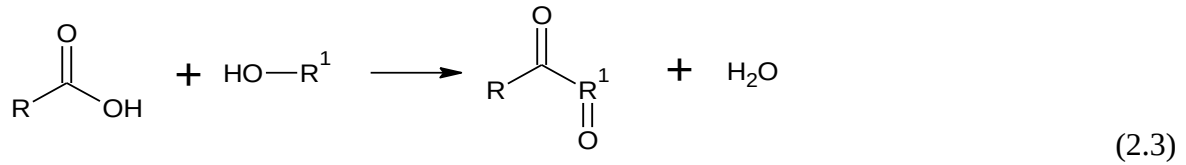


2.1.7. Sentezlenme şekillerine göre polimerler

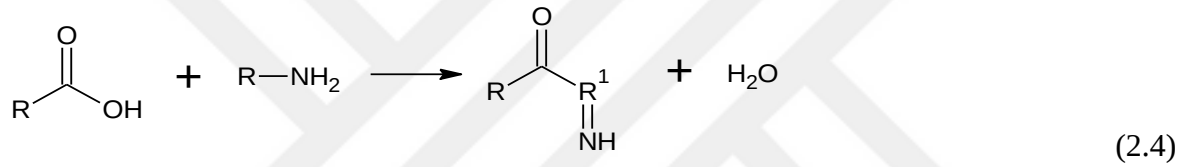
Kondenzasyon Polimerler

Monomerlerin reaksiyonu sonucu su açığa çıkarması ile elde edilen polimerlerdir. Esterler ve Amidler kondenzasyon reaksiyonları ile oluşur (Eş. 2.3, 2.4, 2.5) (Altıntaş, 2013).

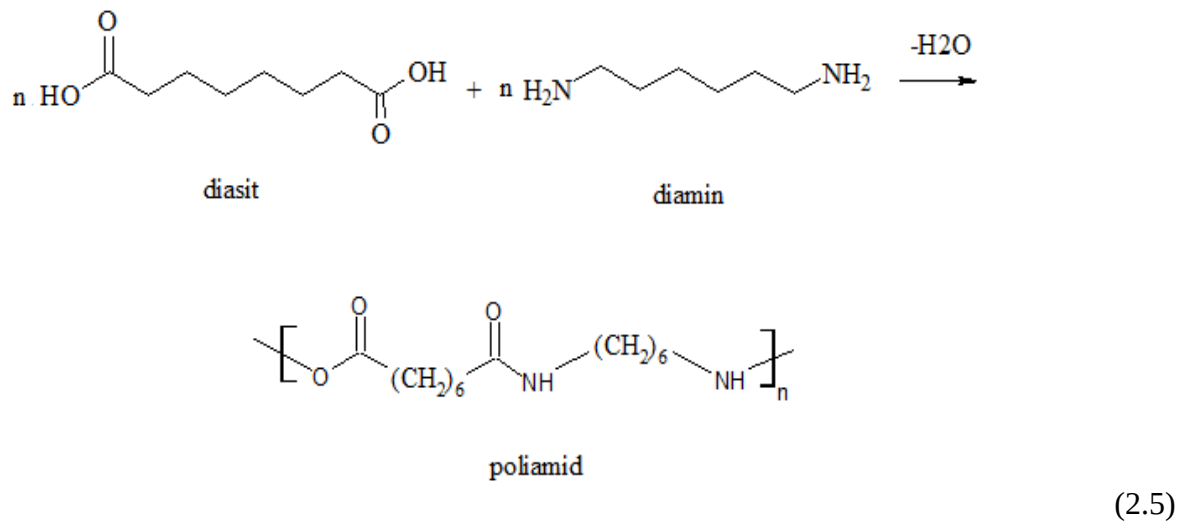
Karboksilik asit + alkol → ester + su



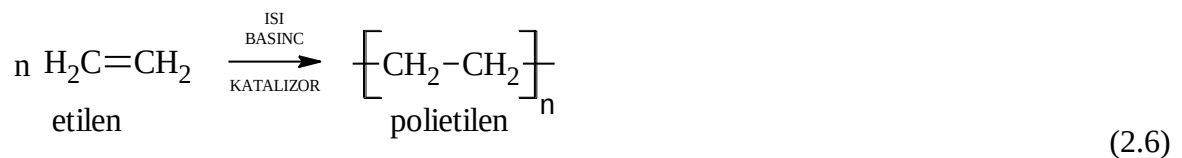
Karboksilik asit + amin → amid + su



Polimerlerin kondenzasyon reaksiyonla oluşumu (Eş. 2.5);



b. Katılma Polimerler: Sentez reaksiyonu bir çift bağın açılması ve monomerlerin birbirine zincirin halkaları gibi katılması ile oluşan polimerlerdir (Eş. 2.6) (Altıntaş, 2013).



Polimerler; katkılandırıldıkları kompozitlerin fiziksel özelliklerini etkileyen en önemli malzemelerdir. Literatürde değişik polimer türleri katkılandırılarak elde edilmiş kompozitlerden birçok çalışma mevcuttur. Örneğin; Zhang, Deng, Jing, Tao, Fu çalışmalarında polidopamin (PDA), Polipropilen (PP); Eichner, Heinrich ve Schneider polivinil bütiral; Namsaeng, Punyodom, Worajittiphon ise poliakrilonitril (PAN) ve polivinilklorür (PVC) gibi değişik polimerleri çalışmalarında kullanmışlardır (Zhang ve diğerleri, 2018; Eichner ve diğerleri, 2018; Namsaeng ve diğerleri, 2019). Birçok araştırmacı polimerlere ek olarak farklı nano partikülleri gerek polimerin içine gerekse kompozit üretimi esnasında bağlayıcıların içine karıştırarak elde ettikleri kompozitlerin mekaniksel özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır (Mirmohammadi ve diğerleri, 2018; Pantano, 2018; Asadi ve Kalaitzidou, 2018).

2.2. Nanoteknoloji ve Uygulama Alanları

Nano terimi, Eski Yunan'da cüce manasındaki “nanos” kelimesinden gelmektedir. Nanoteknolojinin kavram olarak ilk bahsedildiği yer ise Nobel ödüllü tanınmış fizikçi Richard Feynman'ın, 29 Aralık 1959 yılında, Amerikan Fizik Topluluğu'nun Kaliforniya Teknoloji Enstitüsündeki (Caltech) toplantıda, yaptığı konuşmadır (Feynman, R.P., 1959). Feynman, “Altlarda kullanacak daha çok oda var” ve “Vurgulamak istediğim şey; bir şeyleri küçük ölçekte manipüle etmek ve kontrol etmektir” cümleleri ile nano bilimine giriş yapmıştır (Menceloğlu ve Kırca, 2008). Feynman'ın başlattığı yolda ilerleyen ünlü fizikçi Eric Drexler ise 1981 yılında yayınladığı “Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology” adlı kitabında nanoteknoloji kelimesini kullanmıştır (Drexler, 1992).

Nanoteknoloji kavram olarak ise ilk 1974 tarihinde Norio Taniguchi tarafından farklı bir amaç için kullanılmıştır (Benli, 2008).

Mevcut tarihimizde nano terimi ölçü birimidir ve herhangi bir birimin milyarda biri anlamındadır. Nano, bilimde metrenin 10^{-9} katı olup “nanometre” (kısaca nm) olarak adlandırılır.

Nanoteknoloji maddenin “nano-boyutuna” indirgenerek değişik alanlarda kullanılmasıdır. Nanoteknoloji, atomik veya moleküller seviye de, 1 ile 100 nm aralığında çalışılarak

geliştirilecek veya üretilecek yapıların her alanda kullanımına olanak sağlamaktadır (Hierold, Jungen ve Helbling, 2007).

Atomların yapısı, aralarındaki bağların anlaşılması ve iyi bir şekilde kavranması sonucu yapılan değişikliklerle nanoteknoloji birçok alanda kullanılarak malzemelere üstün özellikler kazandırabilmektedir. Örneğin, büyük gramaja sahip tam altın 24°C'de herhangi bir tepkimeye girmezken nanometre boyutuna getirilerek tepkimeye girebilir hale gelmektedir. Nano boyuttaki altınlar ile bir Japon firması, "koku yiyiciler" geliştirmiş. Bunun yanı sıra, nanomalzemeler katkılıandırıldıkları malzemelere üstün mekanik özellikler kazandırmaktadırlar. Materyaller nano boyuta indiğinde makro boyutuna göre daha mükemmel mekanik ve kimyasal farklar yaratmaktadır. Nano boyuta inen materyal mukavemet, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki iyileşmelerin yanı sıra bağ yapabilme özelliği makro boyuta göre artmaktadır. Bu özelliği sayesinde bağlanacak her bir atomun özelliğine göre değişik özellikler kazanabilmektedir. Nano boyuttaki materyallerin bulunduğu malzemeler; elastikiyet, daha küçük gramajlarda üstün özellikler sergileme, radar absorpsiyonu, iletkenlik, ısı özellikleri gibi birçok özelliğe ayrı ayrı veya toptan bir şekilde sahip olabilmektedir (Çıracı, 2006).

Nano materyallerin kullanım alanlarına bakıldığında akla gelebilecek her türlü alanda kendine önemli bir yer bulmaktadır. Günümüzde nano materyaller malzeme ve imalat sektöründe kendine büyük bir pazar alanı bulmaktadır. Malzeme ve imalat sektöründe nano materyaller özellikle üstün mukavemet ve dayanım özelliklerinin yanında eş zamanlı esneklik ve hafiflik gibi özelliklerine de sahip olmalarından dolayı makro ölçekli malzemelere oranla çok daha fazla tercih edilmektedirler. Nano malzemeler; elektrik-elektronik ve bilgisayar sektörlerinde de yine kendilerine önemli bir yer bulmaktadırlar. En alt seviyede enerji ile çalışabilen nano boyutta elektronik devreler; nano boyutta veri depolama alanları; boyutları ufak olmasına rağmen hızları ve kapasiteleri maksimum düzeyde olan, bunun yanında minimum enerji ile çalışabilen elektronik malzemeler, sensör, göstergeler ve sinyal üretebilen ya da radar absorpsiyonu sağlayan malzemeler elektrik-elektronik ve bilgisayar sektörlerinde nano malzemeleri vazgeçilmez kılmıştır.

Tıp ve sağlık sektöründe ise nano malzemeler insan vücudundaki canlı yapılarla tepkime verebilmeleri açısından çok önemli bir yerdedir. Bu tepkimeler sonucu teşhis ve tedavi sağlanabilmektedir. Aynı şekilde yine bu tepkime sayesinde sadece hasarlı ya da hastalıklı

bölgelerin tedavisi gerçekleştirilebilmektedir. Bunu yanında nano teknolojinin tıp alanındaki en önemli artışı yapay organların saklanması ya da yedeklenebilmesinde kullanılabilen malzemeler üretilmektedir. Uzuvarını kabetmiş insanları ya da görme veya işitme engeli olan insanların sıkıntılarını gidermeye yönelik yapılan, geliştirilen tüm cihazların ve tasarımların içinde de yine nano malzemeler yerini almaktadır. Havacılık ve uzay sektöründe ise düşük enerjili, radyoaktif etkilere dirençli, mikro boyuta sahip uzay aletlerinin içine yerleştirilebilecek boyutlarda cihazlar, radar absorpsiyonu ve ısı iletkenlik sağlayan kaplamalar veya boyar malzemelerde de yine nano materyaller kullanılmaktadır. Çevresel sıkıntılarla savaşlarda yine nano malzemeleri görmek mümkün. Atıkların parçalanması ya da geri dönüşümlerinin sağlanmasından, kullanılacak gübrelere kadar nano malzemeler kullanılmaktadır. Enerji sektöründe de petrolün çıkarılmasında kullanılan sondaj çamurlarına katkılanırılan veya matkap yüzeylerinin kaplamasında kullanılan nano malzemeler günümüz araştırmaları arasındadır. Yine enerji sektöründe yenilenebilir enerji de biyoyakıt üretiminde katalizörlere ek olarak nano malzemeler katkılanırılmaktadır. İnşaat sektöründe de nano malzemeler binaların dış yüzey kaplamalarında, kendi kendini temizleyebilen boyar malzemelerin üretilmesinde, çabuk donabilen çimentolarda, ısı ve ses yalıtımı sağlanabilmesinde kullanılmaktadır. Savunma sanayinin de vazgeçilmezi olan nanomalzemeler; öldürücü gaz ve radyasyon tespitinde, zırh ve balistik çalışmalarında, hafif ve ince hem kamuflaj özelliği hemde kurşun geçirmezlik özelliği olan giysilerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Biyoteknolojide de yine kullanılacak sensörlerin içine yerleştirilmeleri ile gündemde olan nano malzemeler a'dan z'ye akla gelebilecek her alanda hayatımızda vazgeçilmez yer almaktadır ve gelişmeye devam etmektedir (Tepe, 2007).

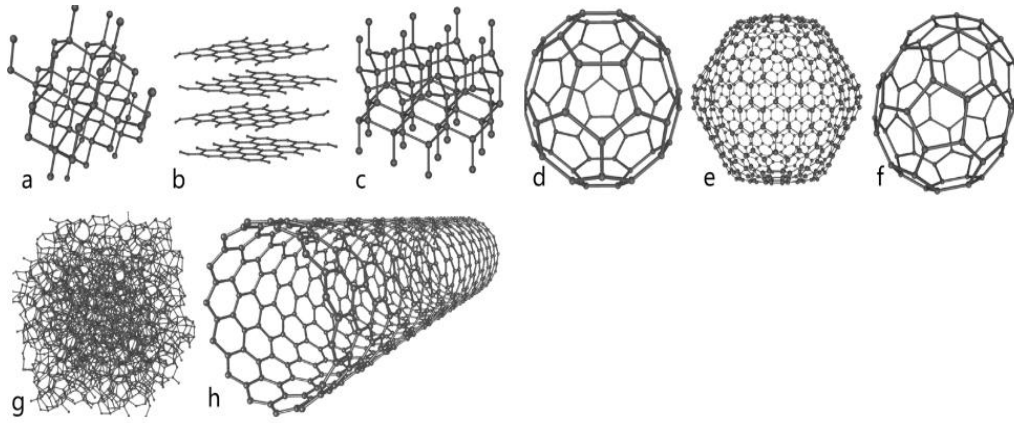
2.3. Karbon Esaslı Nano Malzemeler

Karbon atomu bütün canlıların yapısında yer alan, yapısında bulunmadığı hiçbir canlının olmadığı özel ve önemli bir elementtir. Bu kadar önemli olması ve farklı allotroplara sahip olmasıyla karbon atomu nano teknolojide de önemli bir yere sahip olmuştur. Nano teknolojide vazgeçilmez iki ana tema bulunmaktadır; gerekli ve işlenebilen malzeme ve bunu yeni formlara sokup çalışılabilir hale getirebilecek materyal ve bilgi. Karbon atomu, bu sebeplerden günümüzde en uygun elementtir.

Karbon; elmas, grafit, grafen, fulleren, nanotüp, nanotop (Şekil 2.3) gibi farklı boyutlara ve dizilişlere sahip allotroplarla nano teknolojide yerini almaktadır. Örneğin; elmas üç boyutlu bir yapıya sahipken grafit iki boyutlu, nanotüpler bir boyutlu, nanotoplar ise sıfır boyutludur. Karbon nano yapılarda kullanılanlar genellikle iki boyuttan sıfır boyuta kadar ki kısımdır.

Karbon yapılara genel olarak bakılacak olursa; elmas en çok bilinendir. Kristal yapıdadır ve atomları aralarında sp^3 bağı ile bağ yaparlar. Doğada saf halde bulunabileceği gibi, yapay olarak da üretimi vardır. Sert bir yapıdadır. Grafitte ise atomlar aralarında sp^2 şeklinde bağ yaparlar. Elmasta olduğu gibi hem doğalı hem de yapayı mevcuttur. Karbon fiberlere bakacak olursak grafit ile benzer özelliklere sahip morfolojik olarak üretim şekillerinden kaynaklı farklı şekillerde bulunurlar. Çok hafif ama bunun yanında yüksek mukavemete ve esnekliğe sahip olmaları en çok kullanılanlar arasında olmalarını sağlamaktadır.

Camsı karbonlar; polimerik ve gözenekli yapılara sahiptirler. Serttirler. Yapılarında bağ yapmaya uygun açık uçlu atomlar vardır. Siyah karbon ise ileri derecedeki proseslerle elde edilen katı karbon formuna verilen addır. Üretim şekillerine göre farklı özellik ve yapıda olabilirler. Sanayide günümüzde kullanım alanı oldukça fazladır. Karbin ve karbolitler; polimerik yapıda olan ani sıcaklık düşüşü ile üretilen kristal ve sert yapıdadırlar. Karbonun standart, belirleyici bir şekle sahip olmayan karmaşık yapıli allotropuna ise amorf karbon denir. En bilinen örneği kömürdür. Mevcut karbon yapıların sınılaştırılması ile elde edilen cinsine ise sıvı karbon denilmektedir (Yavuz, 2017). Karbon allotroplarının (Şekil 2.3) fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Karbon atomunun birkaç allotropu: a) elmas; b) grafit; c) altıgen elmas; d-e-f) fullerenler (C60, C540, C70); g) amorf karbon; h) karbon nanotüp (Wikipedia, 2018)

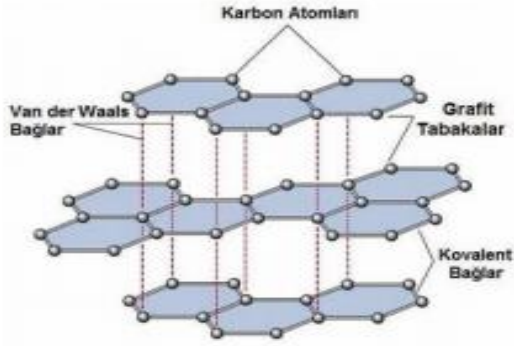
Çizelge 2.1. Karbon allotroplarının fiziksel özellikleri (Doğan, 2014)

Karbon allotropları	Grafit	Elmas	Fulleren (C60)	Karbon Nanotüp	Grafen
Hibrit Şekli	sp ²	sp ³	Çoğunlukla sp ²	Çoğunlukla sp ²	sp ²
Kristal sistemi	Hekzagonal	Oktahedral	Tetragonal	İkosahedral	Hekzagonal
Boyut	Üç	Üç	Sıfır	Bir	İki
Yüzey Alanı (m ² g ⁻¹)	~10-20	20-160	80-90	~1300	~1500
Yoğunluk (gcm ⁻³)	2,09-2,23	3,5-3,53	1,72	>1	>1
Termal İletkenlik (W ⁻¹ mK ⁻¹)	1500-2000 5-10	900-2320	0,4	3500	4840-5300
Sertlik	Yüksek	Ultra Yüksek	Yüksek	Yüksek	En Yüksek
Elektronik Özellik	Elektriksel İletken	Yalıtkan, Yarıiletken	Yalıtkan	Metalik ve yarıiletken	Yarı metal
Elektriksel İletkenlik (Scm ⁻¹)	Anisotropik 2,3x10 ⁴	-	10 ⁻¹⁰	Yapıya Bağlı	2000
Esneklik	Elastik Olmayan Esnek	-	Elastik	Elastik Esnek	Elastik Esnek
Optik Özellikler	Tek eksenli	İzotropik	Doğrusal Olmayan Optik Cevap	Yapıya Bağlı Özellikler	%97,7 Optiksel Geçirgenlik

2.3.1. Grafit

Grafit kelime olarak yunanca asıllıdır ve “yazmak” anlamındadır. İlk olarak Scheel ile “Karbon Modifikasyonu” sözüyle kullanılmış fakat isim babası 1789 yılında mineralog Werner olmuştur. Yağsı yapıda ve yumuşaktır. Levhalar halinde olup esneyebilen veya bükülebilen bir yapıdadır. Sertliği 1, yoğunluğu ise 2 g/cm³ ‘tür. Siyahtan griye değişik tonlardaki renkleri mevcuttur.

Şekil 2.4’de de görüldüğü üzere, yapısındaki karbon atomları kendilerine yakın olan üç karbon atomuyla kuvvetli kovalent bağ yapıyor olmasının yanında düzlemler arasında dördüncü valans elektronu yakınındaki diğer yan düzlemde yer alan elektronla zayıf metalik bağ yaparak bağlanmaktadır. Normalde diğer karbon atomları kendilerine en yakındaki başka karbon atomları ile kovalent bağla bağlanırlar. Bu duruma ise “Üçlü Döngü Koordinasyonu” denmektedir. Grafit ise dördüncü valans elektronu ile de bağ yapmaktadır. Böyle değişik bir bağ yapma özelliği sayesinde, hem kristal sistemde hem de diğer özelliklerde grafitte anizotropi görülmektedir (Pierson, 1992;186).



Şekil 2.4. Yapısal olarak grafit (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018)

Oksijen ihtiva eden ortamlarda 600-670 °C’de yanabilir, normal hava şartlarında ise 3500 °C’ye kadar dayanabilen grafit termal şoktan etkilenmez, erime sıcaklığı 3927 °C’dir. Erime sıcaklığında ise direk gaz haline dönüşmektedir. Normal şartlar altında kararlı bir yapıdadır ve asit, baz veya tuzlara karşı dayanımı yüksektir.

Grafitin üstün ısı iletkenliği, elektrik iletkenliği (Bakırdan 20 misli fazla iletken özellikte oluşu), Isıya karşı dayanımı vb. özellikleri sayesinde “AB için Kritik Hammaddeler” raporundaki 14 önemli hammadde arasında seçilmiştir (Uysal, 2012 Peck, Kandachar ve Tempelman, 2015).

Grafit; 2’ye ayrılabilir; Doğal Grafit ve Sentetik Grafit olarak.

Doğal grafit

Doğada bulunma şekillerine göre doğal grafit; Amorf (amorphous) grafit, Pulsu (flake) grafit, Kristal (crystalline) grafit olarak ayrılmaktadır.

Amorf Grafit; kömür yataklarında meydana gelen üst düzey basınç ve sıcaklık sonucu oluşmaktadır. Yapısında mikrokristal taneler içerir. Çoğunlukla Meksika, Çin ve Güney Kore’de bulunmaktadır.

Pulsu ve Kristal Grafit; metamorfik kayaç içlerinde topaklanmış şekilde bulunan organik maddeler kaynaklı oluşmaktadır (Kwiecińska ve Petersen, 2004).

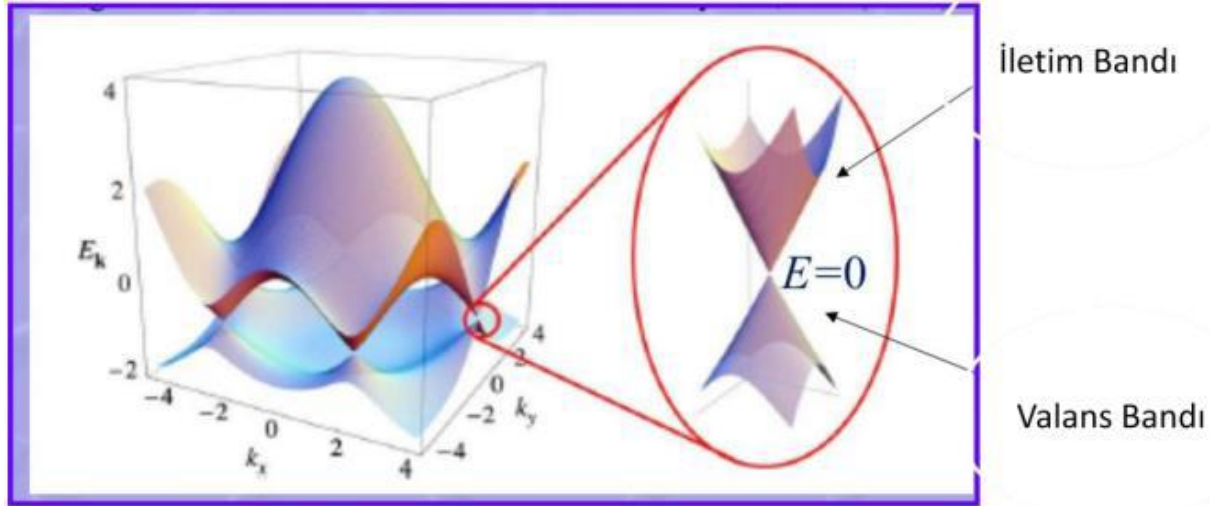
Sentetik grafit

Petrol, kok ve antrasitin fırınlarda 4000 °C’de yakılması ile elde edilen grafitlerdir. Kalsine edilmiş petrol kokunun C ihtivasının çok yüksek olması sebebi ile grafit üretiminde en çok tercih edilen maddedir. Genellikle Na_2SO_4 ile reaksiyonu sonucu elde edilirler. Sıcaklık ve basınç farklarından kaynaklı değişik morfolojilere sahip sentetik grafitler oluşturulmaktadır (Chelgani, Rudolph, Kratzsch, Sandmann ve Gutzmer, 2016)

2.3.2. Grafen

Grafenin keşfi kadar 21. yy’da bilim adamlarını heyecanlandıran ve teknolojiyi farklı boyutlara taşıyan başka bir keşif olmamıştır. Grafenin serüveni 2004’te bir grup araştırmacının ince karbon filmlerin elektriksel özelliklerinin araştırılması sonucu başlamıştır. Çalışmanın mantığı; çok tabakalı grafitten tek bir tabaka koparmaktır. Araştırmacılar, grafen elde etmek için kolay bir yöntem olan “mekanik kopartma yöntemi”ni kullanmıştır. Bu yöntemde yapıştırıcı özelliğe sahip bir yüzey grafit üzerine yapıştırılıp hızla çekilmesi ile grafen tabakaları grafit malzemesinden koparılmaktadır (Uygur, G., 2010). 2 boyutlu materyalin termodinamik kararsızlıklar sebebi ile mümkün olmayacağı zannedilmekteydi. Bu araştırmalar sonucu tek boyutlu yapıların, kristalinden kolayca kopabileceği anlaşılmıştır (Karaduman, 2013). Grafen üzerindeki çalışmaları, Andre Geim ve Konstantin Novoselov’a 2010 Nobel Fizik Ödülü’nü kazandırmıştır.

Grafenin yapısındaki karbon atomlarının 1s ve 2p orbitallerinin birleşimi ile 120° açılı sp^2 melezleşmesi yapar ve bu esnada boşta kalan pz orbitalleri ise grafen malzemesine sıradışı özellikler kazandırmaktadır. Grafen yapısal olarak bal peteğinin şekline benzemesinden dolayı, enerji-momentum bağlamında benzer materyallere göre değişiklik göstermektedir. Enerji-momentum bağlamındaki bu değişik durumu grafendeki elektronların farklı mekanizmasından kaynaklı oluşmaktadır. Şekil 2.5’de grafenin band yapısı verilmektedir.

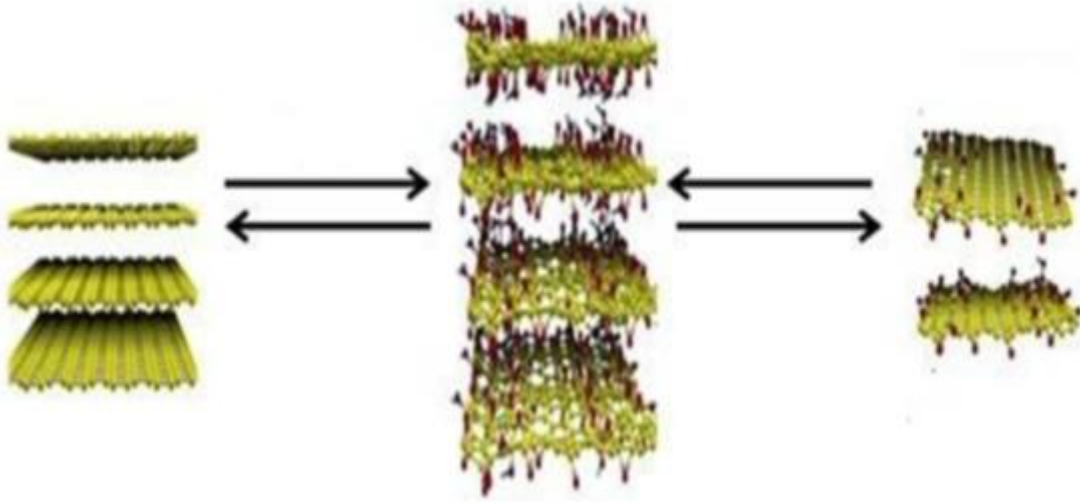


Şekil 2.5. Grafenin band yapısı (Karaduman, 2013)

Grafen de yasak enerji aralığının olmaması sebebiyle, özellikle elektronik uygulama alanını daraltmaktadır (Bayat, 2010).

Grafen, farklı metodlarla birçok şekilde yüksek kaliteye sahip olarak üretimi sağlanmaktadır. Bunlar fiziksel veya kimyasal olarak ayrı ayrı şekillerde olabilmektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında, genellikle grafenin grafit oksitten eldesi “Hummers metodu” ile olmaktadır. Bu metot sonucu C atomlarına yapışık farklı gruplar ihtiva eden grafen tabakaları üretilmektedir. Bu metodun amacı; grafitten güçlü yükseltgenler kullanılarak ve ultrasonik yardımı ile önce grafen oksit elde edilmekte, ilerleyen aşamada ise indirgenler kullanılarak grafen üretimi gerçekleştirilmektedir. Kimyasal işlemler ile elde edilen grafen için birçok farklı indirgeyici reaktif ile çalışılmaktadır. Bu reaktiflere örnek olarak; hidrazin ve farklı konfigürasyonları, NaBH_4 , aminoasit, l-glutathione içerikli bileşenler verilebilir (Arseven, 2011).

Literatürde bu metod dışında farklı grafen üretim yöntemleri bulunmaktadır (Park ve Ruoff, 2009). Bunlardan bazıları; saf grafitteki bağların kırılması sonucu grafen eldesi (Eksfoliasyon) (Novoselov ve diğerleri, 2004), aşağıdan-yukarıya üretim yöntemi olan kimyasal buhar biriktirme yöntemi yani geçiş metalleri üstünde buhar fazında bulunan C atomları biriktirilmesi sonrasında da ayırıcı bir madde ile yüzeyden ayrılmasının sağlanması işlemi (Şekil 2.6) (Reina ve diğerleri, 2009), Grafen oksitin indirgenmesi (Park ve Ruoff, 2009) ve Epitaksiyel büyütme yani grafenin Silisyum Karbür (SiC) üstünde büyütülmesidir (Bedeloğlu, 2016).



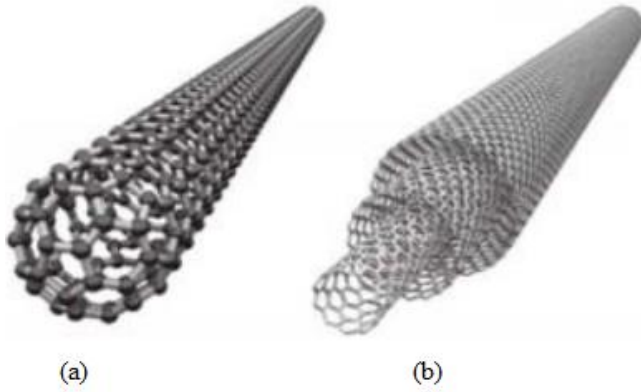
Şekil 2.6. Grafen oksitte fonksiyonel grupların giderilmesi (Karaduman, 2013)

2.3.3. Karbon nanotüp (KNT)

Karbon nanotüp; 1991 tarihinde NEC çalışanı Sumia Iijima'ın fulleren eldesi esnasında katotta toplanan yapıya ait morfolojiyi “geçirimli elektron mikroskobu (TEM)” ile taraması esnasında bulunmuştur. Bu tarama sırasında, uzun içi boş, silindirik bir morfolojiye sahip bundan önceki çalışmalarında görmediği bir yapıya rastlamıştır (Iijima, 1991).

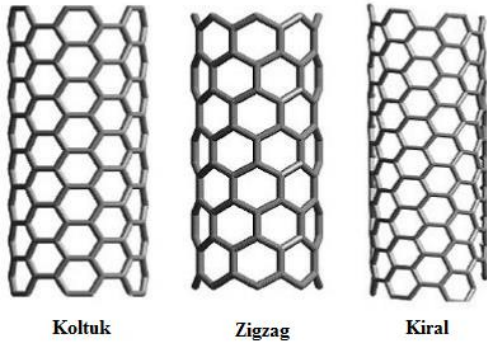
sp² hibrit yapısı ile bağ yapmış C atomlarından oluşmuş grafen tabakasının uçlarından birleşmesi sonucu boru şekline gelerek oluşturduğu yeni yapıya karbon nanotüp (KNT) adı verilmiştir. Sumia Iijima'ın 1991 tarihinde rastladığı KNT'ler tek bir eksene sahip KNT'lerin birleşmesi ile meydana gelmiş “çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT)” olduğu sonradan anlaşılmıştır. “Tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT)” ise 1993 tarihinde bulunmuştur (Iijima ve Ichihashi, 1993).

KNT'ler mikrondan milimetreye varan farklı boyutlarda bulunmaktadır (Cividanes ve diğerleri, 2013). TDKNT'ler 1-3 nm, ÇDKNT'ler ise 5-200 nm aralığında farklı çaplarda olabilirler. KNT'ler mükemmel özelliklere sahip olmaları ve yüzey alanlarının büyük olmasından kaynaklı birçok sanayi dalında kendilerine yer bulmaktadır (Lattore, Alvarez-Mendez, Barciela-Garcia, García –Martin ve PeñaCrecente, 2015). Şekil 2.7'de karbonnanotüplerin kristal yapıları görülmektedir.



Şekil 2.7. (a) Tek duvarlı karbon nanotüp, (b) Çok duvarlı karbon nanotüp (Yetim, 2011)

KNT'ler; zigzag, koltuk ve kiral olarak Şekil 2.8'de de görüldüğü gibi üç gruba ayrılırlar. Bu ayrım kristal yapılarına göre olmaktadır.



Şekil 2.8. Farklı kristal yapılarına göre karbon nanotüpler (Yetim, 2011)

Birbiri içine yerleşmiş çok duvarlı karbon nanotüplerde iki tüp arası uzunluk yapıyı meydana getirmiş C atomları arası bağ uzunluğundan fazla olmalıdır. Fakat bu uzunluk C atomlarının duvar ile bağ yapmasına olanak sağlayacak yakınlıkta olursa aralarında sp^3 hibrit bağı meydana gelerek her C atomu dört bağ yapmış olur. Böyle meydana gelmiş ÇDKNT'lere "karbon nanoçubuk" ismi verilmektedir. Karbon nanoçubukların yapısındaki duvarların aralarındaki boşluklu kısmın uzunluğu kısadır. Çubuklar; iç kısımları ya olduğu gibi boş ya da bir kısmı dolu şeklinde 2 tür yapıdadır. Karbon nanoçubukların esneklikleri tüplere oranla azdır, mekanik ve elektriksel özellikleri ise değişkenlik gösterir.

KNT'lerin uçlarının tamamen birleşmesi ile de "karbon nanohalkalar" meydana gelir. Literatürde bunlarla ilgili çok fazla veri olmaması ile birlikte her geçen gün incelemeler artmaktadır. Bu halkalardaki yapılacak ufak değişikliklerle, örneğin içinin tamamen boş

olması veya farklı genişliklerde olmaları gibi, kendilerine has özelliklerinde de değişiklik olması beklenmektedir (Doğan, 2013).

KNT'lerin mükemmel fiziksel özelliklere sahip olmaları, hatta ağırlıklarının çelikten daha az olduğu halde mukavemetlerinin ve dayanımlarının kat ve kat fazla olması sebebi ile günümüzde en kuvvetli fiberler olarak neredeyse tüm dallarda kendilerine yer bulmalarına ve araştırmacıların ilgi odağı haline gelmelerine sebep olmuştur. Bu yüksek dayanımın asıl sebebi ise C atomlarının "kafes yapısı" şeklinde yapıyı bir arada tutan güçlü bağlarından kaynaklanmaktadır. Tüm C atomları yapıda birbiriyle kuvvetli bir bağ şekli olan kovalent bağ ile bağlıdır. KNT'leri diğer karbon nano yapılardan ayıran özellikleri ise aynı anda farklı mükemmel özelliklere sahip olabilmeleridir. Bu özelliklere örnek verilecek olursa; yüksek elastikiyet, üstün mukavemet, dayanım, ısı ve elektriksel iletkenlik, vb. bu özelliklerinden kaynaklı KNT'ler tüm alanlarda üzerinde tekrar ve tekrar çalışılan malzemeler olmuştur. Günümüzde üstün mekanik özellikler ihtiva etmesi sebebiyle özellikle kompozit malzemelerde bağlayıcı veya polimere katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Hatta ve hatta yapılan çalışmalarda araştırmacılar ÇDKNT'lerin çelikten kat ve kat fazla gerilme kuvvetine sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Doğan, 2013).

KNT'lerin Young modülü (kuvvet ile oluşacak şeklen değişikliğin ölçüsü) incelendiğinde nanotüplerin çap farklılıkları ile değiştiği fakat hepsinde yüksek bir değer çıktığı tespit edilmiştir (Kuchibhatla, Karakoti, Bera ve Seal, 2007).

Çizelge 2.2. Farklı malzemelerin KNT'lerle karşılaştırılması (Doğan, 2013)

MALZEME	YOUNG MODÜLÜ (GPa)	GERİLME KUVVETİ (GPa)	YOĞUNLUK (g/cm ³)
ÇDKNT	1200	150	2,6
TDKNT	1054	75	1,3
TDKNT YIĞINI	563	150	1,3
GRAFİT	350	2,5	2,6
ÇELİK	208	0,4	7,8
EPOKSİ	3,5	0,005	0,6

KNT'lerin kopmadan maksimum oranda uzadıkları saptanmıştır. Özellikle TDKNT'ler üstün elastikiyete sahiptirler. Burulabilir, tekrar düzleştirilip katlanabilir veyahut farklı

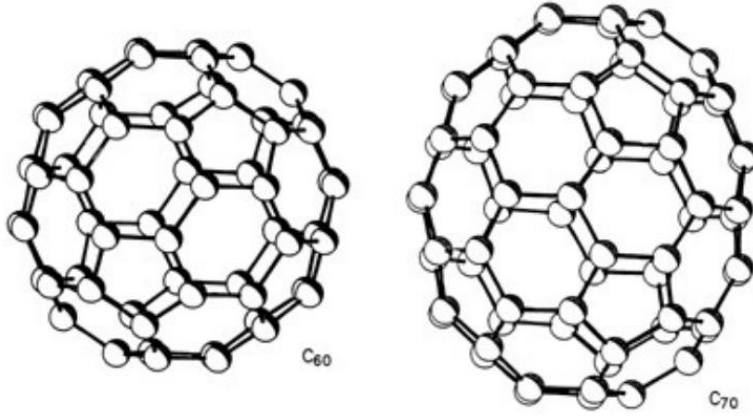
şekillerde büzüşdürülebildikleri halde mevcut kuvvet kalkınca tekrar eski formlarına geri dönebilmektedirler (Liew, Wong ve Tan, 2005).

KNT'ler Ark Buharlaştırma Yöntemi, Lazer Yöntemi ve Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ile elde edilebilirler (Liu, Chai, Mohamed ve Hashim, 2014).

2.3.4. Fulleren

Fulleren ilk olarak mimar R. Buckminster Fuller'in tasarımını yaptığı jeodezik kubbenin C_{60} molekülünü şeklen anımsattığı nedeniyle 1985 tarihinde Kroto ve Smalley tarafından verilmiştir. Kafes yapıdaki molekülün heksagonal ve pentagonal yüzeylerinin belirlenmesinde Euler Teoremi kullanılmıştır. Euler teoremi, "her bir köşesinde üç bağ (kenar) bulunan herhangi bir çokgenin, altıgen yüzlerin sayısına bakılmaksızın, 12 beşgen içerecek şekilde düzenlenmesi gerektiğini" söyler. Diğer bir söylemle, Euler teoremi fullerenlerin varoluş prensibini, n adet altı kenarlının tüm küresel ağlarının kapatılabilmesi için oniki beş kenarlıya mecbur olduğunu açıklamaktadır (Beşergil, 2016).

Fulleren üretimi çoğunlukla "ark deşarj tekniği" uygulanarak oksijensiz ortamda (He ortamında) grafit kullanılarak gerçekleştirilir. Reaktörün sıcak olmayan kısmı üzerinde biriken isler alınır ve yüksek sıcaklıktaki toluen, benzen, ksilen veya diğer aromatik solventlerle ekstrakt edilir. Solventin uzaklaştırılmasından sonra elde edilen siyah kısım, çoğunlukla C_{60} ve C_{70} ve eser oranda da 70'den fazla C atomu içerenlerdir fullerenlerdir. Doğada ise çok nadir bulunan shungite isimli taş yapının içinde çok az bir oranda yer almaktadır. Bundan dolayı, çoğunlukla suni olarak üretimi gerçekleştirilmektedir. Futbol topuna benzeyen kafes yapıdadır. Fulleren, allotropik C değişimleridir. Çoğunlukla bir C moleküler yapısı şeklinde isimlendirilir. n sayıda ($n > 20$) C atomu ihtiva ederler. Yapılarındaki C atomları birbirleriyle sp^2 bağı yaparlar. C_{20} ve $n < 20$ yapıları karbon atomlarının (C_n) maksimum eğrilikte olma isteği, düz koordinasyonu seçen sp^2 -melez karbon haline uymamaktadır. Bundan dolayı, en az karbon atomu sayısının fulleren için 60 olması gerekmektedir ve buna da örnek olarak bütün beşgen yüzlerinin birbirinden bir altıgenle ayrıldığı ikosahedron (C_{60}) verilebilir. En çok tercih edilenleri C_{60} , C_{70} , ve C_{84} formlarıdır. Bu formlara artı olarak kuyruksu veya farklı şekillerde bağlantılar yapılarak yapıda fonksiyonellik sağlanabilmektedir (Beşergil, 2016).



Şekil 2.9. Fuller çeşitleri (Hermanson, 2013)

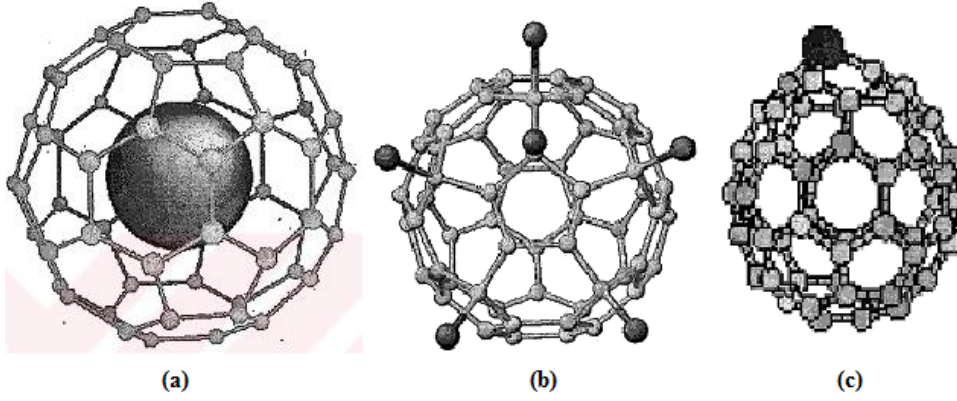
Fullerenlerin antioksidan özelliği vardır. Dolayısıyla, tıbbi açıdan da kullanımı mevcuttur. Güneş pillerinde, hidrojen depolama özelliğinden yakıt depolarında ve tungsten disülfid ile birlikte kurşungeçirmez yeleklerde kullanılmaktadır. Fullerenler genel olarak katkısız ve katkılı fullerenler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Katkılı fulleren

Yapısında veya kristal örgüde, yalnızca C atomu değil farklı atomlarında bulunduğu fullerenlere katkılı fulleren denilmektedir. Bu C atomu dışındaki atomlar yapıda dışarıdan bağ yapmış olarak bulunabileceği gibi yapı içerisinde de bulunabilmektedir.

Katkılı fullerenlerin özellikleri yapılarında bulunan farklı atomların özellikleriyle ve bunların bağ yapma şekilleri ile değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin en çok bilinen C_{60} fullereni saf yapıdayken yalıtkan özellikte olmasına rağmen içerisine alkali metal atomları karışması ile iletken bir özelliğe sahip olabilmektedir. Ya da yine C_{60} fullerenine potasyum atomu bağlandığında mükemmel bir iletken özellik kazanmaktadır. Yapı içine karışan bu farklı atomların bulundukları yerlere göre de fullerenler; endohedral fullerenler, ekzohedral fullerenler ve hetero fullerenler olarak üç şekilde gruplanmaktadır (Şekil 2.10).

Molekül yapısı içerisinde farklı atom çeşitleri bulunduran fullerenler, yabancı atomun molekül içerisinde bulunduğu yere göre endohedral fullerenler, ekzohedral fullerenler ve hetero fullerenler olarak üç farklı şekilde gruplandırılmaktadır (Yılmaz, 2003).



Şekil 2.10. (a) Endohedral, (b) Ekzohedral, (c) Hetero fullerene (Yılmaz, 2003)

Katkısız Fulleren

Kristal örgüde yalnızca C atomu bulunan fullerenlere katkısız fulleren denilmektedir. Çoğunlukla bilinen, tercih edilen ve üstlerinde çalışma yapılanları C_{60} ve C_{70} 'dir. C_{60} molekülü, fullerenler içinde karşılaştırıldıklarında kararlı yapısı en yüksek olanıdır. Kristal örgüsünde oniki adet beşkenar ve yirmi adet altıkenar bulundurulur.

Tüm C atomları üç bağa sahiptirler bunlardan biri çift bağdır ve bunun uzunluğu da $1.39 \text{ \AA}$ dur. C_{60} hidrostatik basınc ile karşılaştığında sıkışabilir özelliği sayesinde 20 Gp basınç değerine kadar C_{60} kristalinin yapısında en ufak bir faz geçişine rastlanmaz (Yılmaz, 2003).

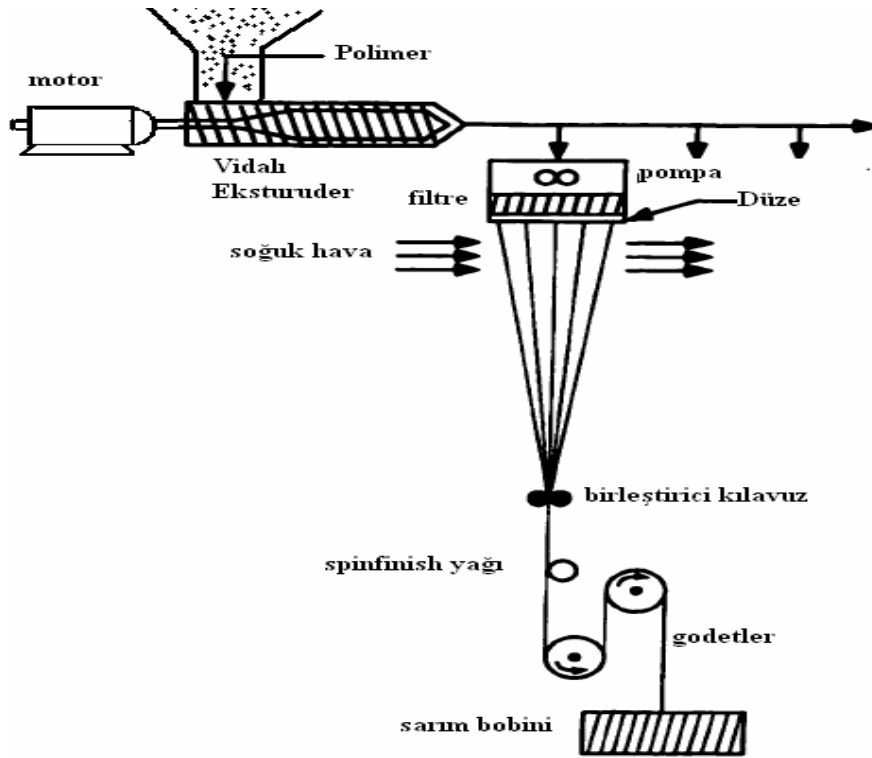
2.4. Lif ve Nanolif Üretim Teknikleri

2.4.1. Lif üretim teknikleri

Polimer kullanımı ile mikron düzey veya altında lif üretimi farklı yöntemler kullanılması sonucu gerçekleştirilmektedir. Farklı üretim metotlarının olmasının sebebi polimerlerin cinsi ve özellikleridir. Yani bir polimerin cinsi, kimyasal özellikleri, çözünürlük katsayıları, fiziksel özellikleri ve bunun gibi pek çok parametre üretim metodunun değişmesine sebep olmaktadır (Koç ve Demiryürek, 2004). Bu metotlar içerisinde en yaygın olanları; eriyikten üretim, yas üretim ve kuru üretim metotlarıdır. Diğer yöntemlere göre eriyikten lif üretimi metodu sanayi dalları içinde en çok tercih edileni durumundadır. Bunun en önemli sebebi ise lif eldesi esnasındaki prosesin karmaşık değil de basit oluşudur (Demir ve Behery, 1997).

Eriyikten üretim tekniği

Eriyikten lif üretim metodu, üretim aşaması yani prosesi açısından basit ve hiçbir çözücü kullanımına gerek yoktur. Eriyikten üretim metodu, ilk olarak 1930'lu yılların bitimine doğru Nylon 6 ve Nylon 6.6 polimerleri kullanılarak bunlardan lif üretebilmek için bulunmuş bir metottur (Rangkupan, 2002). Bu metotta, mevcut polimer öncelikle katı halde besleme hunisine konulur, burdan vidalı milleri olan ekstruder isimli bölmeye, sonrasında da dozaj pompasına oradan da en son basamak olan lif eldesinin sağlandığı deliklere gelerek ürün elde edilmiş olur. Bu prosesin en önemli basamağı ekstruderlerin katı polimeri, homojenlik ortamı sağlayarak eritmeleridir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Eriyikten üretim tekniğinden lif üretimi (Rangkupan, 2002)

Polimerin katı halde yüklendiği ekstruder bölmesinin çıkışına eklenecek bir boru yardımıyla sonraki bölme birden fazla (ihtiyaç sayısına göre arttırılabilecek) çıkışlarla bir sonraki bölme olan dozaj pompası bölmesini eritmiş olan polimer ile besleyebilir. Bu kısımda pompa bir sonraki bölme olan düze bloklarına 20 MPa'a kadar çıkan basınç ile polimeri iletir. Düze bloklarına gelmeden önce polimer içerisindeki tüm safsızlıklar filtrelendir. Düzenin çıkışında ufak çaplı ortalama 5 ile 1500 arası değişen sayıda delikler bulunmaktadır. Bu deliklerden geçen erimiş polimer ilk kez dışarı çıkar.

Deliklerden geçerken polimer liflerinin şekilleri verilmiş olur. Yani liflerin morfolojisi yuvarlak, içi dolu veya boş olup olmayacağına kadar tüm şekli bu kısım belirler. Düze çıkış sayılarına göre delik şekilleri ve oluşan lif kesitleri Şekil 2.12’de görünmektedir.

TEK DELİK	
DELİK ŞEKLİ	
LİF KESİTİ	
ÇOKLU DELİK	
DELİK ŞEKLİ	
LİF KESİTİ	

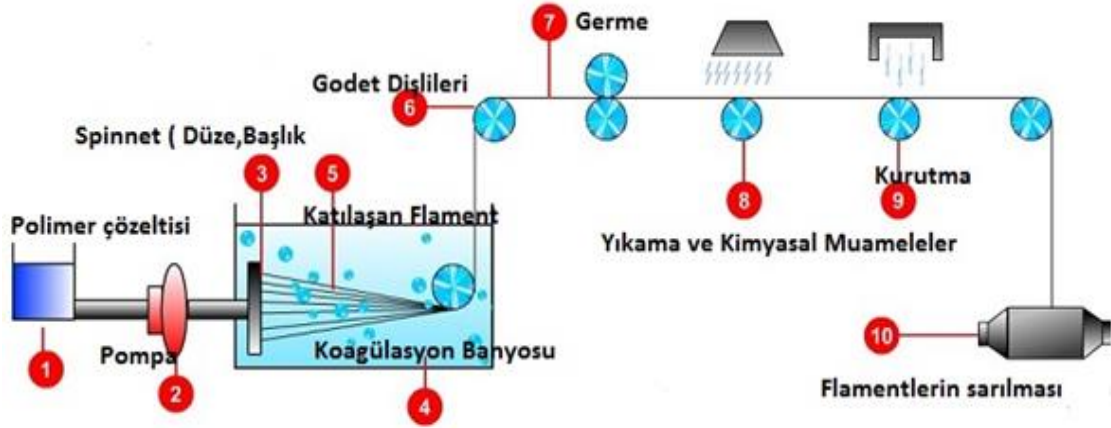
Şekil 2.12. Düze çıkış sayılarına göre delik şekilleri ve oluşan lif kesitleri (Kozanoğlu, 2006).

Düze deliğinden çıkan life filament denir. Bu filamentin kalınlığı ile düze deliği arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki, düzeden çıkan polimerin ilk hızı (V_o) ile sarım hızı (V) oranı olan “üretim çekimi oranı V_o/V ” ile verilir. Erimiş halde delikten akan polimer; alım silindiri ve sarıcının uyguladığı çekim kuvveti ile incelir. Bu esnada polimer lifi soğutulur. Soğuyan lifler katılaşır ve birleştirilerek tek bir lif oluşturulur. Bu tek lif sonrasında spin finish kısmına gelir. Bu kısımda lif bir bakıma temizlenir ve liflerin “iplik kohezyonu” artırılarak iyice bütünleşmesi sağlanır. İplik kohezyonu bütünleşmiş lifin kullanımı sırasında ayrılmasına engel olur. Spin finish bölgesinden sonra lif sarım bobinine gelerek toplanır (Kozanoğlu, 2006).

Yaş üretim tekniği

Yaş lif üretim tekniğinde, polimerin içinde çözünebileceği bir çözücünde içerisine konularak polimer çözeltisi hazırlanır. Hazırlanan çözelti, “koagülasyon banyosu” denilen banyonun iç düzeneğinde bulunan düzeye bir pompa ile sabit basınçla yollanır. Koagülasyon banyosu ismini içerisinde polimerin koagüle olmasından alır. Yani sıvı halde bulunan polimerin düze deliklerinden çıktıktan sonra pıhtılaşarak çökmesi işlemidir. Bu banyo polimerin sıvı halde katı hale geçmesi için hazırlanmış bir banyodur. Yani; asidik bir çözücünde çözünebilen bir polimerin çözeltisi için koagülasyon banyosunda ki sıvı bazik

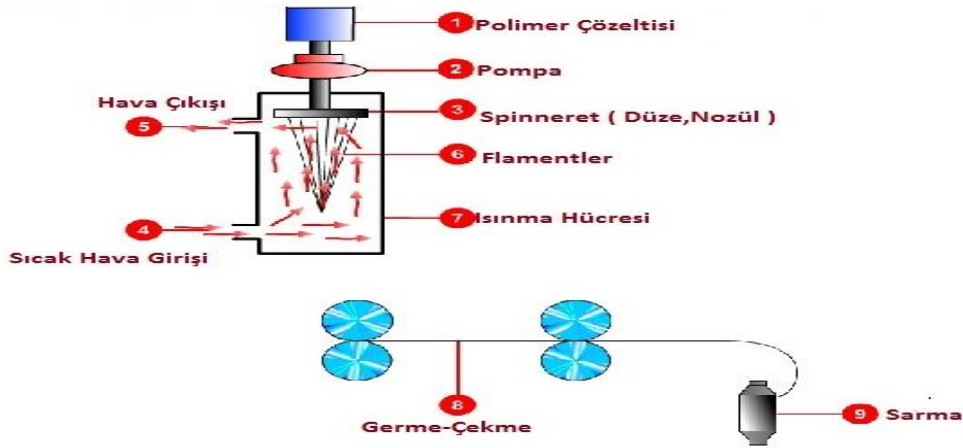
bir sıvı ile doldurulur. Yaş üretim tekniğinin şematik görünümü Şekil 2.13’de verilmiştir (Demir ve Behery, 1997).



Şekil 2.13. Yaş üretim tekniğinin şematik gösterimi (Keser, 2016)

Kuru üretim tekniği

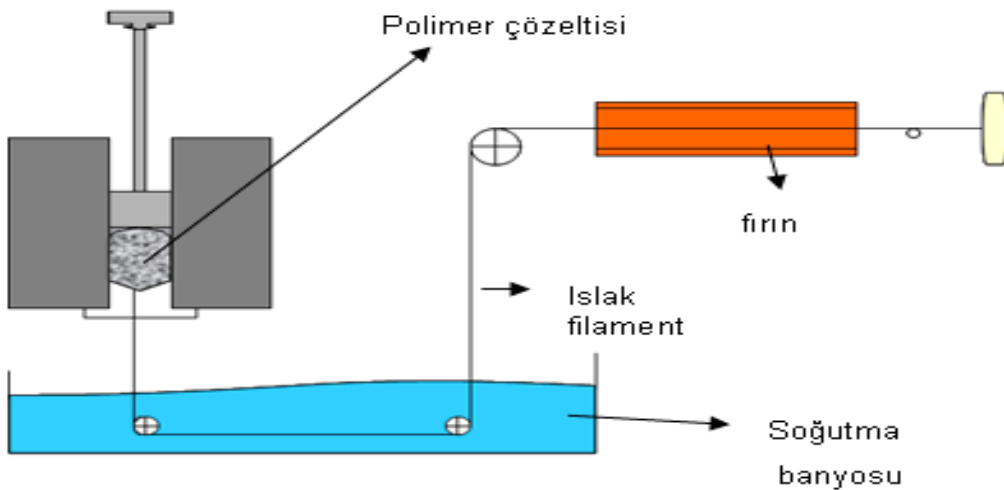
Kuru lif üretim tekniği, polimerin yaş üretim tekniğindeki gibi uygun bir çözücünde çözülmesi ile başlar. Kuru üretim tekniğinde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta; çözücünün çabuk buharlaşabilen bir madde olmasıdır. Yani çözücünün kaynama noktası ne kadar düşükse o kadar iyidir. Hazırlanan polimer çözeltisi ince bir delikten yavaşça, içi sıcak hava akımına maruz bırakılan bir kapalı mekanizmaya püskürtülür. Deliklerden çıkan çözeltide ki çözücü sıcak havanın da etkisi ile buharlaştıktan sonra geriye katı halde polimer lifleri kalır. Aseton ve metilen klorit en çok tercih edilen çözücülerdir. Selüloz asetat ve selüloz triasetat lifleri için hazırlanan çözeltilerde çözücü maddeleri olarak kullanılmaktadırlar. Kuru üretim tekniği esnasında buharlaşan çözücülerin tekrar kullanılması için sistemde geri kazanım yapılır. Kuru üretim tekniğinin şematik görünümü Şekil 2.14’de verilmiştir (Goswami, Martindale ve Scardino, 1977).



Şekil 2.14. Kuru üretim tekniğinin şematik gösterimi (Keser, 2016)

Jel üretim tekniği

Jel üretim tekniği, spesifik bir üretim metodudur. Bu methodda polimer tam olarak sıvı halde değildir. Polimerin zincir yapısındaki değişiklik ile sıvı formu alır. Sıvı formu alan polimer önce hava ortamından sonra da sıvı banyosundan geçerler. Bir bakıma yaş ve kuru üretimin arka arkaya yapılması gibidir. Sıvı banyosundan çıkan lif halindeki polimer soğutulur. Bu işlem yüksek mukavemete sahip aramid ve polietilen liflerinde kullanılır. Jel üretim tekniğinin şematik görünümü Şekil 2.15’de verilmiştir (Barham, P.J., 1986).



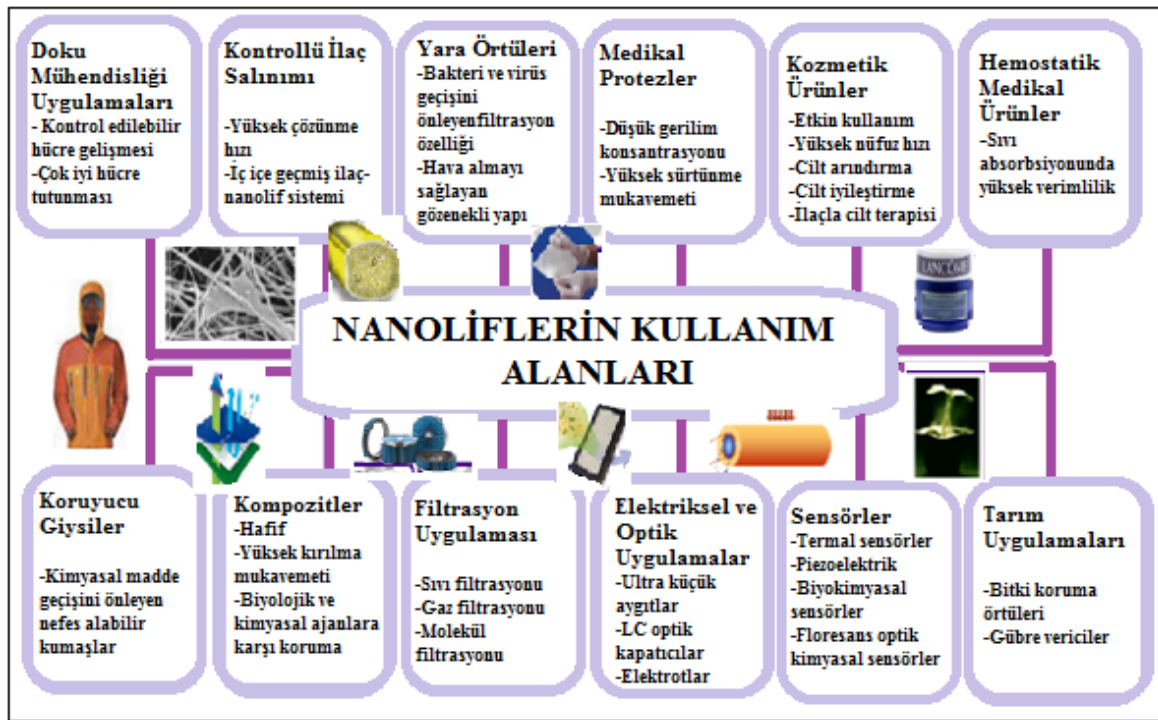
Şekil 2.15. Jel üretim tekniğinin şematik gösterimi (Barham, P.J., 1986)

2.4.2. Nanolif üretim teknikleri

Nanolifler, yakın geçmişten günümüze tüm ülkelerdeki araştırmacıların dikkatini çeken ve üzerinde ciddi çalışmalar yapılan bir malzeme olmuştur. Mevcut kullanılan liflerin

çaplarından çok daha küçük çaplı bir yapıya sahiptirler (Kut ve Güneşoğlu, 2005). Küçük çaplı olmalarına rağmen yapılarında mikro çapa sahip olanlara kıyasla daha az kusur barındırırlar. Aynı zamanda çok iyi mekanik özelliklere sahip olmaları da tercih edilmelerinde büyük rol oynar. Çaplarının küçük olmasından dolayı geniş yüzey alanına sahiptirler. Geniş yüzey alanları ile bünyelerinde farklı iyonlar, gruplar veya nano partiküllü farklı malzemeleri tutma ya da saçma gibi özelliklere sahip olurlar (Celep, 2007).

Nanolifler, malzeme sektöründe çoğunlukla kullanılmalarının yanı sıra Şekil 1.16'da da görüldüğü üzere kendilerine; filtrasyon, sensör, savunma sanayi, bakım ürünleri, tarım, elektronik, ilaç sektörleri, sağlık sektörleri ve benzeri birçok alanda da yer bulmaktadırlar (Üstündağ, 2009).

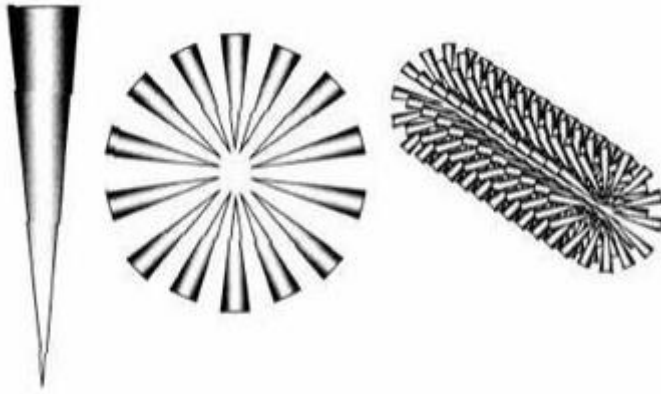


Şekil 2.16. Nanolif kullanım alanları (Üstündağ, 2009)

Yakın gelecekte günümüze; polimer bazlı mikro ve nano fiberler üretebilmek için değişik metotlar denenmiştir ve denenmeye de devam etmektedir. Günümüzde kullanılan yöntemler; kendiliğinden tutunma, faz ayrımı, kalıp sentez, çift bileşenli ekstrüzyon, çekme, eriyik üfleme (meltblown), Kuvvetle döndürme yöntemi, elektrospin (elektro eğirme) yöntemleridir.

Kendiliğinden tutunma yöntemi

Nano boyuttaki lifler küçük molekülleri kullanarak bu moleküllerin aralarındaki çekim kuvvetlerinden de yararlanarak üst üste birleşirler. Moleküllerin aralarındaki çekim kuvveti kendiliğinden tutunma yönteminin en önemli noktasıdır. Bu moleküller kendi aralarında ortak merkez olacak şekilde bağ yaparlar. Sonrasında ise birleşerek nanofiberleri oluştururlar (Şekil 2.17) (Dinç, 2013).

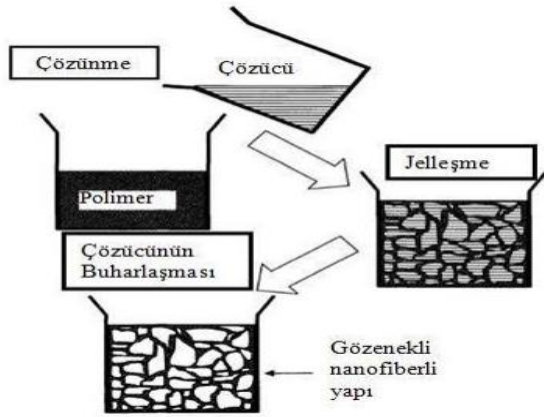


Şekil 2.17. Kendiliğinden tutunma yöntemi ile oluşturulan nanofiberler (Ramakrishna, Fujihara, Teo, Lim ve Ma, 2005)

Faz ayrımı yöntemi

Faz ayırma yöntemiyle nanofiber üretimi Şekil 2.18’de de görüldüğü üzere 5 aşamada gerçekleştirilir.

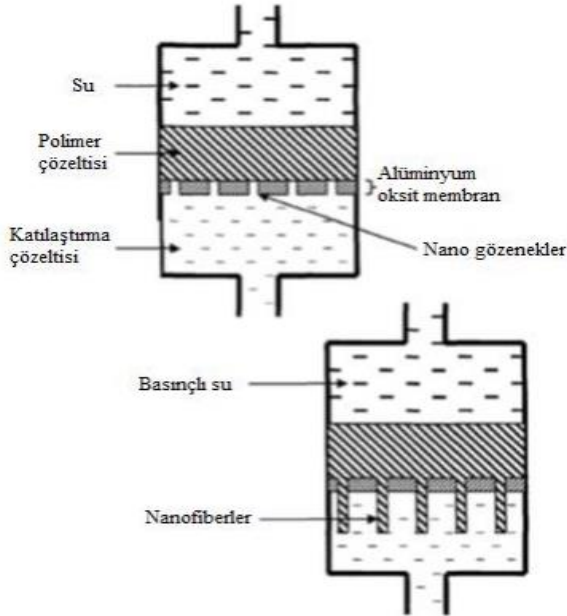
- i) Polimer çözme: Kullanılacak polimerin yapısına uygun yani içerisinde kolaylıkla çözünebileceği bir çözücüde çözülerek çözelti hazırlanır.
- ii) Jelleşme: Mevcut çözelti içerisine jelleşme sağlaması için gerekli olan kimyasallar katılarak soğuk ortamda teflon bir şişe içerisinde dinlendirilir.
- iii) Çözücü uzaklaştırma: Şişe içerisinde bulunan çözeltideki çözücü uzaklaşsın diye şişe içine saf su konularak iki gün şişe ağzı açık bekletilir. Bu zaman içerisinde ise konulan su her gün 3 defa değişir.
- iv) Dondurma: Şişede su içerisinde oluşmuş jel dışarı alınır. Filtre kağıdı ile süzme işlemi gerçekleştirilir. Donma işlemi için -18°C de 2 saat tutulur.
- v) Soğuk kurutma: 2 saatin sonunda donmuş jel soğuk kurutma kanallarına gönderilir. Sonrasında ise bu kısımda -55°C de 1 hafta tutulur (Dinç, 2013).



Şekil 2.18. Faz ayırımı yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramarkrishra ve diğerleri, 2005)

Kalıp sentez yöntemi

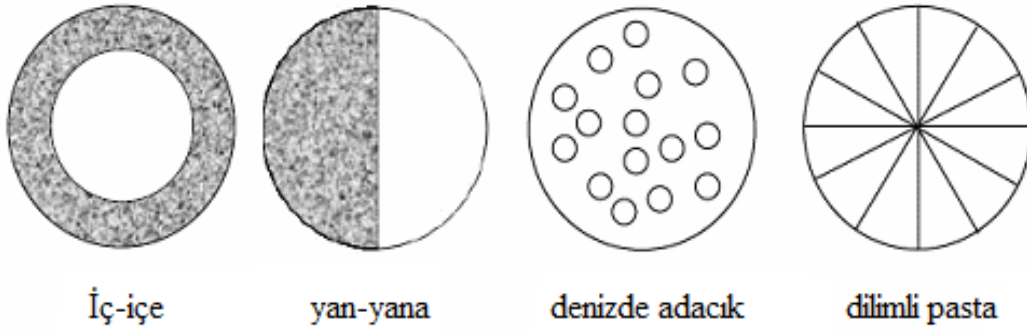
Bu yöntemde; liflerin üretimi nano boyutta odacıkların olduğu metal oksit bir kalıpta gerçekleşmektedir. Şekil 2.19’da görüldüğü üzere polimer eriği bu kalıplara dökülür. Sonrasında tazyikli su verilerek kalıp içindeki bu polimer eriği nano boyutlu odacıklardan akar. Akma sonucu polimer eriği katılaştırma çözeltisi ile birleşir ve nanofiberler meydana gelir. Elde edilen bu nanofiberlerin çaplarını içine döktüğümüz kalıptaki nano boyutlu odacıklar belirler. Bu odacığın boyutu ile nanofiberin çap boyutu aynı olmaktadır (Kiper, 2018).



Şekil 2.19. Kalıp sentezi yöntemi ile nanofiber üretimi (Kiper, 2018).

Çift bileşenli ekstrüzyon yöntemi (bikomponent)

Bikomponent tekniği ile nanolif üretiminde; tek bir lifi oluşturmak için iki ayrı polimerin tek bir düzeden akıtılması işlemidir. Bikomponent lifler; enine kesit alanının morfolojik görüntüsünden kaynaklı olarak; Şekil 2.20’de görüldüğü gibi içi-içe, yan-yana, denizde adacık ya da dilimli pasta bikomponent lifler olarak sınıflandırılırlar (Üstün, 2011).

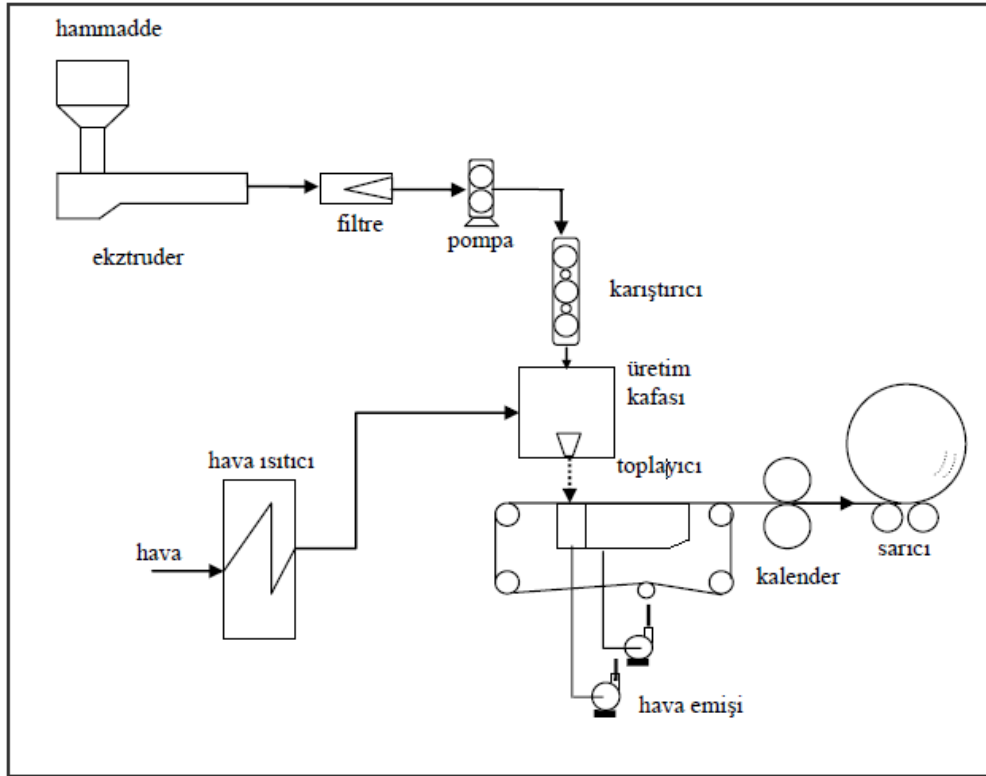


Şekil 2.20. Bikomponent lifleri enine kesitlerinin tepeden görünümü (Hatiboğlu, 2006)

Eriyik üfleme (meltblown) yöntemi

Meltblown tekniği ile lif üretimi, ufak çaplı liflerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Literatürde bu yöntemle üretilen lif çaplarının 30 μm 'ye kadar olduğu belirtilmiştir (Kozanoğlu, 2006). Meltblowing tekniği aynı zamanda eriyik üfleme metodu olarak da geçmektedir. Bu metotta polimer eriği; yüksek basınçlı sıcak hava üflenene düzeden çıkarken inceltir. İncelmiş olan lifler taşıyıcı bant üstünde yayılarak kalenderlerden geçer. Kalenderlerden geçen lifler son olarak tamburda toplanır. Meltblown tekniği ile nanolif üretimi Şekil 2.21’de şematik olarak gösterilmektedir.

Meltblown tekniği sonunda oluşan lifler; düzensiz elyaf yapısındadırlar. Aynı zamanda maksimum yüzey alanına sahip olmalarından kaynaklı mükemmel yalıtım ve filtreleme özelliklerindedirler (Dalton, Calvet, Mourran, Klee ve Möller, 2006).

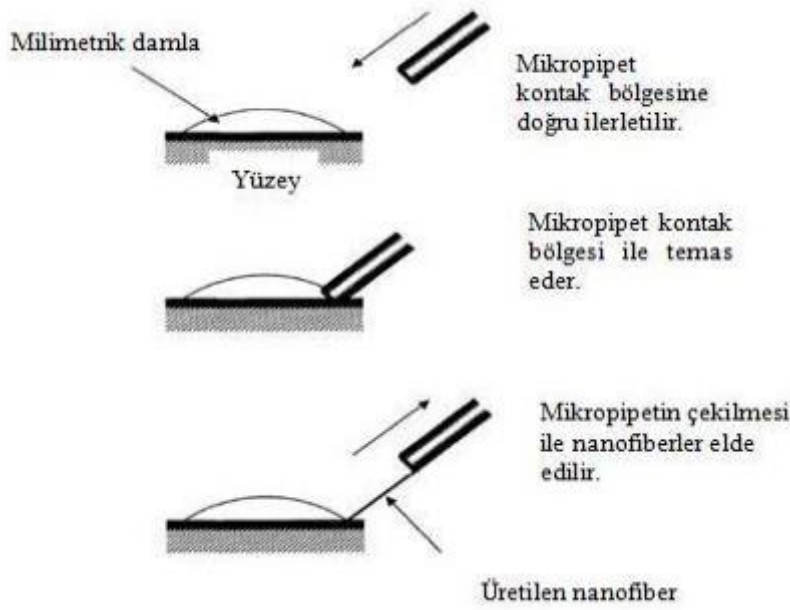


Şekil 2.21. Meltblown tekniği ile nanolif üretiminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006)

Bu metottaki düze çıkış çapları 0,1 ile 0,15 mm aralığında olmasından dolayı polimerin 1000 veya daha fazla “Eriyik Akış Hızı İndeksi” ne (MFI: Melt Flow Index) sahip olması gerekmektedir (Koç ve Demiryurek, 2004).

Çekme yöntemi

Bu yöntem bazı kaynaklarda çizme yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Polimer tamamen çözüneceği bir çözücü içerisinde çözünür. Elde edilen polimer eriğinden bir damlacık alınarak düzgün bir yüzeye damlatılır. Küçük çaplı bir mikropipet, bir mikro manipülatör desteği ile yüzeydeki polimer damlacığına daldırılır (Şekil 2.22). Mikropipet damlacıktan 10^{-4} m/s hız ile geri çekilir ve nanofiberler bu geri çekme esnasında yüzeyde toplanırlar. Aynı damlacıkla mevcut yöntem birden çok defa tekrarlanır. Bu esnada ortam sıcaklığının etkisi ile damlacıktaki çözücü zamanla buharlaşır ve damlacık viskoz hale gelir. Viskozitesinin düşük olduğu anda fiber çapı daha küçükken viskozitesi arttıkça çap kalınlığı da artar (Kiper, 2018).



Şekil 2.22. Çekme yöntemi ile nanolif üretimi (Ramarkrishra ve diğerleri, 2005)

Kuvvetle döndürme yöntemi

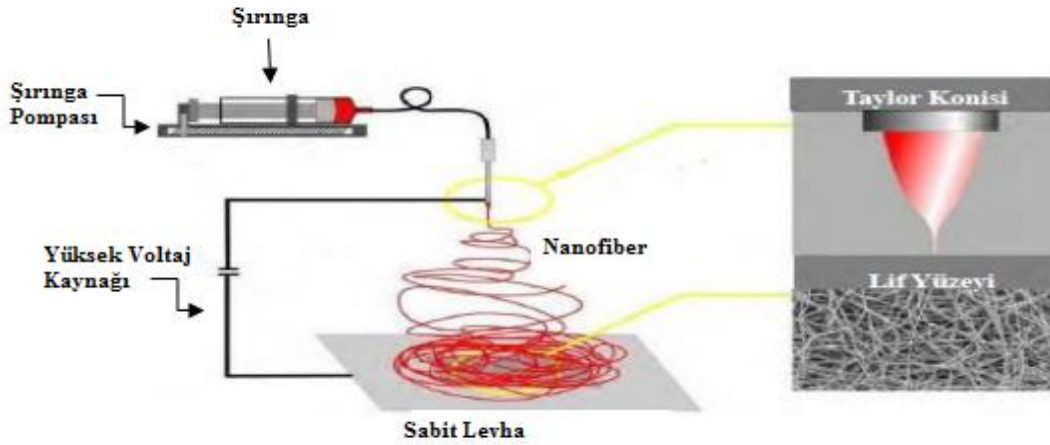
Elektrospın yönteminde elektrik kuvveti kullanılırken, bu yöntemde ise santrifüj kuvvetinden yararlanılmaktadır. Yüksek hızla dönen bir tabla üzerine ısıtılmış Eriyik haldeki polimerlerin damlatılması sonucu nanofiber üretilmesi işlemidir. Eriyik haldeki polimerler termal bozulmaya maruz kalabilirler. Bu yöntemle üretilen liflerin çapı 1 μm 'den daha büyüktür (Esentürk, 2018).

Elektrospın (elektro eğirme) yöntemi

Elektrospın yöntemi; pratikte uygulanabilirliği kolay, az maliyetli, istenilen özelliklerde, ihtiyaca yönelik nanolif üretimine imkân sağlayan bir uygulama olmasından dolayı en çok tercih edilen nanolif üretim metodudur (Abrigo, McArthur ve Kingshott, 2014; Heunis ve Dicks, 2010).

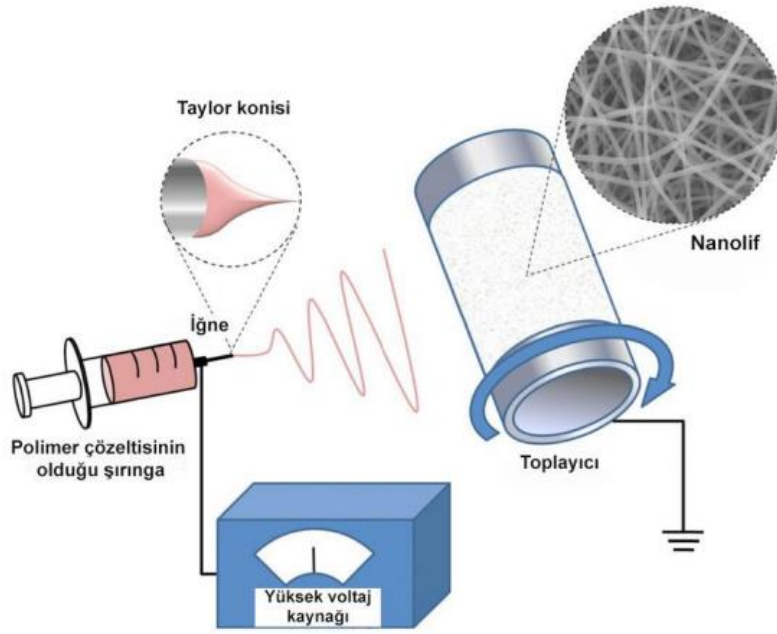
Bu yöntem ilk olarak 1897'de Rayleigh tarafından uygulanmıştır. 1900'lü yılların başlarında Zeleny tarafından elektrospın yöntemi çok yönlü ve ayrıntılı bir şekilde araştırılmaya devam edilmiştir. Formhals ise 1934 tarihinde bu yöntemin patentini alan isim olmuştur (Chen, Li ve Besenbacher, 2014; Pillay ve diğerleri, 2013).

Elektrospın tekniğinde; sistemin 4 ana bölümü vardır. Bunlardan ilki; eriyik haldeki polimerin akış hızı kontrolünü sağlayan “şırınga pompası”, ikincisi; eriyik haldeki polimerden nanolif oluşumunu gerçekleştiren “yüksek voltaj kaynağı”, üçüncüsü; eriyik haldeki polimeri sistemin içine gönderen “şırınga iğnesi”, son olarak dördüncüsü ise; elde edilen liflerin toplandığı hareketsiz levha veya döner tambur “toplayıcı” (Şekil 2.23) (Rim, Shin CS ve Shin H, 2013; Kai, Liow ve Loh, 2014).



Şekil 2.23. Elektrospın yönteminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006)

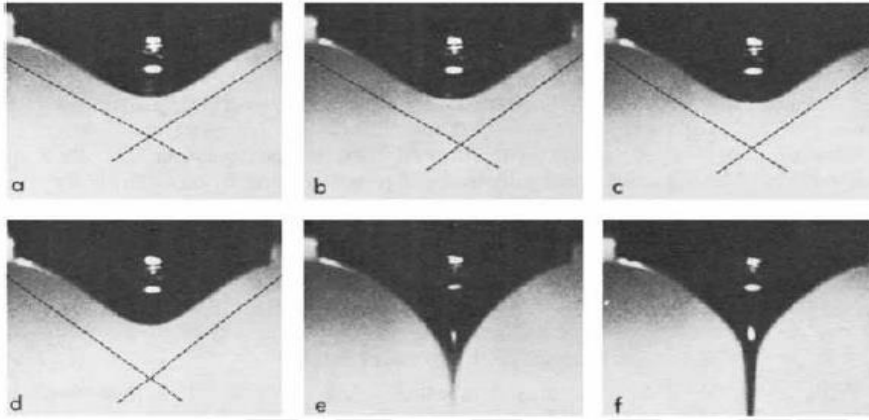
Elektrospın uygulamasında; polimer için en uygun çözücü seçilerek polimer çözeltisi hazırlanır. Bu hazırlanan çözeltinin viskozitesi çok önemlidir. Çok viskoz olmaması gerekmektedir. Hazırlanan çözelti şırıngaya doldurulur. Şırıngadaki iğneye yüksek voltaj kaynağının artı (+) elektrodu, tam karşısına denk gelecek şekilde belli bir uzaklığa konumlandırılan alüminyum tambur veya düz levhaya da yüksek voltaj kaynağının eksi (-) elektrodu takılır. Şırınga iğnesinde oluşan polimer damlası gerekli olan voltaj değerine kadar, damla yüzeyindeki kohezyon kuvvetlerden kaynaklanan yüzey gerilimi sonucu küre şeklini korur. Uygulanan potansiyel fark belirli bir değere ulaştınca elektrostatik kuvvetler ile yüzey gerilimi kuvvetleri eşitlenir. İşte bu anda polimer damlası küre şeklinden çıkarak koni şeklini alır. (Şekil 2.24). Bu koniye, Taylor konisi denir.



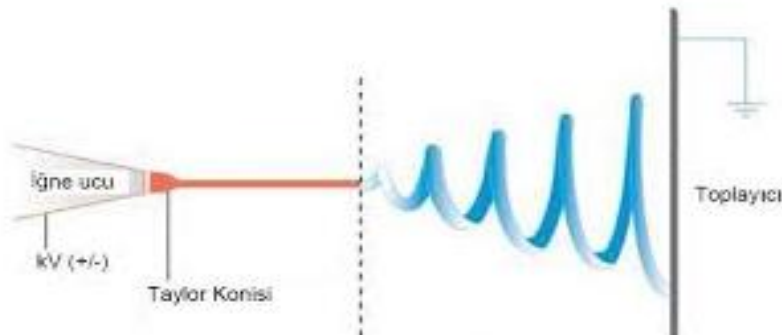
Şekil 2.24. Elektrospin işlemi esnasında oluşan taylor konisi (Rim ve diğerleri, 2013)

Şırınganın ucundaki iğneye belirli bir örneğin 25 kV’lık bir elektrik alan uygulandığında şırınganın ucunda oluşan eriyik haldeki polimer damlası önce “Taylor konisi” olarak isimlendirilen konik şekil oluşturur. Sonrasında Taylor konisinden “polimer jeti” denilen fiberler fırlarlar. Şekil 2.25’de eriyik haldeki polimerin yarım küre şeklindeki damlasının (a), Taylor konisine dönüşü (b,c) ve Taylor konisini oluşturması (d), sonrasında ise eriyik haldeki polimerin jet olarak çıkışı görülmektedir. Yüksek gerilime maruz kalan lifler kaotik bir yörüngeyi izleyerek ilk önce kararlı bir şekilde hareket eder. Sonrasında ise jette kararsızlık başlar. Üç farklı kararsızlık hali vardır. Bu kararsız haller eriyik haldeki polimerle, sistem şartlarıyla ve de çözücü özellikleriyle orantılıdır. alüminyum tambura gelişi güzel bir şekilde saçılırlar. Bunlar; Rayleigh kararsızlığı, Eksenel simetrik alan akımlanması ve Whipping kararsızlığıdır (Shin, Hohman, Brenner ve Rutledge, 2011). Şekil 2.26’da da görüldüğü gibi ilk önce kararlı halde fırlayan jet, sonrasında bu kararsızlık hallerinden kaynaklı gelişi güzel saçılmalarla tambur üzerine sarılır. Jetlerin fırlamasından tambur üzerine sarılması arasındaki yolda fiber jetlerinin üzerindeki çözücü buharlaşır. Jetler katı nanofiberler olarak tambura sarılırlar. Çözücünün buharlaşması ortam sıcaklığıyla ve mesafeyle ilgilidir. Ortam sıcaklığının yüksek olması hızlı bir şekilde çözünün buharlaşmasına neden olacağı için oluşacak nanoliflerin çap kalınlıkları artacaktır (De Vrieze ve diğerleri, 2009). Ortamın bağıl nemi de sıcaklık gibi nanofiberlerin çap kalınlığının etkileyen diğer bir parametredir. Hidrofobik yapıya sahip polimerler; organik

kökenli bir çözücü içinde çözüldüğünde, ortamdaki nem çözelti için uygun değildir. Bu şekilde bağıl nemin yüksek olduğu durumlarda; oluşan nanofiberlerde gözenekli yapılar oluşur. Su ihtiva eden polimer çözeltilerinde ise düşük nemli ortamlarda çözücünün hızlı buharlaşması gerçekleşir ki bu da sıcaklıkta olduğu gibi nanofiberlerin çap kalınlığını arttırır (Pelipenko ve diğerleri, 2013; Maleki, Latifi, Amani-Tehran ve Mathur, 2013).



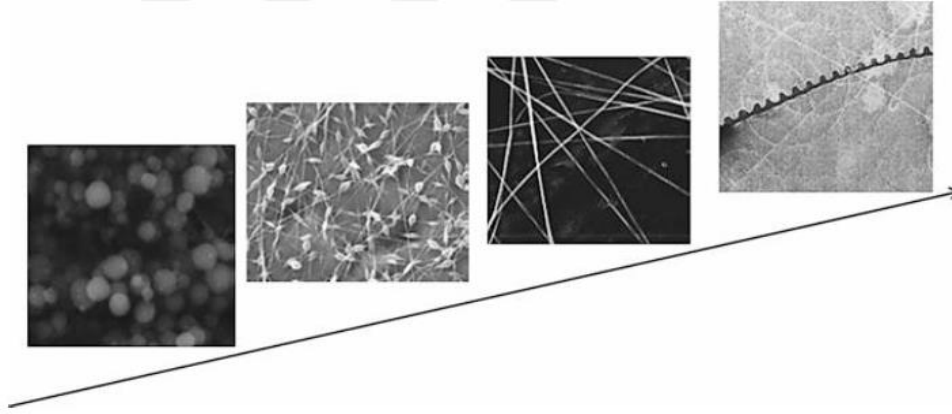
Şekil 2.25. Polimer damlacığının Taylor konisinden jet oluşumuna doğru şekil değiştirmesi (Evcin, 2017)



Şekil 2.26. Taylor konisinin şematik gösterimi (Evcin, 2017)

Nanofiber eldesinde polimerin cinsi önemlidir. Yüksek molekül ağırlığı ihtiva eden polimerler düşük molekül ağırlığı ihtiva eden polimerlere göre daha uygundur. Yüksek molekül ağırlığına sahip polimerlerin molekül etkileşimleri daha çoktur. Düşük molekül ağırlığına sahip olanlar ise, lineer yapıda olmamalarından dolayı bu tarz polimerlerden nanofiber üretmek zordur (Gupta, Elkins, Long ve Wilkes, 2005; Rošic ve diğerleri, 2012). Düşük konsantrasyona sahip polimer çözeltisinin yüzey geriliminden kaynaklı olarak polimer eriyiği tambura ulaşmadan damla şeklinde düşebilmektedir. Yüksek konsantrasyona sahip polimer çözeltisi ise viskoz olduğundan dolayı nanofiberlerin çap

kalınlığı artmaktadır. Çok düşük konsantrasyonlu üretimlerde elektrospin değil elektropüskürtme denilen olay gerçekleşmektedir. Konsantrasyon yükseldikçe Şekil 2.27’de ki SEM görüntüsü anlamında fiberleri incelediğimizde sırasıyla; en düşük konsantrasyonda boncuk yapı, hafif konsantrasyon da boncuk ile fiber yapı, optimum konsantrasyonda ise tam fiber yapı, çok yoğun konsantrasyonlarda da mikroribonlar gözlemlenecektir (Cramariuc ve diğerleri, 2013).



Şekil 2.27. Düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona doğru SEM görüntüleri (Li, Wang, 2013)

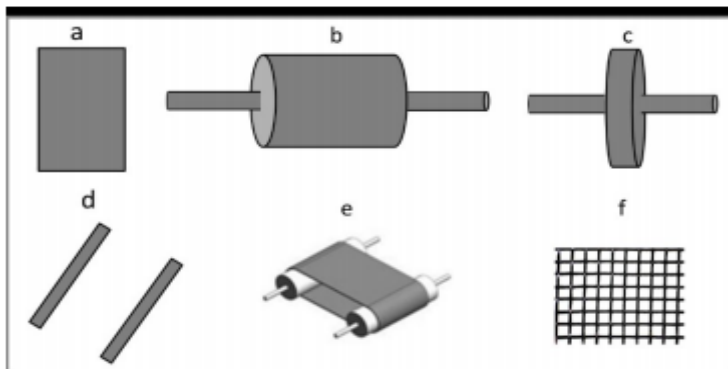
Çözelti viskozitesi fiberin morfolojik yapısı açısından dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Çok düşük viskoziteli çözeltilerin şırıngadan tambura ulaşmadan düşmeleri olasıdır. Ulaşılar bile boncuklu bir yapı oluştururlar ki bu da istenmeyen bir durumdur. Çok yüksek viskoziteli çözeltilerde ise şırınga ucunda donmalar olur veyahut kalın fiber yapılar oluşturur. Sistemin tıkanması veya mikro boyutlu fiber oluşumu da yine istenmeyen olaylar arasındadır. Bu iki durumun gerçekleşmemesi açısından optimum viskoziteye sahip bir çözelti hazırlanmalıdır.

Çözücünün kaynama noktası da elektrospin için önemli bir parametredir. Çözücülerin kaynama noktasının çok düşük olması çözelti şırınganın ucundayken çözücünün buharlaşmasına ve polimerin şırınganın ucunda katılaşmasına neden olmaktadır. Bu da sistemde tıkanmalara yol açar. Kaynama noktasının çok yüksek olması ise şırınga ucundan çıkan çözeltideki çözücünün tambura kadarki mesafede buharlaşmamasına ve boncuk oluşumuna neden olmaktadır. Bu istenmeyen olayların olmaması için orta kaynama noktasına sahip en uygun çözücünün seçilmesi gerekmektedir (Koski, Yim, ve Shivkumar, 2004).

Elektrospın işleminde diğér önemli parametre ise kullanılan voltaj değeriğir. Çoğunlukla 6-40 kV arası voltaj kullanılmaktadır. 6 kV'dan düşük voltaj değeriğinde Taylor konisi oluşamaz ve spinleme işlemin gerçekteştirilemez. İletkenliğı az, yüzey gerilimi ve viskozitesi fazla olan polimer eriğı için yüksek voltaj değeri kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen nanofiberlerin çapı küçüktür (Cramariuc ve diğeri, 2013).

Başka bir parametre de; şırınganın ucu ile tambur arasındaki uzaklıktır. Bu uzaklık ayarlaması iyi yapılmazsa yani yakın bir mesafede konumlandırılırsa fiberler içinde damlacık oluşumu gözlemlenir. Mesafenin artmasıyla küçük çaplı nanofiberler elde edilir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Şırınga pompası da elektrospın için önemli ve fiber çapı açısından incelenen parametrelerden bir diğeriğir. Şırınga pompası çözeltinin akış hızı ayarının yapıldığı yerdir. Çoğunlukla, eriyik polimerin kutuplaşma açısından gereken zamandan dolayı düşük akış hızı tavsiye edilmektedir. Akış hızı fazla ise, tambura gelmeden önce kuruma süresinin az olması ve düşük gerilme kuvvetleri sebebiyle küçük çaplı fiberler yerine kalın çapa sahip fiberler ve damlacıklı yapılar oluşur (Li, ve Wang, 2013).

Toplayıcının şekli ise nanofiberlerin dağılımı ve morfolojisi açısından çok önemlidir. Düz bir levha ile elde edilen nanofiberler rastgele dağılım gösterirken dönen bir tamburla elde edilenler genellikle düz bir hizadadır. Şekil 2.28'de de görüldüğü gibi farklı şekillerde birçok toplayıcı elektrospın yönteminde kullanılmaktadır (Bhardwaj ve Kundu, 2010 Esentürk, 2018).



Şekil 2.28. Elektrospinde kullanılan toplayıcılar; a) sabit plaka, b) döner silindir, c) döner disk, d) paralel çubuklar, e) döner bant ve f) tel ızgara (Şimşek, 2018).

Elektrospin tekniğinde kullanılan polimerlerin birçok çeşidinin olmasından dolayı farklı özellikli malzemeler üretimi için farklı nanofiberler üretilebilmektedir. Üretilen nanofiberlerinde; hafif, ince ama buna rağmen yüksek mukavemete sahip olması, aynı zamanda iletkenlik (ısı-elektrik) gibi özelliklerinde istek doğrultusunda eklenebilirliği, kompozit, filtre, biyomedikal, savunma, sanayi, doku mühendisliği gibi birçok alanda kendinlerine yer bulmalarını sağlamıştır.

2.5. Kompozit Malzeme

Kompozit kelime anlamı olarak karma demektir. Kompozit malzeme ise; makro ölçüde bir araya gelen, birbiri içinde çözünmeyen, iki veya daha fazla malzemenin birleşmesi ile oluşmuş malzemelerdir. Meydana geldiği malzemelerden farklı yeni özellikte olmaktadır.

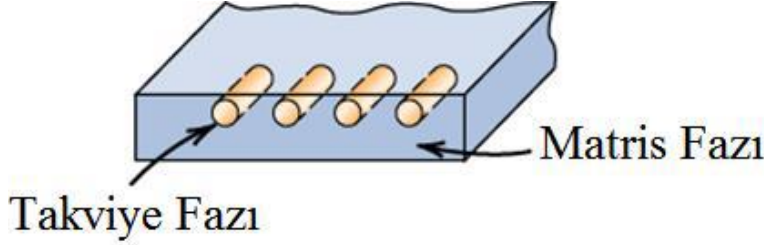
Kompozit malzemelere ilk olarak M.Ö. 4000-2000 arasında polimerik malzemelere zift takviyesiyle Babil ile Mısır ve Mezopotamya’da kamışlara bitüm karıştırılmış nehir kayıkların da rastlanmaktadır. Ek olarak; aynı tarihlere denk gelen Mısır’daki mumyalamada kullanılan keten teypler ile doğal kauçuk karışımları da ilk kompozit malzemelere örnek verilebilir. Uzun yıllar önce yapılan kerpiç evler de yine kompozit malzemelerin örnekleri arasında yerini almaktadır.

1930’ların başların da Amerika’da cam elyafın keşfi ile kompozit malzeme kullanımı farklı bir boyut kazanmıştır (Kaya, 2016).

Kompozitlerin tarihsel bazlı gelişimine bakacak olursak 1940’yı yıllarda cam fiber takviyeli kompozitler, 1960’lı yıllar da yüksek performanslı kompozitler, 1990’lardan günümüze kadar gelen hibrid malzemeler ve nanokompozitler olarak sıralayabiliriz (Beşergil, 2016).

Kompozit malzemeler temel olarak iki fazdan oluşur. Bunlar Şekil 2.29’da görüldüğü gibi matris fazı ve takviye fazıdır. Matris faz ile takviye fazının birleşmesini sağlayan bir de ara yüzey vardır. Takviye fazı olarak çoğunlukla cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır. Matris fazı olarak kullanılan malzemeler ise metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir. Matris fazı bir ara yüzey bağlayıcı ile takviye fazına bağlanır. Matris fazı ile takviye fazının birbirine bağlayan ara yüzey kırılğan yapıdadır. Ara yüzey elemanı malzemenin elastikiyet modülünü etkiler, bundan dolayı ara yüzey elemanının

seçimi ve uygulanma basamakları malzemenin kırılmaması ve dayanımı açısından çok önemlidir (Qu, 1993).

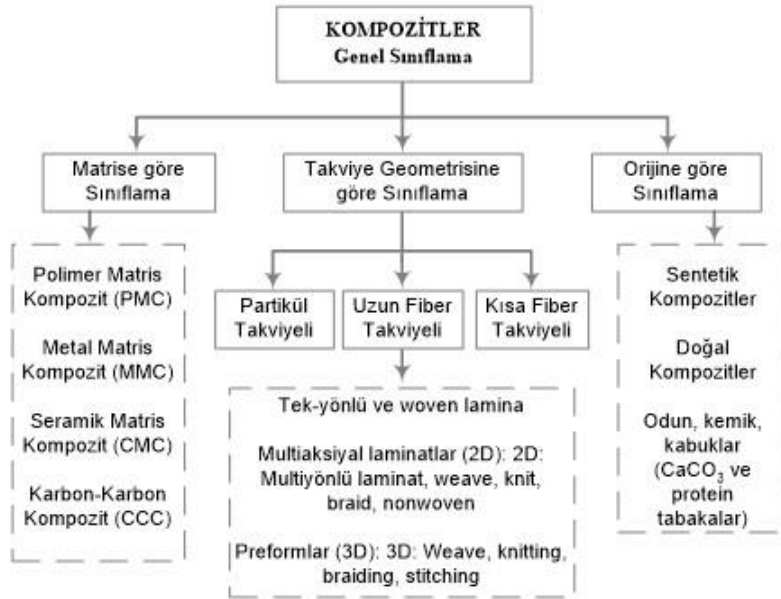


Şekil 2.29. Kompozit malzeme fazları (Callister ve Rethwisch, 2013)

Kompozit malzemeleri diğer standart malzemelerden ayıran en önemli özellikleri; mukavemet, dayanım, iletkenlik (ısıl ve elektriksel) ve gramajdır. Bu tarz özellikler uygulama alanına göre kompozit malzemelerde malzemenin yapısına eklenebilir ve yeni üretilen tek bir malzeme, standart iki veya üç malzeme yerine kullanılarak maliyeti de düşürmektedir.

2.5.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Şekil 2.30'daki gibi kompozit malzemelerin genel bir sınıflandırılması yapılabilir.



Şekil 2.30. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Beşergil, 2016)

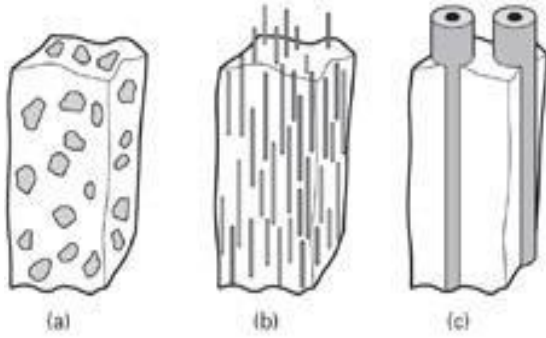
Orijine göre kompozit malzemeler

Orijine göre kompozit malzemelere bakılacak olursa; sentetik kompozitler sanayi tipi üretimlerdir. İlk önce kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler imal edilir sonrasında bunlar kullanılarak kompozit malzemeler elde edilmektedir.

Doğal kompozitler ise; doğanın bir parçası olan biyolojik yapıya sahip kompozitlerdir. En bilindik örnek olarak diş ve kemikler verilebilir.

Takviye fazına göre kompozit malzemeler

Takviye fazı; geometrik yapılarına göre sıralanmaktadır ki bunlarda; parçacık takviyeli, kısa fiber takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.31). Takviye fazının çeşidi kompozit malzemenin özelliklerini ve üretim şekillerini değiştirmektedir.



Şekil 2.31. Kompozit malzeme takviye şekilleri; (a) Parçacık Takviyeli (b) Kısa fiber takviyeli (c) Sürekli fiber takviyeli (Meyers ve Chawla, 2008)

Parçacık takviyeli kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler; minimum iki parçacığın ilave edilmesi ile oluşturulan kompozitlerdir. Sürekli fiberler takviyeli kompozit malzemelerine kıyasla daha izotropik özelliktedirler. Parçacık takviyeli kompozitler dört bir tarafından da çoğunlukla aynı özelliği sergilerler. Pul, pelet, granül, küre, disk olarak farklı morfolojik yapılara sahip veyahut belirgin bir şekli olmayan parçacıklar bu gruptadırlar (Saçak, 2005).

Parçacığın boyutu bu sınıftaki kompozit malzeme için çok önemlidir. Mikron boyutundakiler bu sınıfta yer alırken nano boyuttaki parçacık takviyeliler dispersiyon ile sertleştirilmiş sınıfında yer almaktadır. Dispersiyon ile sertleştirilmiş kompozitler de partikül-matris arasındaki iletişim atomik veya moleküler seviyededir. Dispersiyon ile sertleştirilmiş kompozitler de maruz kalınan yükün önemli kısmını matris taşıyarak geri

kalan yükü de dispers partiküller taşımaktadır. Bu şekilde plastik deformasyon kontrol altında tutulur, gerilme kuvveti ve sertlik düzenlenir.

Kompozit malzemenin mukavemeti veya sertliği doğrudan takviye fazının sertlik ve mukavemetine bağlıdır. Partikül takviye malzemeleri metal, seramik veya polimer matrisler ile bağlanabilmektedirler (Schwartz, 1984; Sabancı, 2005).

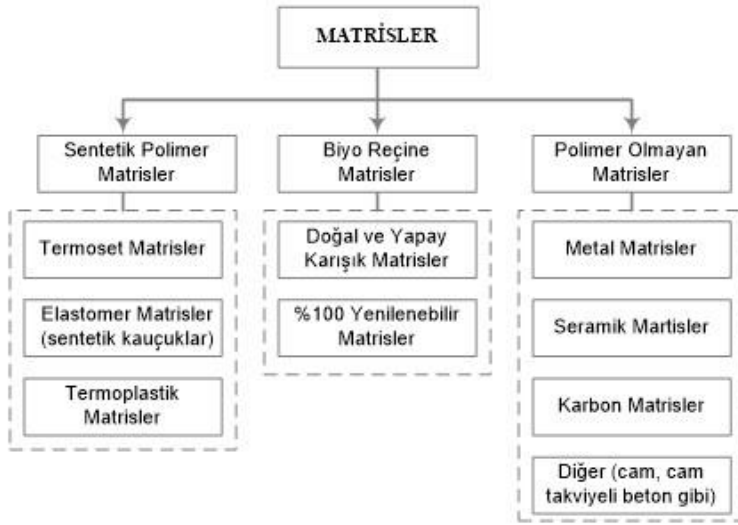
Takviye fazının etkisinin fazla olabilmesi, matris fazı içerisinde homojen bir şekilde yayılmasına bağlıdır. Kompozit malzeme de ki özellikler; takviye fazı ile matris fazı arasındaki hacimsel orana bağlıdır (Callister ve Rethwisch, 2013).

Kısa fiber takviyeli kompozitler

Kısa fiber takviyeli kompozitler; ortalama 1-5 μm çaplı, 0,5-6 mm boyundaki fiberlerin kullanımı ile üretilmektedirler. Kısa fiber takviyeli kompozit malzemelerin verimi sürekli fiber takviyeli kompozitlere göre az olmasına rağmen kullanım alanı daha geniştir ve çok daha yüksek kuvvete sahiptirler. Bu tarz kompozit malzemeler de genellikle cam fiberler kullanılması yanında karbon ve aramid içerikli olanlarında kullanım alanları giderek artmaktadır. Kısa fiber takviyeli kompozitler de fiberler yapı içinde geliş güzel şekilde dağılmışlardır (Callister ve Rethwisch, 2013).

Sürekli fiber takviyeli kompozitler

Sürekli yani bir nevi dizili fiberler; en etkili takviye elemanlarıdır ve özellikle yüksek performans kompozitlerde çokça tercih edilirler. Bu tarz kompozitler de, fiberlerin kompozit içerisinde belli bir dizilimde olmaları büyük bir avantaj sağlar. Tek yönlü çekmelerde, dizili şekilde bulunan fiberlerden kaynaklı maksimum performans elde edilir. Fakat fiberin dizilimi açısından eksene dik doğrultuda düşük özelliklere neden olurlar ki bunun nedeni bu doğrultudaki gerilimlerde matrisin dayanımıdır. Fiber dizilimine hem dik hem yatay doğrultuda kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri arttırmaya yönelik farklı açılarda eklemeler yapılarak daha iyi özelliklerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir (Şahin, 2000). Aynı şekilde diğer uygulamalarda da örneğin; çarpma, iletkenli, genleşme gibi, fiberlerin dizilimi kritik rol oynamaktadır. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerde fiberler genellikle dokuma şeklinde kompozitin içerisine yerleştirilmektedir. Bu dokuma iki yönlü olursa kompozit malzemenin mekanik testlere dayanımı iki yönlü, üç boyutlu olursa da her üç yönden dayanımı artmaktadır. Üç boyutlu dokumaların, tüm katmanları



Şekil 2.33. Matris fazı sınıflandırılması

Partikül takviyeli kompozitlerde; matris fazı, fiber takviyeli kompozitlerdekinden çok farklıdır. Partikül takviyeli kompozitlerde matris fazı, bir nevi yığın bağlayıcısıdır. Fiber takviyeli kompozitlerde ise matris fazının görevleri iki türdür. Birincisi fiberleri birlikte tutar, ayrılmamalarını sağlar ve bu sayede malzemenin maruz kaldığı gerilimin büyük bir kısmını fiberlere yönlendirerek matris fazın az bir gerilmeye maruz kalmasını sağlar. Bu sebepten fiber kadar olmasa da matrisin de esnek yapılı olması gerekir. Diğer bir görevi de, yapısında bulunan takviye fazını mekanik deformasyonlardan, kimyasal reaksiyonlardan korumasıdır. Takviye fazında oluşabilecek yıpranmalar veya aşınmalar sonucu malzemenin dayanımı düşecek ve az bir gerilmeye maruz kalması sonucun da dahi çökmeler, kırılmalar kolaylıkla gerçekleşebilecektir. Ayrıca matris elemanı, yapısındaki takviye elemanlarını birbirinden ayrı tutmaya da yaramaktadır. Bu sayede takviye elemanlarının iletişimi engelleyerek olası bir kırılma durumunda ilerlemenin önüne geçebilmektedir.

Matris ve takviye elemanı arasındaki bağın sağlamlığı, takviye elemanının matristen kopmasını ya da sıyrılmasını zorlaştırmakla kalmaz olası kırılmaların ilerlememesi açısından bir set oluşmasını da sağlar. Ek olarak, kompozit malzemenin kullanılacağı sıcaklığı da matris fazı belirlemektedir (Umeco, 2012). Moleküller arasındaki kimyasal bağa göre plastikler, termoplastikler ve termoset plastikler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu plastiklerin sınıflarına göre polimerler kompozit malzemeleri de iki gruba ayrılabilirler; Termoplastik ve termoset esaslı kompozitler.

Termoset plastikler bir kez şekil verilip ısıtılmalarından sonra tekrar eritilip kullanılamayan plastiklerdir. Şekil verilmeleri için sıcaklık ve basınç etkisi gerekmektedir. Bu etkiler sonucu yapısal anlamda değişiklikler olarak bağlar arasında üç boyutlu çapraz bağlar oluşur. Bu bağlardan dolayı malzeme tekrar bir ısıtma veya basınç etkisiyle eritilemez veya şekil değişikliğine uğramaz. Sadece çok yüksek sıcaklıklara çıkılırsa yapısal bozulmalar gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra termosetler uzun ömürlü, düşük viskoziteli ve kimyasal etkilere karşı dirençli malzemelerdir.

Termoplastikler ise moleküller aralarında zayıf Van der Waals bağları oluşturdıkları için tekrar tekrar kullanıma elverişlidirler. Termoset plastiklere nazaran matris fazında kullanımları azdır. Fakat ileri derece kırılma tokluğu, kullanım ömürlerinin fazla olması, tekrar kullanılabilirlikleri ve sertleşme prosesinde organik çözücülere gerek olmamasından kaynaklı avantajlara sahiptirler.

Termoset matrisler

Termosetler, kompozit malzeme elde edilmesinde en çok tercih edilen matris malzemeleridir.

Kompozit malzeme üretimi esnasında, fiber ve matris malzemelerinin birleşmelerinde sonra malzeme istenilen şekle sokulabilmek için ısı veya katalizör uygulamalarına tabii tutularak malzeme katılır. Bu işlemler esnasında malzemede polimerizasyon başlar. Akışkan halde bulunan termoset malzeme rijit hale gelir. Bu esnada moleküller arasında üç boyutlu çapraz bağlar oluşur. Bu süreç “kürleme süreci” denilmektedir ve sonucunda malzeme bir daha değiştirilemeyen sabit şeklini alır. En yaygın kullanılan termoset malzemeler epoksi, polyester, vinil ester, poliüretan ve fenolik reçinelerdir (Bal, 2009; Hoa, 2009).

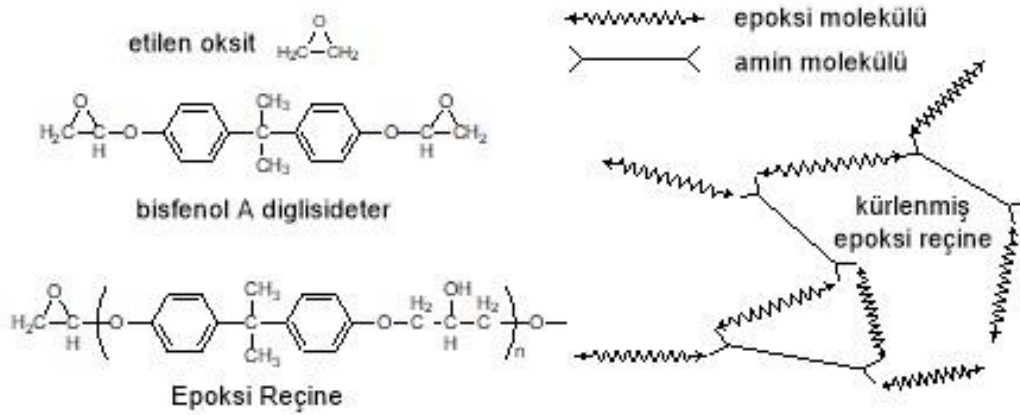
Epoksi reçineler (EP)

Epoksiler en yaygın kullanılan matris malzemesidir. Kullanımları açısından kolaydır. Termoset olmalarından kaynaklı ısıya ve yapısındaki moleküllerde ester gruplarının bulunmayışı nedeniyle kimyasallara karşı dayanımları yüksektir. Kürleşme sıcaklıkları 70°C’den 200°C’ye kadar büyük bir skalada değişmektedir. Kürleşme işlemi esnasında yan ürün çıkmaz, yan ürün çıkmadığı içinde büzülme olmaz. Kürleme oranı, uygulanan

sıcaklık, kullanılan katalizör gibi etkenlere göre epoksinin fiziksel özellikleri değişiklik göstermektedir (Beşergil, 2016).

Epoksi reçine (EP), epoksi grupları ihtiva eden reçinelerdir. Yani yapısında, epoksi veya epoksi grubu, genellikle glisidil eter, glisidil amin veya alifatik bir halka sistemi yer almaktadır. Çoğunlukla, bir amin ile katılma reaksiyonu gerçekleştirerek kürleşme olur. Şekil 2.34’ de görüldüğü üzere, zincir yapısında bulunan iki epoksi ucun aminler ile birleşmesi sonucu 3 boyutlu zincir ağ yapı elde edilir. Kürleşme işlemindeki epoksi/amin oranı çok önemlidir.

Yapısındaki halkalı gruplardan dolayı, mekanik ve termal gerilimleri üst düzey absorplama özelliği kazanır. Bu özellik de epoksi reçinelerin sertlik, sıyaya dayanım, elektriksel bazda izolasyon özelliklerini arttırır. Sayılan birçok avantajı göz önüne alındığında epoksi reçineler diğer termosetlerden daha üstün duruma geçer ve birçok alanda (havacılık gibi) kendine yer bulur (Beşergil, 2016).



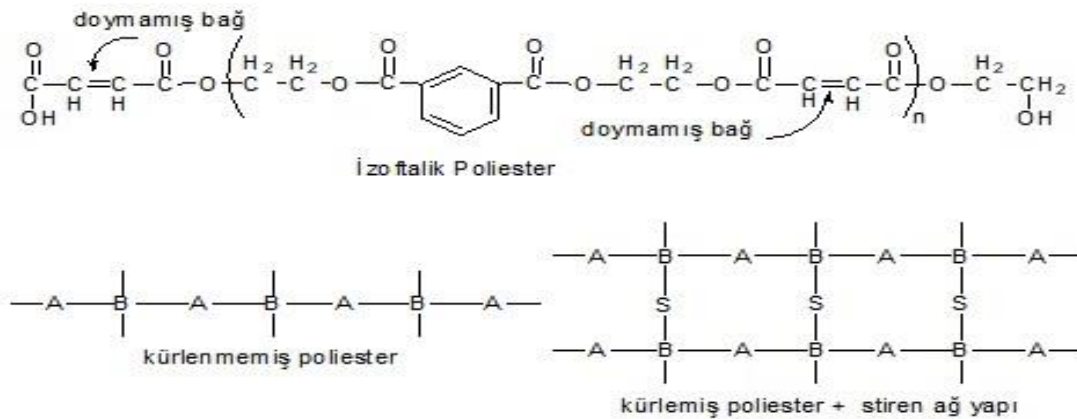
Şekil 2.34. Epoksinin kürleşme reaksiyonu (Beşergil, 2016)

Epoksiler kullanımları esnasında katalizör katılmadan reaksiyona giremezler. Katalizör eklenmesiyle eş zamanlı olarak reaksiyon başlar bu sebepten dolayı istenilen partiküllerin epoksiye karıştırılmaları mutlaka katalizör katılımından önce olmak zorundadır. Ayrıca katalizör ve epoksi arasında belirlenmiş bir oran vardır. Gramaj bazlı bu oran doğru hesaplanmazsa sistemde reaksiyona girmemiş epoksi ya da katalizör fazlalığı kalır. Bu oranı çoğu satıcı firma ürünle beraber vermektedir (Strong, 2014; Yöney 2007).

Epoksilerin en büyük dezavantajları ise kırılğan yapıları olmalarıdır. Bu özellikleri sisteme dahil edilecek termoplastik malzeme, partikül takviyesi ile değiştirilebilir. Kırılğanlığı azaltmaya yönelik diğer bir uygulama ise epoksi yapısındaki veya katalizörünün yapısındaki alifatik bölgelerin değiştirilmesi işlemi olabilir.

Poliester (Doymamış) Reçineler

Doymamış poliesterler yüksek işlenebilirliği olan, birçok etkene karşı, örneğin yüksek korozyon dayanımına ve tokluğu iyi olan malzemelerdir. Poliester reçineler genellikle viskozitesi yüksek stiren-poliester çözeltisi şeklindedir. Yaklaşık olarak %50 Stiren katılımı ile poliesterin viskozluğu azalır. Bunun yanı sıra, poliesterin kürlenmesi yapısında bulunan zincirlerin çapraz bağlar oluşturmaları ile gerçekleşmektedir. Epoksidede olduğu gibi çapraz bağlar sayesinde kürleşme onucunda yan ürün oluşmaz. Fakat kürleşme esnasında ortalama % 6 oranında küçülme olmaktadır. Bu değer epoksi reçineye göre çokça yüksek bir değerdir (Balasubramanian, 2013). Polyester reçine, dikarboksilik asitler ile polihidrik alkollerin polimerizasyonu ile elde edilmektedir ve yapısında gerçekleşen polimerizasyon tepkimeleri devam ettiği için poliesterler reçinelerinin depolama süreleri kısıtlıdır. Kullanımları esnasında mevcut süreyi uzatabilmek için inhibitör eklenmesi gerekmektedir. Kürleşme bir katalizör yardımıyla gerçekleştirilir ki bu katalizör genellikle stirendir (Şekil 2.35) (Peters, 1998).



Şekil 2.35. Poliester kürleşmesinin yapısı (Beşergil, 2016)

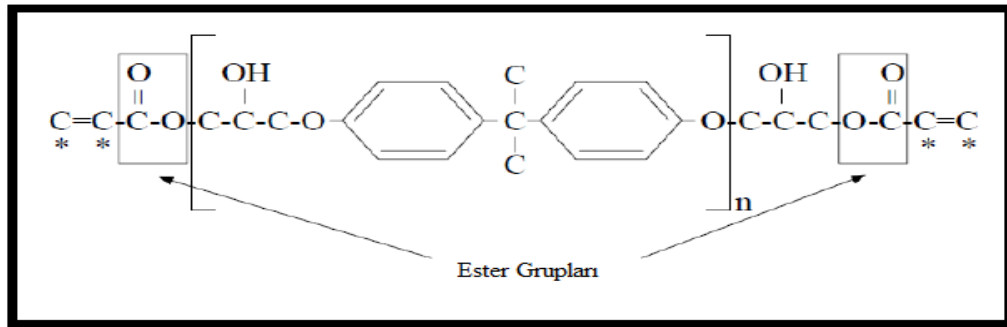
Polyesterlerin üretim sıcaklığı ve maliyetleri epoksi reçinelere göre düşüktür. Değişik üretim metotları ile polyester reçineler elde edilebilmektedir.

Kompozit üretiminde tercih edilen, ortoftalik ve izoftalik olmak üzere iki cins polyester reçine bulunmaktadır. Ortoftalik polyester reçinesi maliyeti düşük ve kullanımı yaygındır. İzoftalik polyester reçinesi ise genellikle denizcilik sektöründe tercih edilmektedir.

Vinilester Reçineler

Poliester reçinelerle benzer özellikler taşıyan polimerlerdir. Farklı olarak; yapısında bulunan zincirin sonunda aktif gruplar ihtiva eder ve yapısındaki ester grupları daha azdır. Üretiliş amaçları epoksi reçinere benzer avantajlara sahip, doymamış polyester reçineler gibi kısa zamanda sertleşme gibi özelliklerin birleşimine duyulan ihtiyacı kapatmaktır. Epoksi reçine ile (meta)akrilik asidin tepkimesi ile üretilmektedirler. Elde edilen malzeme stirende çözündürülür. Sertleşme reaksiyonu organik peroksitlerle sağlanabilmektedir (Cam Elyaf Sanayii A.Ş, 2004).

Ester grupların su hassasiyetleri hayli yüksektir. Su ile etkileşimlerinde hidrolizlenir ve parçalara ayrılırlar. Poliester reçinelere göre kimyasallara dayanımları daha yüksektir. Yapısında bulunan zincirin sonundaki reaktif uçlar sayesinde uzun zincirler oluşmasını sağlar. Bundan dolayı, deformasyon esnasında enerji absorblama kabiliyeti daha yüksektir. Genellikle vinilester reçineler petrokimya alanında tercih edilmektedir (Şekil 2.36).

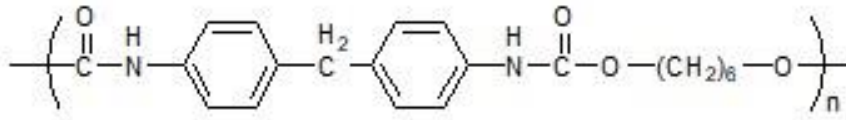


Şekil 2.36. Vinilester reçinenin kimyasal yapısı (Bayraktar, 2016)

Poliüretan Reçineler (PU)

Poliüretanlar (Şekil 37); poliyoller ve izosiyanatlara katalizör ve bir aktifleyici eklenmesi ile gerçekleşen polimerizasyon tepkimesi sonucunda elde edilirler. Poliüretanlar elastik, dayanımı yüksek ve uzun ömürlüdürler. Poliüretanlar genellikle çapraz bağlı termosetler grubundadırlar. Çapraz bağlı olmayan poliüretanların ise moleküler dizilimleri doğrusal olup termoplastik grubunda yer almaktadırlar. Yüksek darbe absorblama, elastikiyet,

yüksek dayanım ve uzun ömürlü olmaları sebebiyle; araç, inşaat, paketlenme, elektronik gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadırlar (Şekil 2.37) (Biron, 2013).



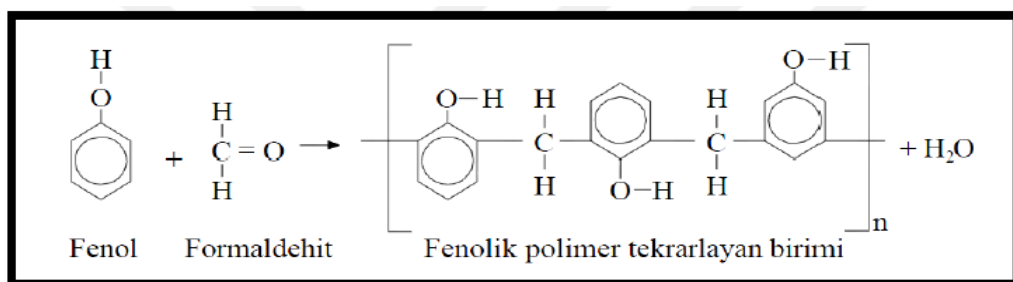
Şekil 2.37. Poliüretanın yapısı (Beşergil, 2016)

Fenolikler; Fenol-Formaldehit (PF)

Fenolikler bazik ortamda fenol ile formaldehit kondenzasyon polimerizasyonu sonucunda elde edilmişlerdir (Şekil 2.38).

Aynı zamanda ilk ticari anlamda üretimi yapılmış termoset plastiklerdir (Ersoy, 2002). Üretimi esnasında ısı artışı ile yapısında çapraz bağlar oluşur. Sertleşme işlemi esnasında belirli miktarda basınca laminant kalıplarda maruz kalırlar, sonrası da ise 250 °C’ de post-kür işlemi uygulanması gerekmektedir. Fenolik reçinelerin izolasyon özellikleri, kimyasal dayanımları ve ısı dayanımları yüksektir. Tek başına 300 °C’ye kadar dayanımları vardır fakat cam fiberler ile birleşmeleri sonucunda 1000 °C’ye kadar dayanımları artabilmektedir.

Viskozitesinin yüksektir ancak kürleştirme işlemi sonrasında yapısında hava boşlukları meydana gelir ve bu da yüzey kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Kırılgan bir yapıya sahip olan Fenolikler, esnemeyen, sert yapıli malzemelerdir (Yöney, 2007).



Şekil 2.38. Fenolik reçinenin yapısı (Ersoy, 2002).

Termoplastik matrisler

Termoset reçinelerin mekanik özelliklerini yapısında bulunan moleküllerin yaptıkları çapraz bağlar etkilerken, termoplastik malzemelerde ise yapısındaki moleküllerin sayısı ve

uzunluğu etkiler. Termoplastikler, düz veya dallı zincir yapısına sahip, ikinci dereceden Van der Waals bağlarıyla bağlanarak elde edilmişlerdir. Yan bağların zayıflığı sebebi ile termoplastikler arasında olan malzemeler çoğunlukla yüksek sıcaklıkta yumuşar, sıcaklık etkisi sona erip ortam sıcaklığına soğuduklarında ise tekrar sertleşirler (Ersoy, 2002). Bu sıcaklık kaynaklı değişimi özellikle oda sıcaklığında katı halde bulunması sebebiyle termoplastik malzemelerin raf ömrü fazlasıyla uzundur. Ayrıca yapısal bir bozulma olmadığı sürece sıcaklığın etkisiyle tekrar tekrar şekil verilebilir (Hoa, 2009). Bunlar dışında termoplastik malzemelerin diğer avantajları ise; yüksek elastikiyet ve kırılma tokluğu, ek olarak da hasarlı bölgelerinin ısıtılarak onarılabilir olmaları verilebilir. Fakat bu avantajlarına rağmen tüm termoplastikler kompozit malzeme içerisinde matris olarak kullanılamazlar. Oda sıcaklığında işlenebilirlikleri düşüktür.

Termoplastik reçineler genellikle materyalin çekme ve eğilme dirençlerinin yükseltilmesi amacıyla dolayı tercih edilirler. Otomotiv, uçak, gemi gövdesi sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Genellikle enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile elde edilen termoplastiklerin proseslerinde ek olarak takviye materyalleri de kullanılmaktadır. Kompozit malzeme üretimin de matris olarak en çok kullanılan termoplastiklere örnek olarak; Akrilik, Asetal, Akronitril-Butadiene-Styren (ABS), Politetra Fluorethylene (PTFE), Poliamid (PA), Polietilen (PE), Polipropilene (PP), Polivinil klorür (PVC) verilebilir.

2.5.2. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

Kompozit malzemelerin temel karakteristik özelliklerini kompoziti oluşturan elemanların özellikleri haricinde elde ediliş biçimleri de ciddi olarak etkilemektedir. Sanayide kompozit malzemelere olan talep ve farklı kullanım alanlarının ihtiyacını karşılayabilmeleri açısından üretim metotları da değişkenlik göstermektedir. Kullanılacağı alana uygun kompozit malzeme için gerekli üretim metodu seçimi, hem maliyetin düşmesine hem de üründen en iyi verimin alınmasına yardımcı olmaktadır (Zhao ve Guo, 2014). Yaygın olarak kompozit malzeme üretim yöntemlerini aşağıda verildiği gibi açık ve kapalı kalıplama yöntemleri olarak ikiye ayırabiliriz.

Açık kalıplama yöntemleri;

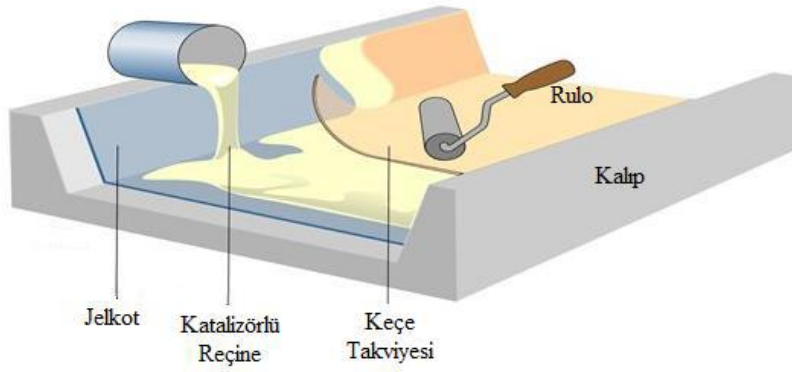
- Elle yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Elyaf sarma yöntemi
- Vakum torbası yöntemi
- Otoklav yöntemi

Kapalı kalıplama yöntemleri;

- Reçine transfer kalıplama (RTM)
- Pultrüzyon yöntemi
- Pres kalıplama
- SMC (Sheet Molding Compound)
- BMC (Bulk Molding Compound)
- Enjeksiyon kalıplama
- Savurma kalıplama yöntemi

Elle yatırma yöntemi

Elle yatırma yöntemi, en eski yöntem olarak bilinmektedir. Az miktarda büyük ölçülere sahip malzemelerin üretimi için genellikle tercih edilmektedir. Üretim başlamadan önce kalıplar temizlenerek bir kalıp ayırıcı uygulanır. Sonrasında içine sertleştirici eklenmiş reçine konularak üzerine istenilen takviye elemanı konulur. Bu işlem istenilen tabaka sayısına veya kalınlığa ulaşıncaya kadar sırasıyla devam eder. Reçine içinde hava kabarcığı kalmaması için Şekil 2.39'da görüldüğü gibi bir rulo yardımıyla düzeltme yapılır. İstenilen tabaka sayısı veya kalınlığa gelindiğinde malzeme oda sıcaklığında bekletilerek sertleşmesi sağlanır. Elle yatırma yönteminde takviye malzemesi olarak birçok elyaf kullanılabilir ama genellikle cam elyaf tercih edilmektedir. Bu yöntemde 23-24 °C'de akışkan halde olan herhangi bir termoset reçine kullanılabilir (Balasubramanian, 2013).



Şekil 2.39. Elle yatırma yöntemi (Ataş, 2009)

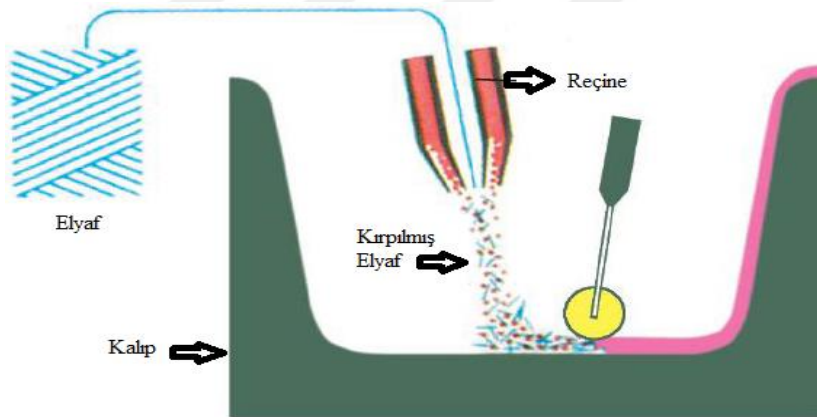
Bu yöntemde tercihe bağlı olarak, erkek veya dişi tipi denilen kalıplar kullanılmaktadır. Erkek veya dişi kalıptan hangisinin kullanılacağı malzemenin hangi tarafının daha kaliteli istendiğine göre değişmektedir. Örneğin, eğer malzemenin iç yüzeyinin düzgün olması tercih ediliyorsa erkek tipi kalıp kullanmak, diğer tarafının pürüzsüz olması tercih ediliyorsa da dişi tipi kalıp kullanmak gerekir. Kullanılan kalıplar farklı malzemelerden üretilir; ahşap, metal ya da kompozit kalıplar kullanılabilir. Çoğunlukla metal kalıp tercih edilmektedir. Kalıplardan ürünlerin kolay ve hasarsız bir şekilde çıkarılabilmesi için polyester film, vakslar veya polivinil alkol (PVA) gibi ayırıcıların kullanılması gerekmektedir (Balasubramanian, 2013). Endüstriyel uygulamalarda ise “Jetkot” denilen bir malzeme de kullanılmaktadır. Bu malzeme ne çok ince ne de çok kalın şekilde uygulanır. Çok ince olması durumunda elyaf katmanını tam örtemez, kalın olursa da yüzey çatlakları görülebilir. Uygulanmasındaki temel amaç kompozite renk vermektir. Renk vermenin dışında kompozit malzemesindeki elyaf tabakasını kaplayarak koruyucu bir katman gibi görev yapmakta ve kimyasallardan ya da sudan kaynaklı hasarlardan malzemeyi korumaktır.

Reçine sertleşmeden tabakalar kalıba konulmalıdır. Reçinenin sertleşme süresi ilave edilen katalizör ve hızlandırıcı oranına, miktarına bağlıdır. Oda sıcaklığında ilk kürleşme 15-20 dakika sonra başlamaktadır. Tam olarak kürleşme kalıpta ve oda sıcaklığından 5 ile 10 gün arasında değişen uzun süreler alabilmektedir. Bunun önüne geçebilmek için ikinci kürleşme işlemi uygulanır. Tam kürleşme olmadan verimli mekanik özellikler elde edilemez. İkinci kürleşme (post-kür) 80-90 °C’de yapılabilir (Balasubramanian, 2013).

Elle yatırma yöntemi; ekipman maliyetinin az olması, istenilen boyutlarda ve şekillerde malzemenin kolaylıkla üretilmesi, istenilen renkte yüzeyler yapılabilmesi, istenilen yerde kolayca üretim yapılabilmesi, büyük proses ekipmanlarına sahip olmaması gibi avantajlarının yanında, malzemenin üretimi esnasında sadece tek bir tarafının düz olabilmesi, standart bir ürün prosesi olmaması yani üretimde operatörden operatöre farklılıklar olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Elle yatırma yöntemi ile elde edilen ürünler genellikle gemi-araç gövdeleri ve ek parçaları, dolum tanları, korozyon dayanımı olan malzemelerde kullanılmaktadır (İlhan, 2018).

Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi (Şekil 2.40) takviye materyali ile bir katalizör eklenen reçinenin püskürtme tabancası yardımıyla hazırlanan kalıba püskürtülmesi işlemidir. Genellikle bu yöntemle büyük boyutlara sahip kompozitler elde edilebilmektedir. Tabancanın içinde bulunan bıçaklar ile elyaflar istenilen boyutlarda püskürtme esnasında kesilebilmektedir ve bu sayede küçük boyutlu üretimler de kolaylıkla yapılabilir. Tabancalar farklı özelliklerde hazırlanabilmektedir (İlhan, 2018).



Şekil 2.40. Püskürtme yöntemi (Ataş, 2009)

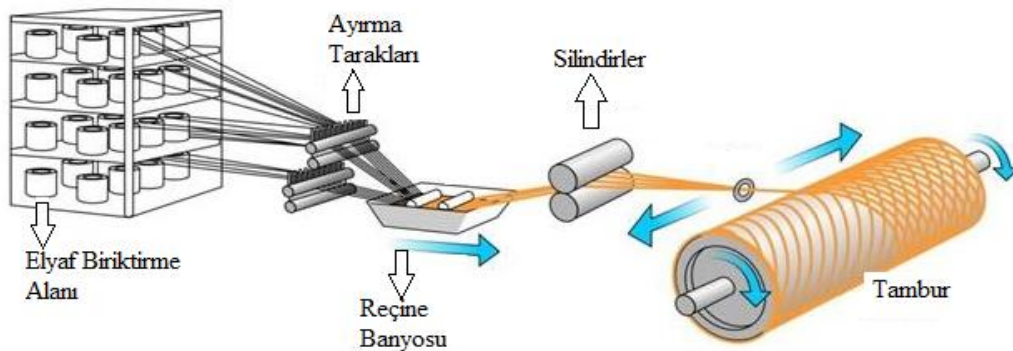
Bu yöntemde tabancaya alınan reçine ve elyaflar tasarlanmış kalıplara püskürtüldükten sonra hava boşlukları kalmaması ve düz bir yüzey sağlanması amacıyla kalıba püskürtülmüş karışımın üzerinden bir düzeltici malzeme ile geçilir. Tüm bu işlemler bittikten sonra sertleşmesi için kalıpta oda sıcaklığında ürün bekletilir. Kalıptan kolay çıkarabilmek için ayırıcı bir malzeme püskürtme işleminden önce kalıba sürülmelidir. Kalıpta kürleşme süresini kısaltmak için sıcaklık verilebilir. Kademeli olarak sıcaklık artışıdan sonra kürleşme sağlandıysa yine kademeli olarak sıcaklık azaltılarak oda

sıcaklığına getirilen ürün kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkan ürün tam kürleşme sağlanması için ek kürleşme denilen post-kür işlemi 80°C’de üç saat olacak şekilde uygulanmalıdır. Bu sıcaklık ve süre isteğe bağlı şekilde değişebilir. Önemli nokta ise daha düşük sıcaklık tercih edilecekse sürenin artması gerektiğidir (İlhan, 2018).

Püskürtme yönteminin elle yatırma yöntemine göre avantajı ise; daha büyük boyutlardaki kompozitlerin üretimi yapılabilmesi ve daha karmaşık şekiller elde edilmesi açısından kolaylık sağlamasıdır. Püskürtme yöntemi de elle yatırma yöntemi gibi üretimi yapacak kişinin bilgi ve becerisine bağlı bir üretim tekniği olması dezavantajına sahiptir. Genellikle bu yöntem sanayide araç ve gemi malzemeleri alanlarında tercih edilmektedir (İlhan, 2018).

Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yönteminde (Şekil 2.41) kullanılacak elyaflar reçine bulunan bir banyodan geçirilir ve sonrasında sarılacakları tambura gitmeden önce üstlerinde bulunan fazla reçinenin alınması için süzdürülürler. Sonrasında tercih edilen kalınlık sağlanana kadar tambura sardırılırlar. Bu sarım ürünlerin özelliklerini veren en önemli noktadır. Tamburun şekli ve boyutu üretilecek kompozit malzemenin şeklini ve boyutunu etkilemektedir. Üretilen kompozitin iç yüzeyi tambur yüzeyinin ne kadar kaliteli olduğuna bağlıdır. Bu şekilde elde edilen kompozitler genellikle boru, basınçlı kap, tahrik milleri ve bunların benzeri malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir (Ratna, 2009).



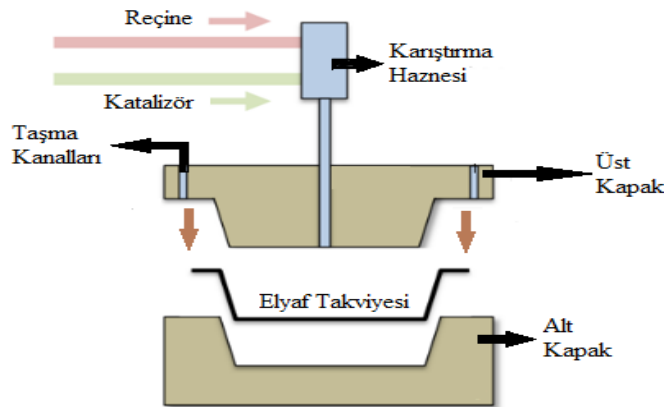
Şekil 2.41. Elyaf sarma yöntemi (Poliya, 1999)

Bu yöntem Elyafın dizilim yönünün, çapının ve boyutlarının kolaylıkla istenilen tercihe göre farklılaştırılabilirdiği bir kompozit üretim yöntemidir. Tambur şeklinin farklılaşması ile değişik şekillerde üretimler yapılabilir (Pop, 2010). Bu yöntemin en büyük avantajı eğimli yüzeylerin üretimde sağladığı kolaylıktır. Elyaf sarma yönteminde çoğunlukla

polyester, vinilester ve epoksi reçineler tercih edilmektedir. Petrol tankı ve boru hatlarında ise genellikle izoftalik ve bisfenol polyester reçineler kullanılmaktadır. Bu üretim yönteminde elle sarma ve püskürtme yöntemlerinde olduğu gibi kullanıcı bilgisine bağımlılığı çok fazla olmamaktadır. Üretimde kullanılan elyaf-matris oranı rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Kompozit malzemesi içinde bulunan elyafların sarım yönlerinin de ayarlanabilir olması diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra karmaşık şekilli kalıplardaki üretimlerinin olmaması ve keme ile basma dayanımlarının da düşük olması bu metodun dezavantajlarıdır.

Reçine transfer kalıplama yöntemi

Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi (Şekil 2.42) hazırlanan iki kalıp arasına önce elyafların yerleştirilmesi ardından kapaklar kapandıktan sonra karıştırma haznesinde hazırlanan reçinenin eklenmesi işlemidir. Kürlenme gerçekleşene kadar kapaklar açılmaz. Kürlenme gerçekleştikten sonra kapaklar kontrollü bir şekilde açılarak malzeme kalıptan çıkarılır. RTM yöntemi yarı otomatik olan bir metottur. Çoğunlukla bu yöntem de termoset reçineli ürünlerin üretimi sağlanmaktadır. Elde edilen kompozitlerin her iki yüzeyinde de ürün kalitesi iyidir. Buda diğer yöntemlere göre en önemli avantajdır. Bu yöntem uygulanmaya başladıktan sonra makine ve teçhizat alanında önemli gelişmeler elde edilmiştir (Balasubramanian, 2013).



Şekil 2.42. Reçine transfer kalıplama yöntemi (KosseKompozit, 2017)

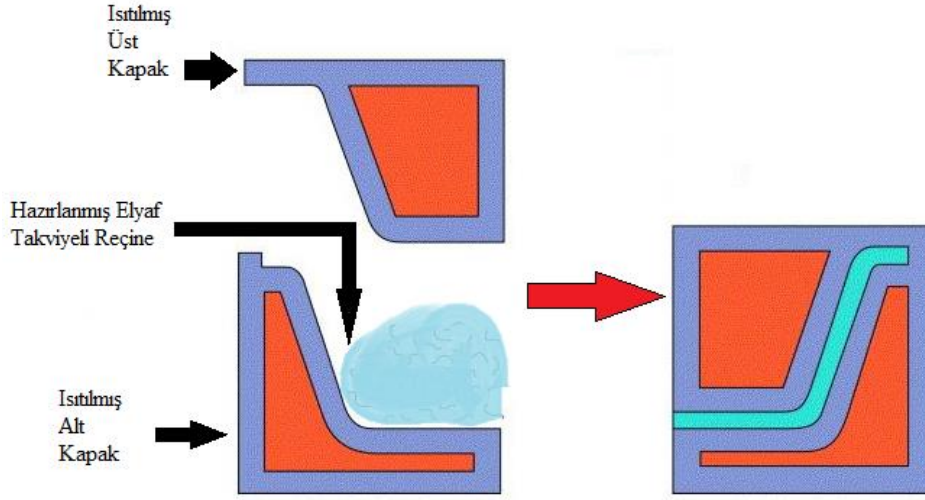
RTM yöntemi ile elle yatırma ve püskürtme yöntemlerine göre çok daha hızlı üretim yapılmaktadır. Bu yöntemde en önemli nokta akışın sağlanabilmesi için reçinenin düşük viskoziteye sahip olmasıdır. Reçine kalıbın içine karıştırma haznesinde belirli bir hız ve basınç ile yollanmaktadır. Bu esnada basıncın çok yüksek olmaması ve tıkanıklığa yol

açmayacak şekilde reçinenin akışkan olması gerekmektedir. Üretime geçmeden önce kalıp ince zımpara kağıtları ile pürüzsüz hale getirilir ve kalıp ayırıcı uygulanır. Kalıp ayırıcı üzerine ürünün rahat çıkabilmesi kalıp yüzeyi için PVA tabaka ile kaplanır. Üretim bitiminde muhakkak reçine akış kanalları uygun çözücülerle temizlenmelidir. Kalıp iç yapısında kalıbın soğumasına yardımcı sirkülasyon sağlayan su kanalları mevcuttur. İşlem bittikten sonra polimerik yapının bozulmaması için bu kanallardan su geçirilerek soğutma işlemi gerçekleştirilir. Kalıplar ahşap, köpük veya metal yapılabılır. Bu yöntemde işçilik ön planda değildir. Sistem akışı kişisel bazlı değil geneldir. Bu sayede üretim esnasında kişisel bazlı uygulama hataları olmamaktadır. Bu teknik genellikle paneller, kirişler, uçak parçaları, duşa kabin parçaları, araç parçaları yapımı gibi alanlarda tercih edilmektedir (Pop, 2010).

Pres kalıplama yöntemi

Pres kalıplama yönteminde (Şekil 2.43) iki ısıtılmış ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında) kalıp arasına hazırlanan elyaf takviyeli reçine konularak üretim gerçekleştirilmektedir. Kalıbın alt ve üst kapaklarına basınç uygulanarak elyaf takviyeli reçinenin kalıbın her yerine dağılması sağlanır. Basınç uygulaması malzeme sertleşene kadar devam eder. Tamamen kürleşme sağlandıktan basınç durdurulur ve sonra üst ile alt kalıp birbirinden ayrılarak malzeme çıkarılır. Bu metot cam takviyeli polimer kompozitlerin üretimi için en hızlı yöntemlerden biridir. Reçine içindeki liflerin boylarının ıslatmanın tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için kısa olması gerekmektedir (Balasubramanian, 2013).

Pres kalıplama yöntemi ile elde edilen kompozitlerin raf ömürlerinin uzun olabilmesi için $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de bulunan ortamlarda depolanmaları gerekmektedir. Bu metotta, reçinenin viskozitesi önemli bir parametredir. Reçine viskozitesinin içindeki elyafları tamamen ıslatabilecek kadar düşük olması istenilir. Islanma sağlandıktan sonra içerisine eklenen oksit, magnezyum veya kalsiyum hidroksit gibi kimyasallarla viskozitesi yükseltilir. Bu kimyasalların oluşturduğu bağ işlem esnasında uygulanan ısı ve basınçla bozulmaktadır. Diğer önemli bir parametre ise, indüksiyon zamanıdır ki bu da kalınlaşma hızının zamanını belirtmektedir. Eğer bu hız yüksek olursa reçine elyaf içinde tam dağılmayacak ve ıslanmamış kısımlar kalacaktır, az olursa da reçine emilimi zor olabilmektedir ki bu sebeplerden dolayı en uygun zaman seçilmesi gerekmektedir (Balasubramanian, 2013).



Şekil 2.43. Pres kalıplama yöntemi (İlhan, 2018)

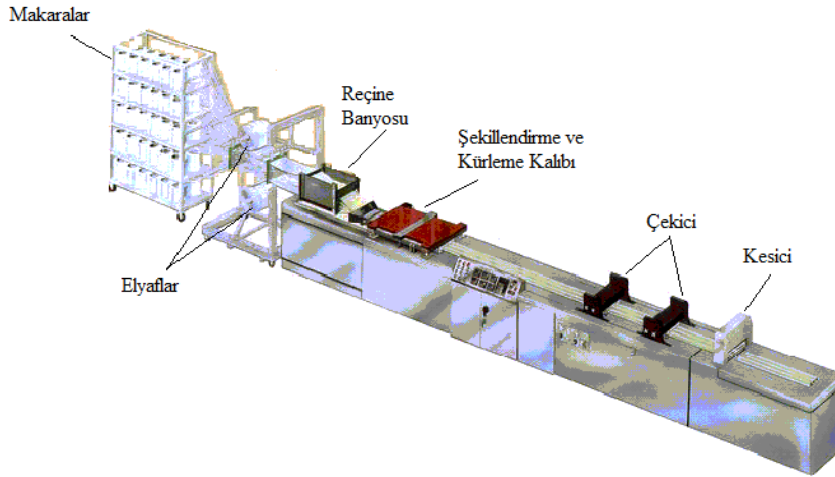
Pres kalıplama yönteminde elyafların reçine içinde dağılması önemlidir. Elyaf lar işlemden sonra yüzeyde görülmemelidir. Elyaf ların reçine içerisinde homojen dağılması elde edilecek kompozitin mekanik özelliklerinin her yerde eşit ve iyi olması anlamına gelir.

Bu metot; hızlı üretim, tüm yüzeylerde pürüzsüzlük, Karmaşık yapıli kompozit üretimine olanak sağlamak ve homojen ürün kalitesi açısından avantajlara sahip bir kompozit üretim metodudur. Bunun yanı sıra proses maliyetinin çok olması ve büyük ebatlara sahip kalıplarla üretim yapılamaması gibi dezavantajları da bünyesinde barındırmaktadır. Pres kalıplama yöntemiyle elde edilen ürünler genellikle araç gövde parçalarında, elektrik kapaklarında, kimyasalların kullanıldığı malzemelerde, Bazı ev araç-gereçlerinde tercih edilmektedir (İlhan, 2018).

Pultrüzyon yöntemi

Pultrüzyon yöntemi (Şekil 2.44); uzun boyutlardaki elyafların reçine havuzu içinden geçirilmesi ve bu havuzlarda reçine ile bütünleşen elyafların hazırlanan kalıplarda kürleşmeleri sağlanarak çekme işlemine maruz bırakılmaları temeline dayalı bir metottur.

Pultrüzyon yöntemiyle uzun elyaf takviyeli kompozit malzemeler elde edilmektedir. Bu üretim yöntemiyle yüksek elyaf oranına sahip ürünler hazırlanabilmektedir. Reçine olarak çoğunlukla polyester reçineler tercih edilmektedir (Balasubramanian, 2013).



Şekil 2.44. Pultrüzyon yöntemi (İlhan, 2018)

Pultrüzyon yönteminde elyaflar makaralarda sarılı bir şekilde bulunur ve sürekli olarak sisteme verilir. Reçine ile ıslanmaları reçine banyosunda gerçekleşmektedir. Islanan elyafların üstündeki fazla reçineler süzöldükten sonra şekillendirme ve kırışmanın gerçekleştiği kalıba alınır. Kalıplara alınmadan önce erken sertleşmenin geciktirilmesi için elyaflar soğutulur. Kalıbın sıcaklığı ise dikkatli bir şekilde elektrikli ısıtıcılar veya sıcak yağ ile arttırılır. Kalıpta şekil alan ve kırışması gerçekleşen ürün kesicilere gelerek istenilen uzunluklarda kesilir (Balasubramanian, 2013).

Pultrüzyon yönteminde genellikle 0,0375-0,05 mm kalınlığında krom kaplamalı çelik, paslanmaz çelik ve seramik kaplı çelik kalıplar tercih edilir. Kalıpların içinin temizliği elde edilecek kompozit malzemesinin kalitesi açısından önemlidir. Kalıplarda kırışan malzeme çekme merdaneleri yardımıyla kalıptan çıkarılır. Üretim esnasında sistemde basınç uygulanmaz.

Putrüzyon yöntemi; golf ve hokey sopası, kayak malzemeleri gibi spor ekipmanlarında, köprü ve platformlarda, ızgaralı sistemlerde, boru, tüp veya geometrik şekilli malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir. Bu yöntemin ile elde edilen kompozit malzemelerin mukavemetleri yüksektir. Üretim aşaması kolay ve tek düze olmasına karşılık sistem maliyetlidir (İlhan, 2018).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yang, Yan ve Wang, 2014 yılında yaptıkları çalışmada CoTiO_3 nanopartiküllerini sol-jel metodu ile elde etmişlerdir. Sonrasında bu nanopartikülleri elektrospinning yönteminde kullanarak CoTiO_3 katkılı nano fiberler elde etmişlerdir. Ürettikleri nanofiberleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelemişler ve 220 nm boyutunda CoTiO_3 nanofiberler elde ettiklerini tespit etmişlerdir. X-ışını difraksiyonu (XRD) analiziyle de nanofiberlerin herhangi bir kirlilik olmadan, yüksek kristal yapıda olduklarını gördüklerini belirtmişlerdir. Elektrospinning metodunda CoTiO_3 nanopartikülleri katkıladıklarında oluşan nanofiberlerin yapılarının katkısız halde üretilen nanofiberlere oranla daha spesifik bir yüzey alanına sahip olduklarını da yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir (Yang ve diğerleri, 2014).

George ve Anandhan'ın 2015 yılında yaptıkları çalışmada, sol-jel metodu ile NiO nanopartiküller elde etmişlerdir. NiO geniş bant boşluk enerjisine sahip bir p-tipi yarı iletkenidir. Yaptıkları çalışmada sol-jel metodu ile elde ettikleri nikel oksit nanopartiküllerini kullanılarak elektrospinning metodu ile NiO katkılı nanofiberler elde etmişlerdir. NiO nanofiberlerini polimerik bağlayıcı olarak kullanmışlardır. poli (2-etil-2-oksazolin) (PEtOx)/nikel (II) asetat tetrahidrat (NATH) ve stiren-akrilonitril (SAN)/NATH olmak üzere iki polimerik yapı elde etmişler ve bunları birbiriyle karşılaştırmışlardır. İki sistem içinde bulunan NiO nanofiberlerinin tane boyutlarında ve aktivasyon enerjilerinde farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, PEtOx/NATH ile SAN/NATH karşılaştırdıklarında; SAN/NATH sistemi içindeki NiO nanofiberlerinin, daha iyi ferromanyetik davranış sergilediğini belirtmişlerdir (George ve Anandhan, 2015).

Nakhowong 2015'te yaptığı çalışmada, sol-jel metodu ile MnTiO_3 nanopartikülleri sentezlemiştir. Sentezlediği MnTiO_3 nanopartiküllerinden elektrospinning metodu ile MnTiO_3 katkılı nanofiberler elde etmiştir ve SEM görüntüsünde incelediğinde bu nanofiberlerin çaplarının 300-400 nm aralığında değiştiğini çalışmasında belirtmiştir. Polivinilasetat (PVAc)/manganez asetat/titanyum (IV) izopropoksit nanofiber kompozitine MnTiO_3 nanofiberlerini de ekleyerek, kalsine etmiştir. Nanofiberler, termogravimetrik diferansiyel termal analizi(TG-DTA), X-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile karakterize etmiştir. XRD sonuçlarına göre MnTiO_3 'ün kristal fazının 900 °C'de oluşmaya başladığını ayrıca yapı

içinde az miktarda TiO_2 fazı olduğunu belirtmiştir. Kalsinasyon sıcaklığının yapının morfolojisi ve kristal fazlar üzerinde etkili olduğunu çalışmasında vurgulamıştır (Nakhowong, 2015).

S.K. Singh, S. Singh, Kumar ve Jain (2017), ürettikleri epoksi kompozit malzemelere farklı boyutlarda ve farklı miktarlarda (Titanyum dioksit) TiO_2 eklemişlerdir. Bu malzemelerin ısı özelliklerini ve mekaniksel dayanımlarını incelemişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda nano ölçekli %6 TiO_2 takviyeli kompozit malzemelerin, makro ve mikro boyuttaki TiO_2 katkılı kompozitlere ve katkısız kompozit malzemelere kıyasla çekme dayanımının ve kırılma tokluğunun çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Singh ve diğerleri, 2017).

Yesgat ve Kitey (2016) yaptıkları çalışmada katkılı kompozit malzemelerdeki takviye elemanlarının boyutlarının kompozit malzemesinin dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Morfolojik olarak farklı şekillerde ve düz veya kırılmış olarak farklı oranlarda elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde edilen kompozit malzemeler üzerinde mekanik testler yapmışlardır. Yaptıkları testlerin sonucunda; morfolojik olarak daire şekline sahip kırılmış cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerinin en yüksek eğilme dayanımına sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Yesgat ve Kitey, 2016).

Lauke (2015) ortaya koyduğu çalışmasında; partikül takviyeli polimerler ile elde edilen kompozitlerin kırılma dayanımının, takviye edilen parçacıkların boyut dağılımından etkilendiğini ileri sürmüştür. Bu sonuca partikül kopmalarının, matris kayma bantlarının ve plastik porozitenin sebep olacağını vurgulamıştır. Kompozit malzemelerde yapıya katılacak katkı maddelerinin büyüklüklerinin artması sonucu kırılma tokluğunun da artacağına dikkat çekmiştir (Lauke, 2015).

Baptista ve diğerleri (2016) ise sundukları çalışmada grafit katkılı epoksi kompozit malzemelerin mekaniksel ve tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Üretimini yapacakları epoksi kompozit malzemelerine farklı oranlarda grafit katkılarını yapmışlardır. Elde ettikleri kompozit malzemelerin karşılaştırmalarını hem deneysel hem de nümerik olarak yapmışlardır. Ekledikleri grafit oranı arttıkça malzemenin çekme, kayma ve eğilme dayanımlarının da arttığını gözlemişlerdir. Ek olarak grafitin kompozit malzemeyi koruma

altına alarak korozyon dayanımı da kazandırdığını çalışmalarında belirtmişlerdir (Baptista ve diğerleri, 2016).

Bulut (2017) yapmış olduğu çalışmada; kütlece %0,1, 0,2 ve 0,3 oranında grafen katkılı epoksi kompozit malzemeler üretmiştir. Elde ettiği bu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmıştır ve sonucunda ağırlıkça %0,1 grafen katkı kompozit malzemelerin darbe, eğilme, çekme gibi mekanik dayanımlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir (Bulut, 2017).

Saghafi, Brugo, Minak, ve Zucchelli (2015), ürettikleri kompozit malzemelerin içindeki nanofiber tabakalar malzemedeki delaminasyon üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri kompozit malzeme içindeki nanofiberler Naylon 6,6 ve polikaprolakton temellidir ve bu polimerlerden nanofiber eldesi elektrospın metoduyla sağlanmıştır. Yaptıkları test sonuçlarına göre, araştırmacılar enerji salınımı ile ilgili olarak nanofiber tabakaların takviyesiyle pozitif yönde sonuçlar alındığını belirtmişlerdir (Saghafi ve diğerleri, 2015).

Papa, Ricciardi, Antonucci, Lopresto, ve Langella (2016) yaptıkları çalışmada elektrospın yöntemi kullanarak nanofiber üretmişler ve ürettikleri nanofiberlerin takviyesiyle vakum infüzyon yöntemi ile kompozit malzemeler elde etmişlerdir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan epoksiye %20 ve %30 nitril lastik katkılamışlardır. Elde ettikleri malzemeleri farklı enerjilerde darbe dayanımlarını test etmişlerdir. Test sonucunda yaptıkları açıklamaya göre, katkıladıkları nitril lastiğin ürünün darbe dayanımı üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığıdır (Papa ve diğerleri, 2016).

Brugo, Minak ve Zucchelli (2017) katkılı ve katkısız olarak kompozit malzemeler sentezlenmişlerdir. Katkılı kompozit malzemelerin içindeki naylon 6,6 nanofiberler elektrospın metodu ile elde etmişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda, katkılı kompozit malzemelerin katkısız oranla delaminasyon tokluğunun çok daha yüksek bunun yanında çatlak ilerleme hızının ise çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir (Brugo, ve diğerleri, 2017).

Zarei ve diğerleri (2017) naylon 6,6 polimerinden elektrospın yöntemi ile nanofiberler elde etmişlerdir. Bu nanofiberleri ise GLARE fiber-metal kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak kullanmışlar ve elde ettikleri kompozit malzemelere farklı enerji

seviyelerinde düşük hızlı darbe testleri uygulamışlardır. Çatlak yürümesinde nanofiberlerin etkisinin olduğu ama darbe soğurma etkisinin saf malzemelerle kıyaslandığında çok olmadığını belirtmişlerdir (Zarei ve diğerleri, 2017).

Christy, Purohit ve Rana (2017) ise deneysel çalışmalarında ağırlıkça farklı oranlarda ve boyutlarda (Silisyum Dioksit) SiO_2 katkılı kompozit malzemeler üretmiştir. Elde ettikleri malzemelerin çekme ve darbe dayanımlarını inceleyen araştırmacılar nano boyutta katkılandıkları SiO_2 partiküllerin çekme ve darbe dayanımını arttığını belirtmişlerdir (Christy ve diğerleri, 2017).

Fan ve diğerleri (2016) karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler üretmişler ve bu malzemelerin ısı iletkenliklerinin termo-oksidatif yaşlandırma işlemi esnasındaki değişimlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada Termo-oksidatif yaşlandırma işleminin, matris reçinesi ve fiber/matris ara yüzeyin de bozulmalara yol açtığını tespit etmişlerdir. Bu bozulma sonucu olarak üretilmiş olan kompozit malzemelerin termal iletkenliklerinde azalmalar olduğunu da çalışmalarında vurgulamışlardır (Fan ve diğerleri, 2016).

Xin, Liu, Mosallam, Zhang, ve Wang (2016), farklı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri bu malzemeleri karşılaştırarak higrotermal yaşlandırmanın etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda; higrotermal yaşlanma süresiyle eğilme dayanımı arasında bir bağ olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksek sıcaklık ile eğilme özelliklerinde azalma olduğunu ortaya koymuşlardır (Xin ve diğerleri, 2016).

Bora, Lakhani, Ramamurthy ve Madras (2016), Fe katkılı MnO_2 nanopartikül takviyeli kompozit malzemeler sentezlemişlerdir. Ürettikleri bu kompozit malzemelerin değişik dalga boylarında mikrodalga absorblama özelliklerini inceleyen araştırmacılar sonuç olarak; MnO_2 nanopartikülünün eklenmesi ile mikrodalga absorblama özelliğinde artış olduğunu ve 14,7 GHz frekansında Fe- MnO_2 takviyeli kompozit malzemenin -15,7 dB değerine kadar inebildiğini fakat aynı frekansta sadece Fe katkılı kompozit malzemenin -9.6 dB değerlerinde kaldığını belirtmişlerdir (Bora ve diğerleri, 2016).

Bora, Azeem, Vinoy ve Ramamurthy 2018 yılında yaptıkları çalışmada ise, morfolojik olarak çubuksu ve nanoküresel yapıdaki MnO_2 katkılı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Araştırmalarını bu çalışmada nanopartikülün cinsinden çok morfolojik yapısına çeviren

araştırmacılar morfolojik yapının mikrodalga absorblama özelliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda çubuksu yapıya sahip MnO_2 nanopartikül katkılı kompozit malzemenin mikrodalga absorblama özelliğinin küresel yapıdaki MnO_2 katkılı kompozit malzemenin mikrodalga absorblama özellikliğine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Bora ve diğerleri, 2018).

Kuester, Demarquette, Ferreira, Soares ve Barra (2017) ağırlıkça farklı oranlarda grafen katkılı kompozit malzemeler ve grafen-karbon nanotüp katkılı hibrid kompozit malzemeler sentezlenmişlerdir. Bu kompozit malzemelere elektriksel, kimyasal ve mekanik testler uygulamışlardır. Elektriksel iletkenliği açısından grafen katkılı kompozit malzemelerde grafen miktarı arttıkça elektriksel iletkenliğinde arttığını tespit etmişlerdir. Hibrit kompozit malzemenin elektriksel iletkenliği ise sadece grafen katkılı kompozit malzemeye göre daha yüksek çıkmıştır (Kuester ve diğerleri, 2017).

Li, Haigh, Soutis ve Gibson (2019) yaptıkları çalışmada; farklı boyutlardaki karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin elektromanyetik özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri malzemelerin Elektrik geçirgenliği, elektriksel iletkenlik, sinyal penetrasyonu ve mikrodalga emilimi özelliklerini ayrıntılı bir şekilde test etmişlerdir. Tek yönlü kompozit laminat numuneleri, mikrodalga iletim hattı tekniği kullanılarak X bandı (8–12GHz) üzerinde karakterize edilmiştir. Testlerin sonucunda makro ve mikro boyutlarda karbon fiber katkılı kompozit malzemelerin, nano boyutta karbon fiber katkılı kompozit malzemeler kadar olmasa da mikrodalga absorbanlığına sahip olduğunu belirtmişlerdir (Li ve diğerleri, 2019).

Liu ve diğerleri 2019 yılında çok katlı KNT katkılı poliamit fiberleri elektrospin yöntemi ile üretilmişlerdir. Elde ettikleri ÇDKNT-OH/poliamit fiberi katkı malzemesi olarak kullanarak kompozit malzemeleri üretmişler ve bu kompozit malzemelerin harici bellek cihazları için depolama kapasitelerini ölçmüşlerdir. Yaptıkları testler sonucunda karbon katkılı kompozit nanofiberlerin çok seviyeli depolama özellikleri sergilediklerini tespit etmişlerdir (Liu ve diğerleri, 2019).

4. MATERYAL ve YÖNTEM

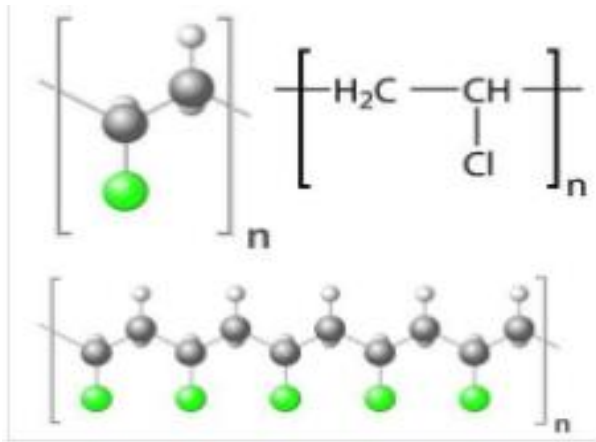
4.1. Materyal

4.1.1. Polimerler ve çözücüler

Bu çalışmada nanofiber eldesinde PVC, PAN ve TPU olmak üzere üç farklı polimer kullanılmıştır. Bu polimerlerin solüsyonlarını hazırlamak için ise tetrahidrofuran (THF), dimetilformamid (DMF) çözücüler kullanılmıştır.

PVC

PVC, petrol bazlı bir polimer olup, karbon, hidrojen ve klor atomları ihtiva eden makro moleküllerden oluşmuş termoplastikler sınıfına ait bir plastiktir. Petrolün türevleri içerisinde dahil olan etilenin klorlú ortama tabi tutulması ile elde edilen viniklorür monomerlerinin gerekli katalizör yardımıyla birçok viniklorür monomerlerinin birleşmesi ile polivinilklorür üretimi sağlanmaktadır. PVC kolay işlenebilirliği, düşük maliyeti ile dayanımı yüksek bir plastiktir. PVC kopolimerlerinin ve vinil plastiklerin mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. PVC yanıcı olmaması ve elde ediliş yönteminin ucuz ayrıca da kolay oluşu sayesinde hemen hemen her alanda kendine yer bulabilen bir plastiktir. Genellikle oyuncak, tıbbi araç gereçler, boya, yiyecek içecek kapları, sulama boruları ve son yıllarda kompozit malzeme üretiminde de tercih edilmesiyle hayatın her alanında kullanımı vardır ve artarak devam etmektedir. Lineer kapalı formülü $(CH_2CHCl)_n$ şeklindedir, açık formülü ise Şekil 4.1.’de verilmiştir.



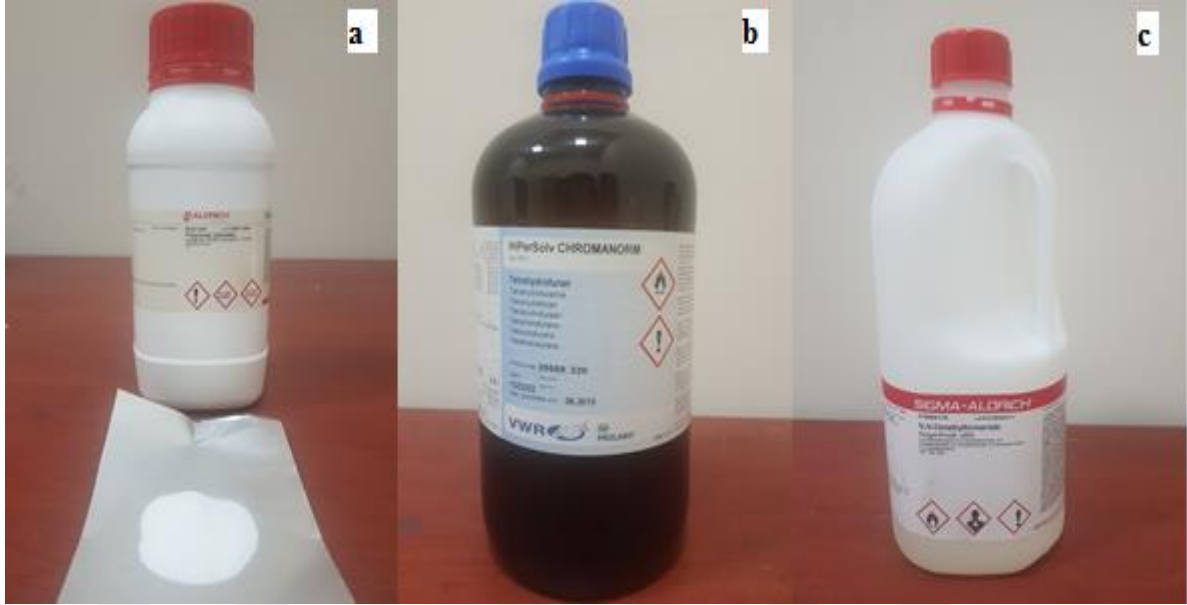
Şekil 4.1. PVC kimyasal formülü ve atom modeli (Lebedev, 2018)

Çizelge 4.1. PVC kopolimerlerinin ve vinil plastiklerin mekanik özellikleri (Dinlenç, 2009)

ÖZELLİKLER		VİNİL PLASTİKLERİ VE KOPOLİMERLERİ				
		PVC, %15 CAM ELYAFLI	VİNİL FORMAL	PVC, KLORİNE	Vinil, bitural,esnek	PVC/Akriilik,Harma n
ÇEKME DAY.	kg/cm ³	668	700-840	527-630	35-210	450-490
	N/cm ²	6546	6860-8232	5165-6174	343-2058	4410-4802
DARBE DAYNIMI (jul/cm) izod		0,54	0,43-0,76	0,54-3,03	değişik	0,54-6,49
Sertlik	Rockwell	R118	M85	R 117-122	A 10-100	R 106-110
	Shore- Barcol	-	-	-	-	-
% UZAMA		2-3	5-20	4-65	150-450	35-100
EĞİLME SICAKLIĞI °C 18,5 atm, yüklemde		68	66-76	94-112	-	74-85
ISI İLETKENLİĞİ 10 ⁻⁴ cal cm/sn.cm ² , °C		-	3,7	3,3	-	-
GENLEŞME KATSAYISI, Doğrusal, x 10 ⁻⁵ /°C		-	6,4	6,8-7,6	-	6,8-7,9
ISIYA KARŞI DAY. °C		80	65	80	-	-
BAĞIL YOĞUNLUĞU		1,54	1,20-1,40	1,49-1,58	1,05	1,26-1,35
OPTİK HAL		opak	saydam	saydam	saydam	saydam
GÜN IŞIĞI DİRENCİ		D	D	D	D	D
KUV. ASİTLERE DİRENCİ		D	D	D	D	D
KUV. BAZLARA DİRENCİ		D	D	D	D	D
BİÇİM, BASINÇ, kg/cm ²		560-1750	700-2100	1050-2800	35-210	140-210
BİÇİM, SICAKLIK °C		133-207	I:149-176 C:149-204	I:176-204 C:218-228	I:137-160 C:121-171	I:183-199 E:199-210
KALIP ÇEKMESİ %		0,1	0,1-0,3	0,3-0,7	-	-

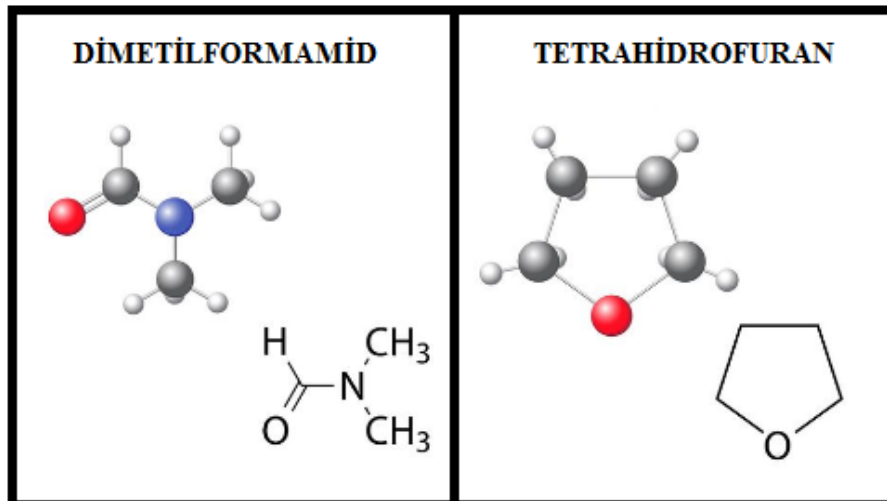
Çalışmada kullanılan PVC Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiş olup; viskozitesi 0,80 dL / g, yoğunluğu 1,4 g / mL (25 ° C'de), molekül ağırlığı ise Mw= ~80,000'dir.

Temin edilen PVC; ağırlıkça (1:1) oranında hazırlanan THF ve DMF karışımı içerisinde ağırlıkça %14 olacak şekilde çözöldürölmöştür (Resim 4.1).



Resim 4.1. Kullanılan (a) PVC (b) THF ve (c) DMF

Kullanılan THF $\geq 99,7\%$ saflıkta VWR Chemicals firmasından temin edilmiştir. Kaynama noktası $66\text{ }^{\circ}\text{C}$, donma noktası $-108,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, yoğunluğu $0,888\text{ g / cm}^3$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), molekül ağırlığı ise $72,11\text{ g/mol}$ 'dür. DMF ise $99,8\%$ saflıkta olup Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Kaynama noktası $153\text{ }^{\circ}\text{C}$, donma noktası $-61\text{ }^{\circ}\text{C}$, yoğunluğu $0,944\text{ g / cm}^3$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), molekül ağırlığı ise $73,09\text{ g/mol}$ 'dür. THF ve DMF kimyasal formülü ve atom modeli Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. THF ve DMF çözücülerinin kimyasal formülü ve atom modeli (Lebedev, 2018)

PVC çözeltisinin mümkün olduğu kadar homojen olabilmesi için çözelti önce manyetik karıştırıcıda katı partiküller çözünene kadar yani yaklaşık yarım saat manyetik karıştırıcıya konuldu sonrasında ise 1 saat ultrasonik banyoda (Resim 4.2.) bekletildi.

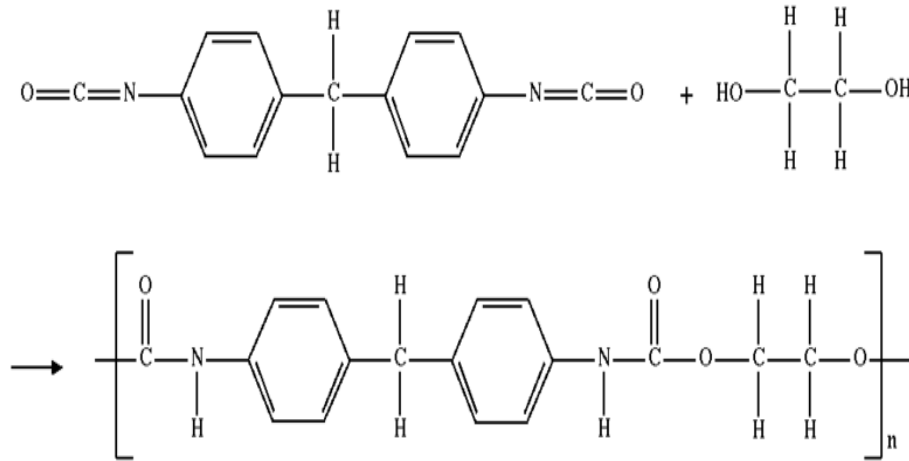
Ultrasonik (yüksek frekanslı ses dalgalarıyla) titreşimler duyulabilen ses frekansından çok yüksek frekanslı ses dalgalarıdır ve insan kulağı bu sesleri işitemez. Elektrik enerjisinin ses enerjisine çevirilmesi mantığı ile çalışan içi sıvı ile doldurulan ultrasonik banyolar bu ses enerjisini içinde bulunduğu sıvının yardımıyla çözeltiye ileterek tam anlamıyla bir çözünme sağlanmasında yardımcı olmaktadır.



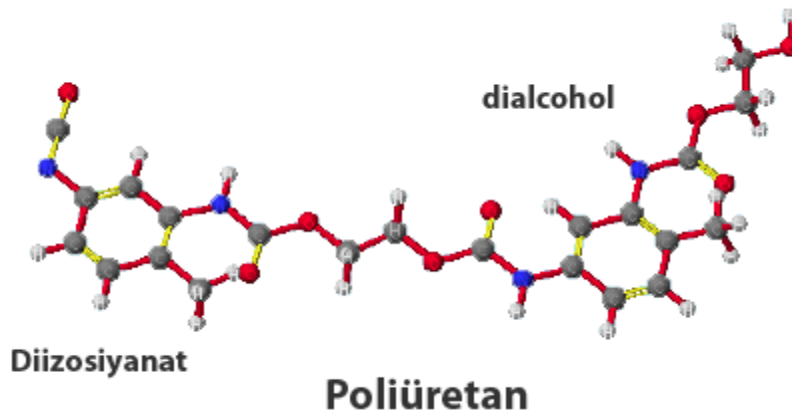
Resim 4.2. (a) Ultrasonik Banyo (b) Manyetik Karıştırıcı

TPU

Poliüretanlar, NCO grubunun bulunduğu izosiyanatlar ile OH grubunun bulunduğu poliollerin karıştırılması sonucu oluşan ekzotermik bir polimerizasyon tepkimesi ile elde edilen polimerlerdir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Poliüretan sentezi (Yurtseven, 2014)



Şekil 4.4. Poliüretan atom modeli (Yurtseven, 2014)

Poliüretanların kullanıldığı sektörler geniş olmasının yanında gün geçtikçe de artmaktadır. Poliüretanlar, termoset ve termoplastik olarak iki şekilde de sanayide kullanılmaktadır. TPU, köpük, kaplama, fiber gibi değişik alanlarda kullanılmaktadır (Hepburn, 1991). Çizelge 4.2’de TPU ile ilgili temel özellikler verilmiştir.

Bu çalışma için kullanılan TPU Ravago Petrokimya Üretim A.Ş.’den temin edilmiştir. Temin edilen TPU; ağırlıkça (1:1) oranında hazırlanan THF ve DMF karışımı içinde ağırlıkça %20 olacak şekilde çözündürülmüştür.

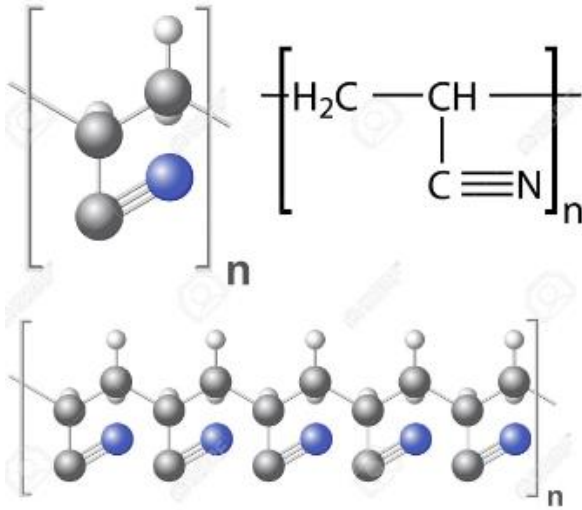
Çizelge 4.2. Poliüretanın temel özellikleri (Allod, 2018)

KRİTER	ÖLÇÜLEN DEĞER
Sertlik	Yaklaşık 60 shore A'dan başlayan sertlik aralığı
Mekanik Özellik	Mükemmel
Çalışma Sıcaklığı	80 °C'ye kadar
Kalıcı Deformasyon	100°C/24h'de %80
Yağ dayanımı	İyi
Hidroliz Dayanımı	Orta derece
Hava Şartlarına Dayanıklılığı	İyi
İşleme Kolaylığı	Orta derece
Yapışma	PA, PA/ABS, ABS, ABS/PC, PC, ASA, PBT
Diğer	+ güç
	+ sürtünme
	+ şeffaflık
	- renk atma

TPU solüsyonu PVC solüsyonuyla benzer şekilde hazırlanmıştır. Öncelikle çözelti PVC çözeltisinde olduğu gibi katı partiküller çözünene kadar yani yaklaşık yarım saat manyetik karıştırıcıya konularak sonrasında ise 1 saat ultrasonik banyoda bekletilmiştir.

PAN

PAN, lineer formülü $(C_3H_3N)_n$ olan ve açık formülü ise Şekil 4.5.'te verilen sentetik, yarı kristalli organik bir polimer reçinesidir. Hemen hemen tüm PAN reçineleri, ana monomer olarak akrilonitril ile monomerlerin karışımlarından yapılan kopolimerlerdir. Camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 95 °C, füzyon sıcaklığı ise 322 °C'dir. PAN, dimetilformamit, dimetilasetamid, etilen ve propilen karbonatlar gibi polar çözücüler içinde kolaylıkla çözünebilir. PAN, düşük yoğunluk, termal stabilite, yüksek mukavemet ve esneklik gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, PAN'ı hızla gelişen teknolojiye önemli bir polimer haline getirmiştir. PAN tekstil ve inşaat sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Farsani, Raissi, Shokuhfar ve Sedghi, 2009). Kullanıldığı diğer alanlar haricinde yüksek mukavemet ve gerilme katsayısı gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda askeri ve ticari uçaklar için kompozit malzemenin içinde de kullanımı tercih edilmektedir (Tiyek ve diğerleri, 2016).



Şekil 4.5. PAN Polimerinin kimyasal formülü ve atom modeli, (Lebedev, 2018)

Bu çalışma için kullanılacak PAN Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş.’den temin edilmiştir. Temin edilen PAN; DMF içerisinde ağırlıkça %10 olacak şekilde çözündürülmüştür.

PAN solüsyonu PVC ve TPU solüsyonlarının hazırlanış şeklinden farklı olarak ısıtma işlemi uygulanarak hazırlanmıştır. PAN çözeltisi katı partiküller çözünene kadar ortalama iki saat 80 °C sıcaklıkta manyetik karıştırıcıya konularak hazırlanmıştır.

4.1.2. Kompozit malzeme sentezinde kullanılan materyaller

Cam Elyaf

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan en önemli malzemelerden biri Resim 4.3’te bir tabaka şeklinde verilen cam elyaflardır. Üretim esnasında kullanılan cam elyaflar Dost Kimya A.Ş. ‘den tedarik edilmiştir. Cam elyafların çekme gerilmesi 200 g/m², kalınlığı 0,2 mm ve oryantasyonları ise [0°, 90°]’dir.



Resim 4.3. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam elyaf

Reçine ve Sertleştiricisi

Kompozit malzeme sentezinde kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi Dost Kimya A.Ş. 'den tedarik edilmiştir. Resim 4.4'de verilen reçine ve sertleştiricisi Hexion markalı olup çalışma aralığı -60 ve +50 °C'dir.



Resim 4.4. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan epoksi reçine ve sertleştiricisi

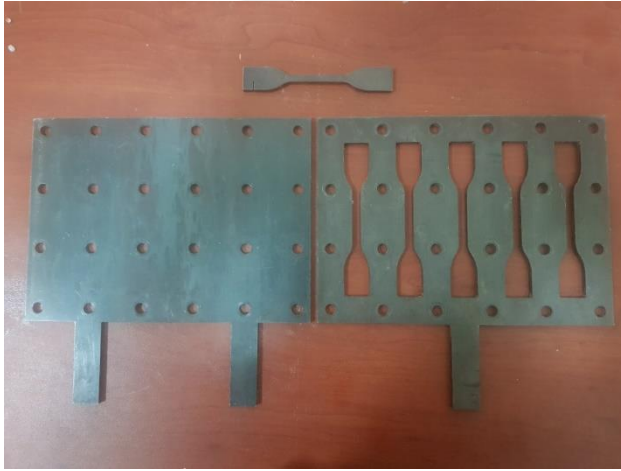
Epoksi L160, sertleştiricisi ise H160 kodludur. Ağırlıkça %75'e %25 karışım oranıyla kullanılmıştır. Epoksinin mekanik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Hexion epoksi mekanik özellikleri (Dostkimya,2017)

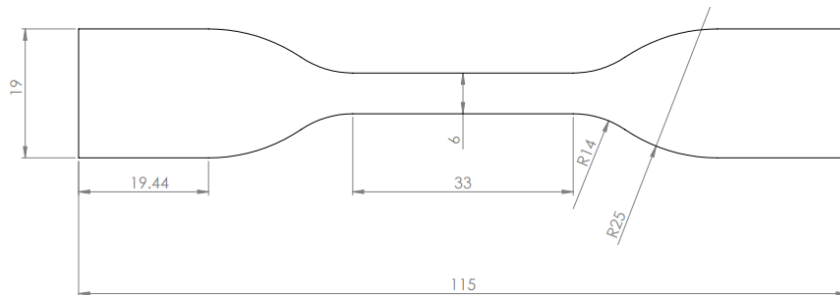
ÖZELLİKLER	BİRİM	DEĞER
Yoğunluk	g/cm ³	1,18-1,20
Kırılma Mukavemeti	N/mm ²	110-140
Elastisite Modülü	kN/mm ²	3,2-3,5
Çekme Mukavemeti	N/ mm ²	70-80
Basma Mukavemeti	N/ mm ²	80-100
Uzama	%	5,0-6,5
Darbe Dayanımı	KJ/ m ²	40-50
Su Absorbsiyonu	24 saat (%)	0,10-0,20
(23°C’de)	7 gün (%)	0,20-0,50
Kürleşme: 23 °C’de 24 saat, 60 °C’de + 15 saat daha		

Kullanılan Kalıplar

Kompozit Mazleme üretimi için iki tip kalıp kullanılmıştır. Resim 4.5’te verilen kalıp, çekme deneyi için ASTM D638 tip IX standartına göre hazırlanmış kalıptır. ASTM D638 Tip IX için numune ölçüleri Şekil 4.6’da verilmiştir.

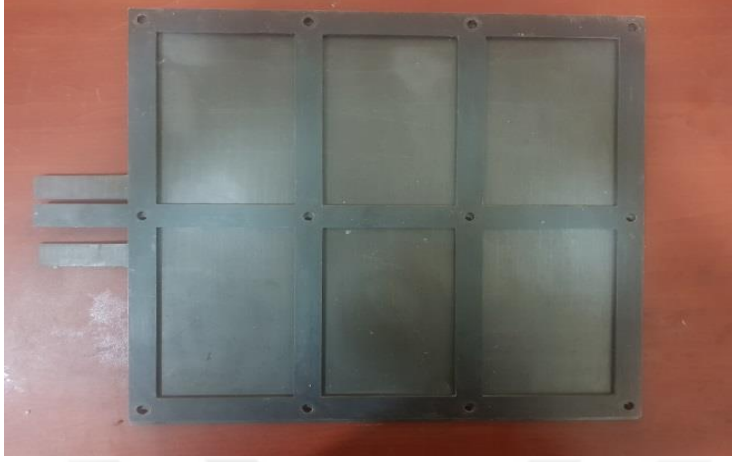


Resim 4.5. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan köpek kemiği modeli kalıplar



Şekil 4.6. ASTM D638 Tip IX numune ölçüleri (Kestrel, 2000)

Darbe deneyi için hazırlanan kalıp ise Resim 4.6'da görüldüğü üzere ASTM-D-7136 standardı referans alınarak uygun boyutlarda üretilmiştir. Kalıpların kalınlığı 4 mm'dir.

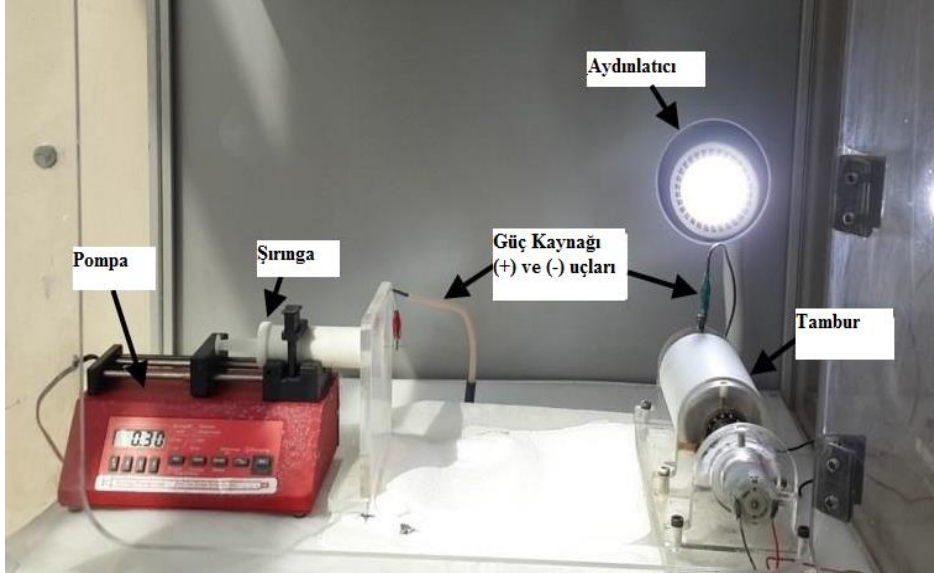


Resim 4.6. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan düz plaka modeli kalıplar

4.2. Yöntem

4.2.1. Nanofiber üretimi

Yaptığımız çalışma için nanofiber üretim yöntemlerinden elektrospın üretim yöntemi tercih edilmiştir. Resim 4.7'de kullanılan elektrospın cihazı verilmiştir.



Resim 4.7. Nanofiber üretimin kullanılan elektrospın cihazı

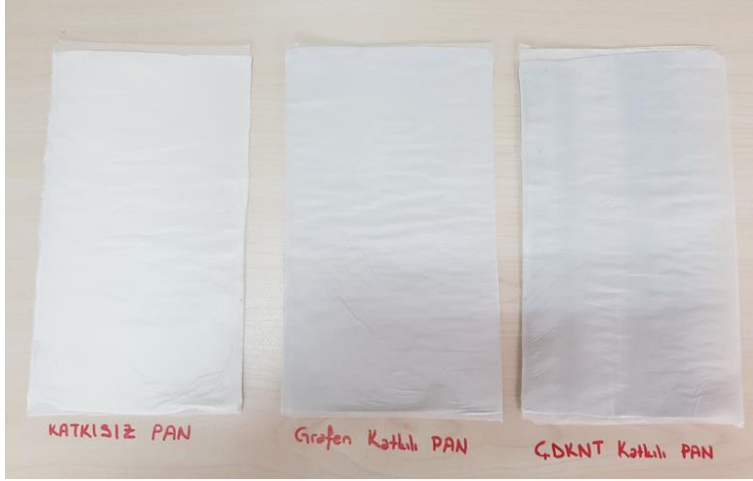
Elektrospın yönteminde nanofiber üretimi esnasında şırıngada oluşan damla üzerinde elektrik alan şiddetinin, damla üstedeki yüklerin ve damlanın yüzey gerilmesinin önemi büyüktür. Bu parametreler oluşacak fiber çapını ve kalitesini etkilemektedir. Güç

kaynağının pozitif kutbu şınganın ucuna bağlanır ve bu sayede damla elektrostatik yüklerle yüklenmiş olur. Negatif kutup ise tambura bağlanarak damlanın hareketine yön verilmiş olur ve arada oluşan elektrik alanıyla damladan çıkan jetler tambura ulaşır. Resim 4.8’de damladan çıkan ve tambura ulaşan jetler görülmektedir.

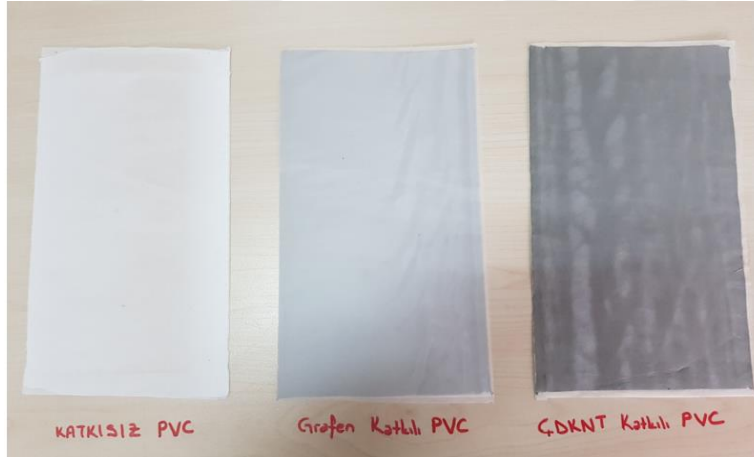


Resim 4.8. Şıngadan tambura doğru fırlayan jetler

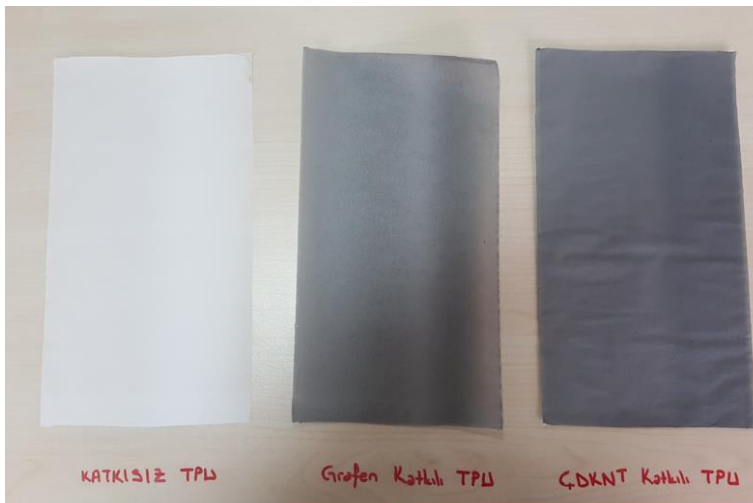
Mevcut çalışmada, polimer çözeltisi 10 mL’lik şıngalara alınarak pompa ünitesine yerleştirilmiştir. 25 kV voltaj ve 0,5 mL/saat besleme hızında nanofiberlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında ortam sıcaklığı ortalama 25 °C’de ve bağıl nem de %50-%60 aralığındadır. Şınga ucu ile tambur arasındaki mesafe ise 20 cm’dir. Verilen şartlar altında elde edilen nanofiber tabakaların üstünde kalması olası çözücünün buharlaşabilmesi için 2 gün boyunca ortam sıcaklığında bekletilmişlerdir. Elde edilen nanofiber tabakaların kalınlıkları 0,0030-0,0040 mm arasında değişmektedir. Üretimler PVC, PAN ve TPU polimerinin herbiri için saf, ağırlıkça %1 grafen katkılı ve ağırlıkça %1 ÇDKNT katkılı olacak şekilde yapılmıştır. Üretilen nanofiber tabakaların birer örneği Resim 4.9-a, Resim 4.9-b ve Resim 4.9-c’de verilmiştir.



Resim 4.9.a. PAN polimerinden elde edilen nanofiberler tabakalar



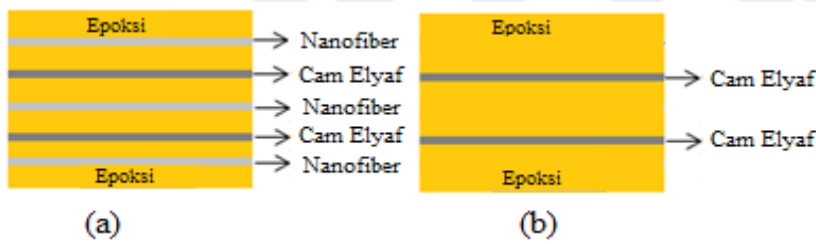
Resim 4.9.b. PVC polimerinden elde edilen nanofiberler tabakalar



Resim 4.9.c. TPU polimerinden elde edilen nanofiber tabakalar

4.2.2. Kompozit malzemelerin üretimi

Kompozit malzemeler iki plaka kullanılarak üretilmiştir. Çekme testi için köpek kemiği modeli ASTM D638 tip IX standartına uygun olacak kalıplarda üretilmiştir. Darbe testi içinse düz plakalar ASTM-D-7136 standardı referans alınarak uygun boyutlarda üretilmiştir. Malzemeler Şekil 4.7’de verildiği gibi saf epoksi içinde üç nanofiber tabaka arasında birer cam elyaf olacak şekilde ve nanofiberlerin etkisinin anlaşılabilmesi için nanofiber katkısız sadece cam elyaflardan elde edilmiş kompozit malzemeler üretilmiştir. Her iki kalıp içinde kompozit malzemenin içeriği ve sıralaması aynıdır. Kompozit malzeme üretim yöntemlerinde elle yatırma yöntemi tercih edilerek epoksi içerine cam elyaflar ve nanofiberler yerleştirilmiştir. Kalıplarda kürleşme için 24 saat bekletilen malzemeler kalıptan çıkarıldıktan sonrada post-kür işlemi için 82 °C’de 6 saat fırında bekletilmişlerdir.



Şekil 4.7. (a) Nanofiber katkılı, (b) Nanofiber katkısız kompozit malzemeleri basitleştirilmiş kesit görüntüleri

Üretilen kompozit malzemeler Resim 4.10-a ve Resim 4.10-b’de verilmiştir.



Resim 4.10-a. Düz plaka modeli üretilen kompozit malzemeler



Resim 4.10-b. Köpek kemiği modeli üretilen kompozit malzeme

Üretimi gerçekleşen kompozit malzemeler adlandırmaları ile birlikte Çizelge 4.4’de verilmiştir. Her bir içerikten; darbe testi için ikişer tekerrür, çekme testi için üçer tekerrür olacak şekilde malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.4. Üretilen kompozit malzemeler ve adlandırmaları

KOD	İÇERİK	KOD	İÇERİK	KOD	İÇERİK
PAN	Katkısız PAN	PVC	Katkısız PVC	TPU	Katkısız TPU
	Nanofiberleri		Nanofiberleri		Nanofiberleri
	Takviyeli		Takviyeli		Takviyeli
	Kompozitler		Kompozitler		Kompozitler
CNT-PAN	%1 ÇDKNT Katkılı	CNT-PVC	%1 ÇDKNT	CNT-TPU	%1 ÇDKNT
	PAN Nanofiberleri		Katkılı PVC		Katkılı TPU
	Takviyeli		Nanofiberleri		Nanofiberleri
	Kompozitler		Takviyeli		Takviyeli
G-PAN	%1 Grafen Katkılı	G-PVC	%1 Grafen	G-TPU	%1 Grafen
	PAN Nanofiberleri		Katkılı PVC		Katkılı TPU
	Takviyeli		Nanofiberleri		Nanofiberleri
	Kompozitler		Takviyeli		Takviyeli
E-Cam	Nanofiber Katkısız		Kompozitler		Kompozitler
	Sadece 2 Tabaka Cam				
	Elyaf İçerikli				
	Kompozit				
	Malzemeler				

Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemeler için ayrı ayrı numune ağırlık değerlerinin hesaplamaları Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çekme testi için numunelerin ağırlık değerleri

Kod	Numune sayısı		Nanofiber Tabaka Ağırlığı	Cam Elyaf Tabaka Ağırlığı	Epoksi Ağırlığı	Toplam
PVC	1	g	0,2158	0,9852	8,1788	9,3798
		%	2,3006	10,5034	87,1960	100
	2	g	0,2280	0,9517	9,1304	10,3101
		%	2,2114	9,2308	88,5578	100
	3	g	0,2298	0,997	7,5625	8,7893
		%	2,6145	11,3433	86,0422	100
G-PVC	1	g	0,3996	0,9604	7,8971	9,2571
		%	4,3167	10,3747	85,3086	100
	2	g	0,3857	0,8999	7,7793	9,0649
		%	4,2549	9,9273	85,8178	100
	3	g	0,3848	0,8974	8,3566	9,6388
		%	3,9922	9,3103	86,6975	100
CNT-PVC	1	g	0,4162	0,9316	8,2409	9,5887
		%	4,3405	9,7156	85,9439	100
	2	g	0,3458	0,9005	8,1491	9,3954
		%	3,6805	9,5845	86,7350	100
	3	g	0,2986	0,9182	7,8398	9,0566
		%	3,2970	10,1385	86,5645	100
PAN	1	g	0,2920	0,9898	9,6240	10,9058
		%	2,6775	9,0759	88,2466	100
	2	g	0,3050	0,9533	9,7297	10,988
		%	2,7758	8,6758	88,5484	100
	3	g	0,2931	0,9683	8,2940	9,5554
		%	3,0674	10,1335	86,7991	100
G-PAN	1	g	0,3538	0,9565	8,5136	9,8239
		%	3,6014	9,7365	86,6621	100
	2	g	0,3513	0,9848	8,4641	9,8002
		%	3,5846	10,0488	86,3666	100

Çizelge 4.5. (Devam) Çekme testi için numunelerin ağırlık değerleri

G-PAN	3	g	0,3619	0,9552	8,1502	9,4673
	3	%	3,8226	10,0895	86,0879	100
CNT-PAN	1	g	0,3317	0,9634	8,4090	9,7041
		%	3,4181	9,9278	86,6541	100
	2	g	0,2980	0,936	8,9061	10,1401
		%	2,9388	9,2307	87,8305	100
	3	g	0,3135	0,9642	8,3678	9,6455
		%	3,2502	9,9964	86,7534	100
TPU	1	g	0,4296	0,9106	9,3354	10,6756
		%	4,0241	8,5297	87,4462	100
	2	g	0,4398	0,928	8,9409	10,3087
		%	4,2663	9,0021	86,7316	100
	3	g	0,4775	0,9417	8,2262	9,6454
		%	4,9505	9,7632	85,2863	100
G-TPU	1	g	0,3961	0,9375	8,5628	9,8964
		%	4,0025	9,4731	86,5244	100
	2	g	0,3690	0,8995	8,4153	9,6838
		%	3,8105	9,2887	86,9008	100
	3	g	0,3993	0,9530	8,0758	9,4281
		%	4,2352	10,1081	85,6567	100
CNT-TPU	1	g	0,3650	0,9174	8,3160	9,5984
		%	3,8027	9,5578	86,6395	100
	2	g	0,4092	0,9181	8,5774	9,9047
		%	4,1314	9,2693	86,5993	100
	3	g	0,3841	0,9276	8,6334	9,9451
		%	3,8622	9,3272	86,8106	100
E-CAM	1	g		0,9761	8,7851	9,7612
		%		9,9998	90,0002	100
	2	g		0,9851	8,2239	9,209
		%		10,6971	89,3029	100
	3	g		1,0006	7,9517	8,9523
		%		11,1770	88,8230	100

Çizelge 4.6. Darbe testi için numunelerin ağırlık değerleri

Kod	Numune sayısı		Nanofiber Tabaka Ağırlığı	Cam Elyaf Tabaka Ağırlığı	Epoksi Ağırlığı	Toplam
PVC	1	g	3,2229	19,4148	79,5531	102,1908
		%	3,1538	18,9986	77,8476	100
	2	g	3,2007	19,3431	61,9593	84,5031
		%	3,7877	22,8904	73,3219	100
G-PVC	1	g	4,0811	10,1406	70,4964	84,7181
		%	4,8173	11,9698	83,2129	100
	2	g	3,9237	10,1438	60,5523	74,6198
		%	5,2582	13,5940	81,1478	100
CNT-PVC	1	g	3,7750	9,9172	70,5091	84,2013
		%	4,4833	11,7780	83,7387	100
	2	g	4,1330	10,041	66,7145	80,8885
		%	5,1095	12,4134	82,4771	100
PAN	1	g	2,9881	10,1043	57,9131	71,0055
		%	4,2083	14,2303	81,5614	100
	2	g	2,9399	10,308	64,8311	78,079
		%	3,7653	13,2020	83,0327	100
G-PAN	1	g	3,4794	9,8948	73,6336	87,0078
		%	3,9990	11,3723	84,6287	100
	2	g	4,0729	10,2592	65,2130	79,5451
		%	5,1202	12,8973	81,9825	100
CNT-PAN	1	g	3,108	10,0565	57,9835	71,148
		%	4,3684	14,1346	81,4970	100
	2	g	3,3985	9,8793	61,4142	74,692
		%	4,5500	13,2267	82,2233	100
TPU	1	g	3,5631	10,0577	57,9658	71,5866
		%	4,9773	14,0497	80,9730	100
	2	g	3,4753	10,1365	60,4871	74,0989
		%	4,6901	13,6797	81,6302	100

Çizelge 4.6. (Devam) Darbe testi için numunelerin ağırlık değerleri

G-TPU	1	%	5,9235	12,7254	81,3511	100
	2	g	4,12491	9,8595	65,6887	79,6731
		%	5,1773	12,3749	82,4478	100
CNT-TPU	1	g	3,5212	9,9644	55,2595	68,7451
		%	5,1221	14,4947	80,3832	100
	2	g	3,9318	9,9248	62,6180	76,4746
		%	5,1413	12,9779	81,8808	100
E-CAM	1	g		9,9191	66,2355	76,1546
		%		13,0250	86,9750	100
	2	g		10,0706	68,2180	78,2886
		%		12,8634	87,1366	100

4.2.3. Çekme testi

Çekme testleri için ASTM D638 standardına uygun olarak kalıplar hazırlanmış ve her bir kompozit malzeme kombinasyonu ile ilgili numuneler üretilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için sadece cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler de üretilerek bunların çekme testleride gerçekleştirilmiştir.

Çekme deneyleri ASTM D638 standardına uygun olarak Shimadzu (Resim 4.11) cihazında Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



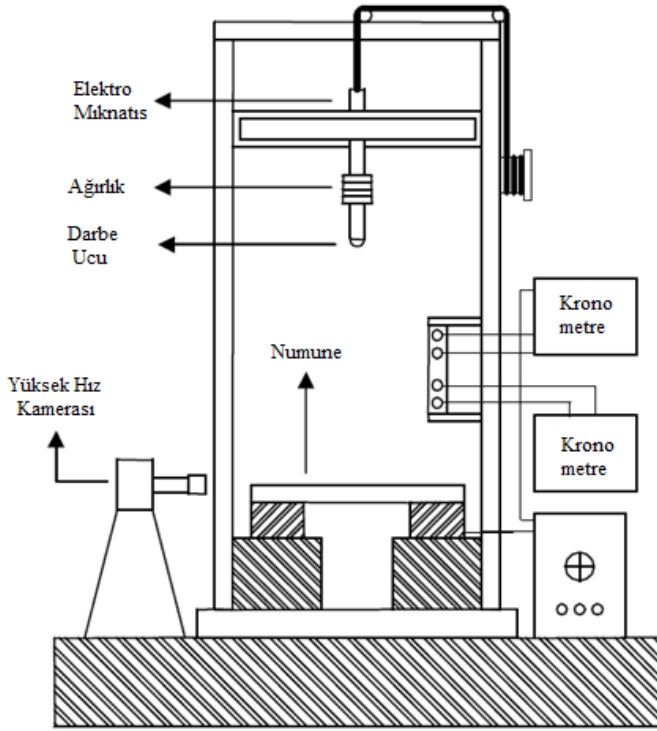
Resim 4.11. Çekme test cihazı

4.2.4. Düşük hızlı darbe testi

Düşük hızlı darbe sonucunda polimer takviyeli kompozit malzemelerde yüzeyde olmasa bile iç kısımlarda hasar oluşabilmektedir ve bunun sonucunda ise oluşan iç çatlakların zamanla büyümesiyle malzemede büyük boyutlarda hasarlar meydana gelmektedir. Üretilen kompozit malzemelerde bu hasarın ne boyutlarda olduğunun, iç hasarın sönümlenip sönümlenmediğinin bilinmesi, oluşan hasarların büyümesinin gözlemlenmesi ve sonrasındaki kullanım yerinde olabilecek sıkıntıları ön görebilmek açısından düşük hızlı darbe testi büyük önem taşımaktadır. Hasar boyutu ve oluşumu materyale uygulanan yükleme ile orantılıdır. Düşük hızlı darbe testinde materyalin yapısı, boyutu ve elastikiyet kabiliyeti; hasar mekanizması ve enerji absorbanlığının tayininde önemli parametrelerdir. Bunun yanında darbenin uygulandığı yönde çok önemlidir. Yüzeye 90 derece açı ile uygulanan darbeler en fazla hasar oluşturan darbelerdir. Düşük hızlı darbe testi sonucunda polimer takviyeli kompozitlerde oluşan hasarlar genellikle matris kırılması, fiber kopmaları veya delaminasyondur.

Kompozit malzemelerde darbeye karşı malzemenin gösterdiği direnç hem tek tek kullanılan malzemelerin özelliklerine hem de bu malzemelerin bir araya gelmesi sonucu oluşturduğu kombinasyonun özelliğine bağlıdır. Düşük hızlı darbe testinde kompozit malzemeye çarpan cismin kütlesi, şekli, hızı ve bırakıldığı yükseklik önemlidir. Bu değişkenlerin kompozit malzemenin yapısal özelliğine göre ayarlanması gerekir.

Genellikle düşük hızlı darbe testi; Izod-Charpy darbe testleri ve belirli yükseklikten bırakılan cisim ile yapılmaktadır. Izod-Charpy darbe testleri bir vurucu uç yardımıyla yapılırken ve belirli yükseklikten bırakılan cisim ise serbest düşme ile gerçekleşmektedir. Şekil 4.8’de verilmiş olan ağırlık düşürme test cihazı son yıllarda çok kullanılan bir yöntemdir. Darbeyi gerçekleştirecek olan cismin uç kısmına monte edilen bir sensör yardımıyla kuvvet değerleri tespit edilir. Cihazın bağlı olduğu bilgisayar yardımıyla da bu değerler elde edilmiş olur.



Şekil 4.8. Ağırlık düşürme test cihazı (Yıldız, 2017)

İşlemlere başlamadan önce biriken enerjinin hesaplanması için kullanılan Eş. 4.1’de verilmiştir.

$$E_0 = \frac{1}{2} m V_0^2 \quad (4.1)$$

Formüldeki E_0 ; J olarak başlangıçtaki enerjiyi, m ; kg olarak vurucu ucun ağırlığını ve V_0 ; m/s olarak çarpma anındaki vurucu ucun hızını ifade etmektedir. Vurucu ucun serbest düşme yaptığı var sayılırsa V_0 Eş. 4.2’de verildiği gibidir.

$$V_0 = \sqrt{2gh_0} \quad (4.2)$$

Bu formülde geçen, g ; m/s^2 olarak yer çekim ivmesi, h_0 ; vurucu ucun, malzeme ile arasındaki yükseklik değeridir. Malzemenin absorbe ettiği toplam enerji değeri ise Eş. 4.3’de verilmektedir.

$$E = E_0 - E_f = \left(\frac{1}{2}\right) m (V_0^2 - V_f^2) \quad (4.3)$$

E_f ; vurucu ucun malzemeye çarptıktan sonraki enerjisinin J olarak değeri, V_f ise; m/s olarak vurucu ucun çarptıktan sonra geri çekilme hareketindeki hızıdır. İşlem sonrası hız-zaman grafiği için Eş. 4.4'de ki hesaplama yapılır.

$$V(t) = V_0 + gt - \int_0^t \frac{F(t)}{m} dt \quad (4.4)$$

Bu formülde geçen t; s olarak zamanı, t=0 anında vurucu ucun malzeme ile çarpıştığı andır. V(t); zamana bağlı olarak, m/s olarak, t anındaki vurucu uç hızıdır. F(t); N olarak, t anındaki hesaplanmış vurucu uç çarpma kuvvetidir.

Darbe ucunun zamana göre yaptığı yer değişikliğinin formülü ise Eş 4.5'te verilmiştir.

$$\delta(t) = \delta_i + V_0 t + \frac{gt^2}{2} - \int_0^t \left(\int_0^t \frac{F(t)}{m} dt \right) dt \quad (4.5)$$

Bu denklemde geçen $\delta(t)$; metre olarak vurucu ucun t anındaki yer değişikliğidir. δ_i ise; t=0 anındaki vurucu ucun referans noktasına göre yaptığı yerdeğişikliğidir. Zamana göre absorbe edilen enerji grafiği için ise Eş. 4.6'daki hesaplama yapılır.

$$E(t) = \frac{m [V_0^2 - (v(t))^2]}{2} + mg\delta(t) \quad (4.6)$$

E(t); Joule cinsinden t anındaki toplam absorbe edilen enerjidir.

Bu çalışma da elde edilen kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe testi (Resim 4.12) Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.12. Düşük hızlı darbe test cihazı

Kullanılan düşük hızlı darbe test cihazının vurucu ucu 12 mm yarıçaplı, 5,6 kg ağırlığında silindirik bir geometrik şekle sahiptir. Vurucu uç; 1,5 m/s hızla üretimi yapılan kompozit malzemelere çarpmaktadır. 6,3 J değerinde enerji ortaya çıkarabilmektedir.

4.2.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi

Fiziksel ve kimyasal tepkimelerin geneli ısı salınımını veya emilimini gösterdiğinden dolayı kalorimetrik yöntemler ısı değişimlerini belirleyebilmek adına kullanılmaktadır (Weyer, Merzlyakov ve Schick, 2001). Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) malzemelerin ısı ile değişimlerinin tespiti için tercih edilen bir termoanalitik metottur. DSC, numuneye ısı verilirken, alınırken yada stabil haldeyken soğurulan yada salıverilen enerji değerini tespit eder. Bu metot sonucu referans ile numuneden gelen ya da giden ısı farkı grafiği sıcaklığa karşı ısı akışı halinde verilmektedir. Meydana gelen fiziksel ya da kimyasal değişime göre grafiklerde endotermik ya da ekzotermik pikler olmaktadır. Adsorpsiyon, kristalizasyon, polimerleşme ve oksitlenme ekzotermik bir olaylar olmasına karşın; desorpsiyon, süblimleşme, erime, buharlaşma, bozunma, dehidrasyon ve

indirgenme olayları ise endotermiktir. Ekzotermik olaylarda grafik piki yukarı yöli olurken, endotermik olaylarda grafik piki aşığı yöndedir (Weyer ve diğerleri, 2001).

Bu alışma da elde edilen kompozit malzemelerin DSC testi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite - Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

4.2.6. Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Termal Gravimetre (DTG)

Termogravimetrik analizde, ölçüm sıcaklığı oda sıcaklığından başlayarak 1400 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Bu sıcaklık artışı esnasında ölçümü yapılan malzemenin kütlesinde meydana gelen değişimler kaydedilir ve bu değişim kütlenin sıcaklığa karşı değişim grafiği ile verilir. DTG'nin kullanılmasıının asıl amacı ağırlık kaybının en fazla (maksimum) hangi sıcaklıkta olduğunun görsel olarak gözlenmesini kolaylaştırmaktır. Diferansiyel termal analiz (DTA) ise, kimyasal tepkimelerin sonucunda meydana gelen enerji değişimlerinin tespit edilmesine yardımcı olur (Ankara Üniversitesi, 2019).

Bu alışma da elde edilen kompozit malzemelerin TGA, DTG, DTA testleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite - Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

4.2.7. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) Analizi

Malzemenin yapılarında bulunan fonksiyonel grupları, iki bileşiğin benzer olup olmadığını, yapıdaki bağların hangi bağlar olduğunu, bağlanma yerlerini anlamaya yardımcı olan bir analizdir. Yani kısaca malzemenin yapısının, bileşenlerinin analizidir. FTIR malzeme biliminde malzemenin bileşenlerinin yorumlanabilmesi için önemli bir analizdir (Dokuz Eylül Üniversitesi, 2019).

Bu alışma da elde edilen kompozit malzemelerin FT-IR analizi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite - Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

4.2.8. Radar Absorpsiyonu

Radar absorpsiyonu için plaka halinde üretilmiş polimer takviyeli kompozit malzemeler Resim 4.13'te verilen Agilent PNA-L ve buna bağlı iki adet mikrodalga horn antenler kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Agilent PNA-L cihazı 10 MHz – 43,5 GHz arasında ölçüm yapmaktadır. Ölçümler serbest boşlukta üretilen kompozit malzemeler olmadan kalibre edildikten sonra gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.13. Radar absorpsiyon test cihazı

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Fiber SEM Görüntüleri

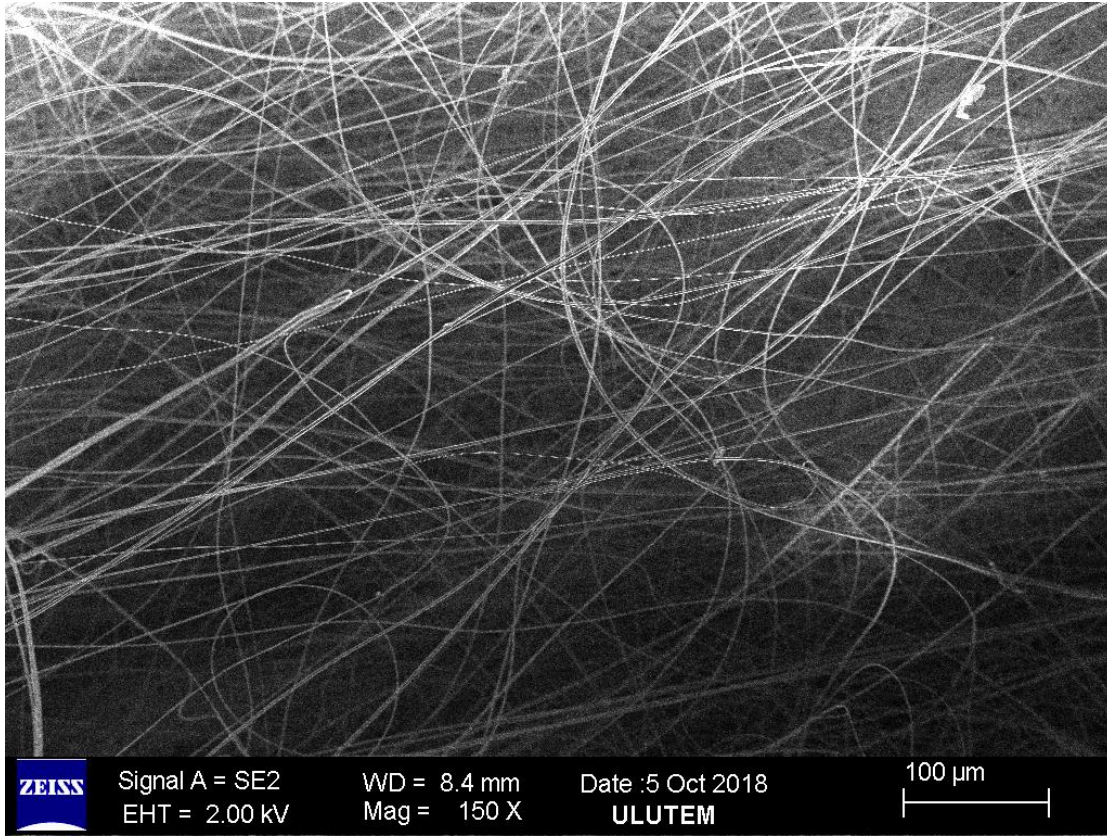
Çalışmada elektrospin yöntemi ile elde edilen PAN, ÇDKNT takviyeli PAN, grafen takviyeli PAN, PVC, ÇDKNT takviyeli PVC, grafen takviyeli PVC, TPU, ÇDKNT takviyeli TPU ve grafen takviyeli TPU nanofiberlerinin SEM görüntüleri Resim 5.1’de verilen ZEISS GeminiSEM marka SEM cihazı ile elde edilmiştir.



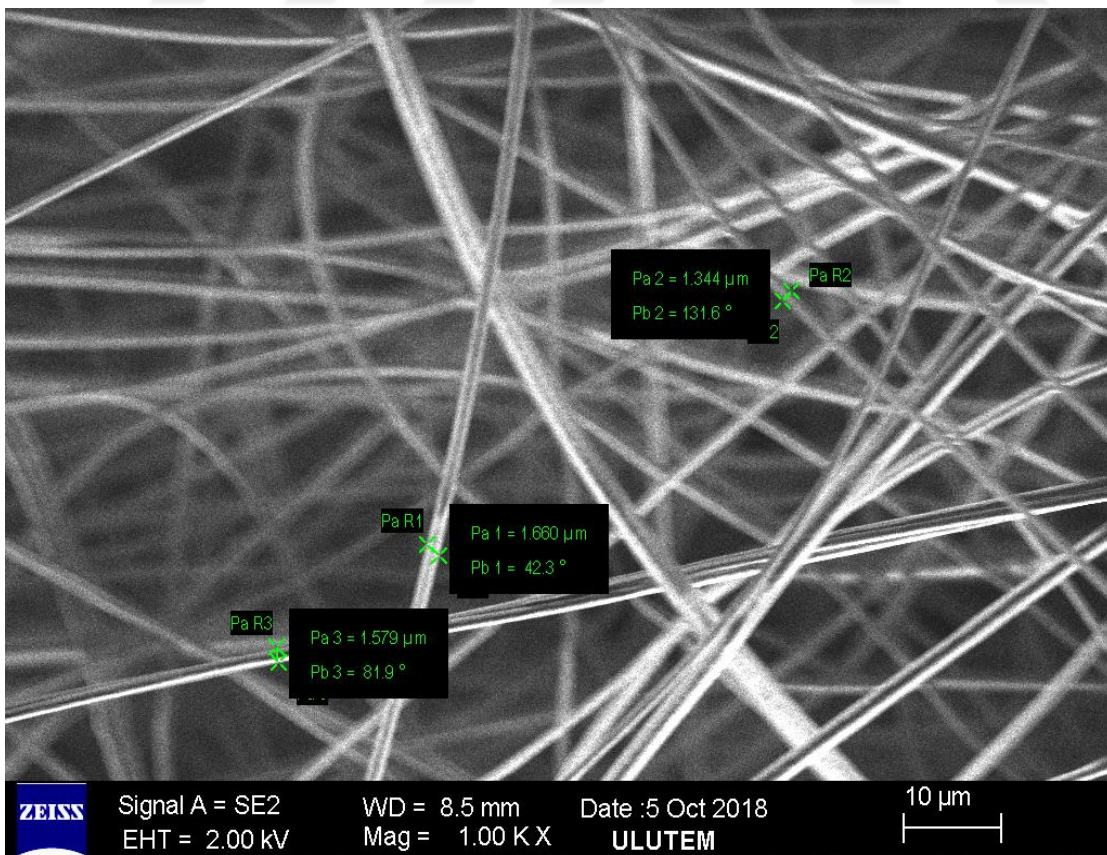
Resim 5.1. SEM cihazı

5.1.1. Saf PAN fiberlerinin sem görüntüleri

Saf PAN nanofiberlerin homojen bir boyutta ve damlacıksız elde edildiği Resim 5.2 ve Resim 5.3’de ki SEM görüntülerinde görülmektedir. Fiber dağılımının belirli bir düzlemde olmadığı geliş güzel bir dağılım sergilediği gözlemlenmektedir.



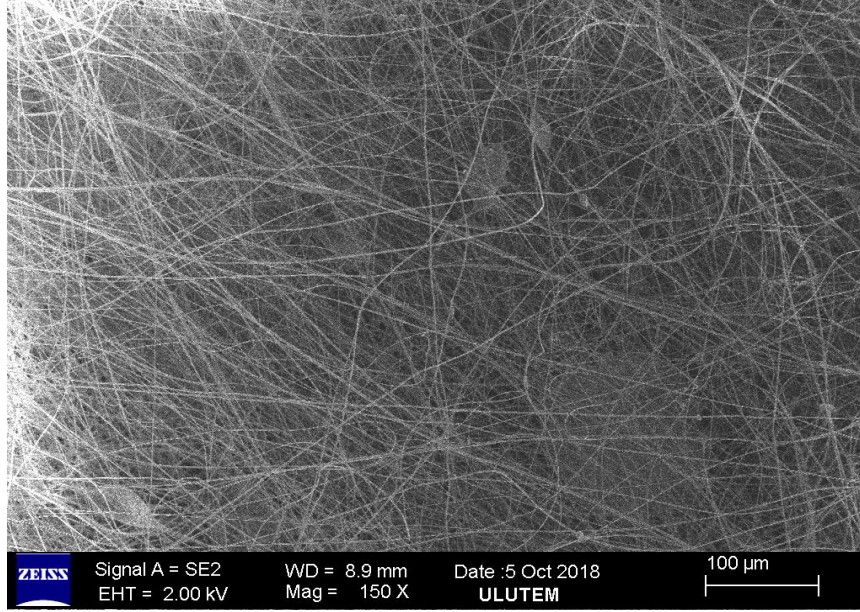
Resim 5.2. Saf PAN nanofiber SEM görüntüleri (150 X)



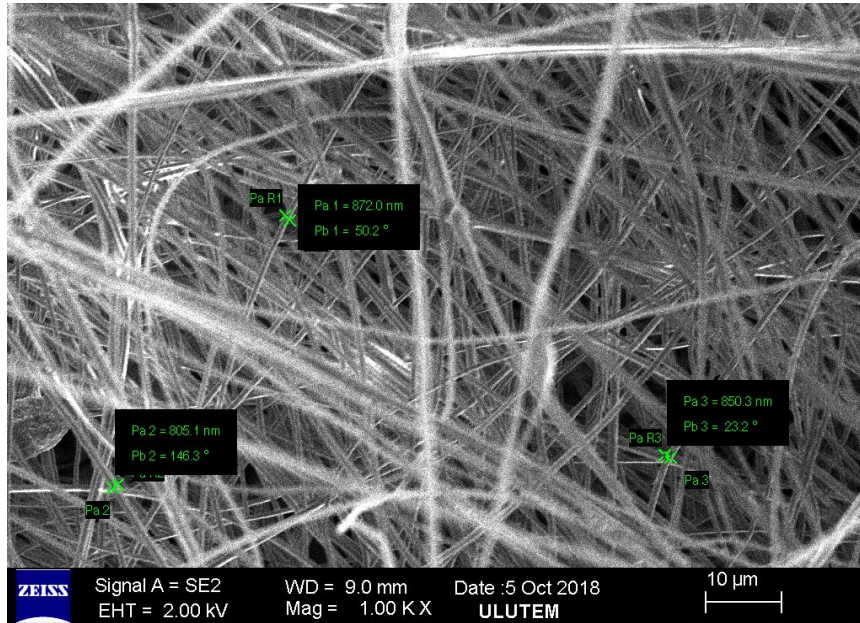
Resim 5.3. Saf PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.2. ÇDKNT katkılı PAN fiberlerinin SEM görüntüleri

150X ve 1000X büyütme ile incelenen ÇDKNT-PAN fiberlerinin saf PAN fiberlerinde olduğu gibi gelişmiş güzel bir şekilde dağıldığı Resim 5.4 ve Resim 5.5'te görülmektedir. Üretilen ÇDKNT-PAN fiberlerinin damlacıksız ve homojen bir dağılım içinde elde edildiği SEM görüntülerinde de görülmektedir.



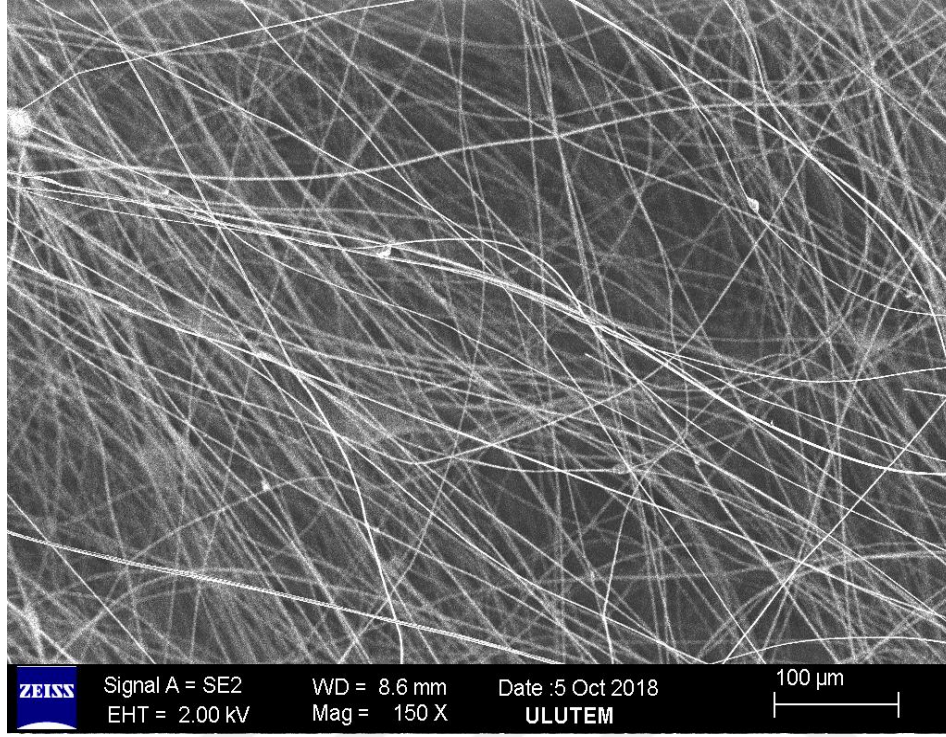
Resim 5.4. ÇDKNT-PAN nanofiber SEM görüntüleri (150 X)



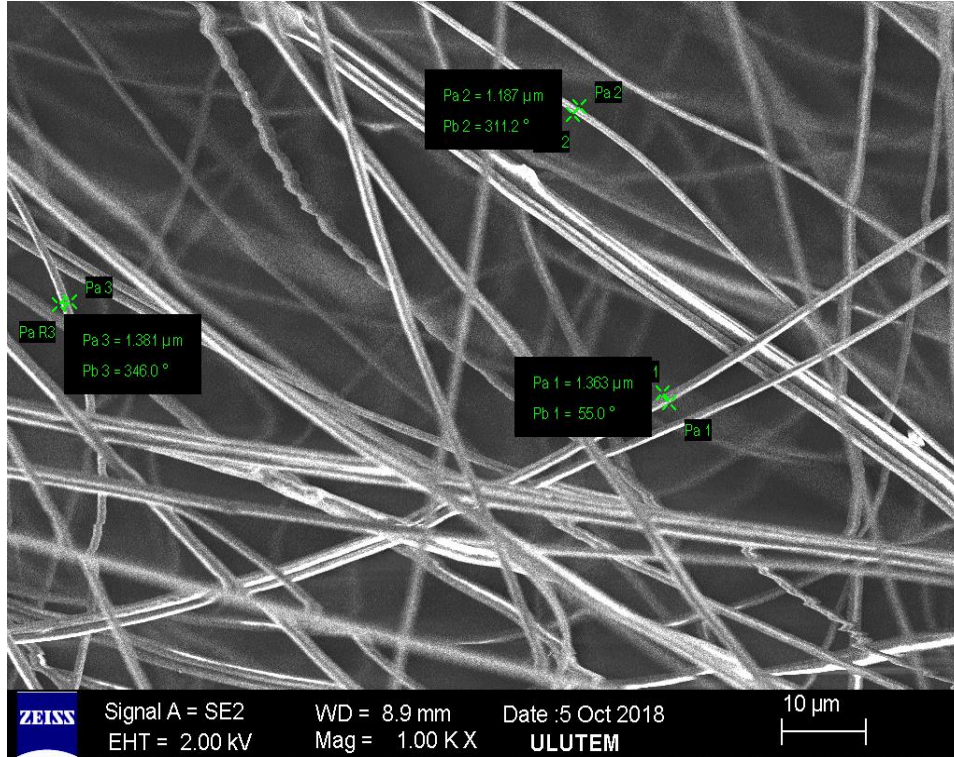
Resim 5.5. ÇDKNT-PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.3. Grafen katkılı PAN fiberlerinin SEM görüntüleri

Grafen katkılı PAN fiberleri Resim 5.6 ve Resim 5.7’de görülmektedir.



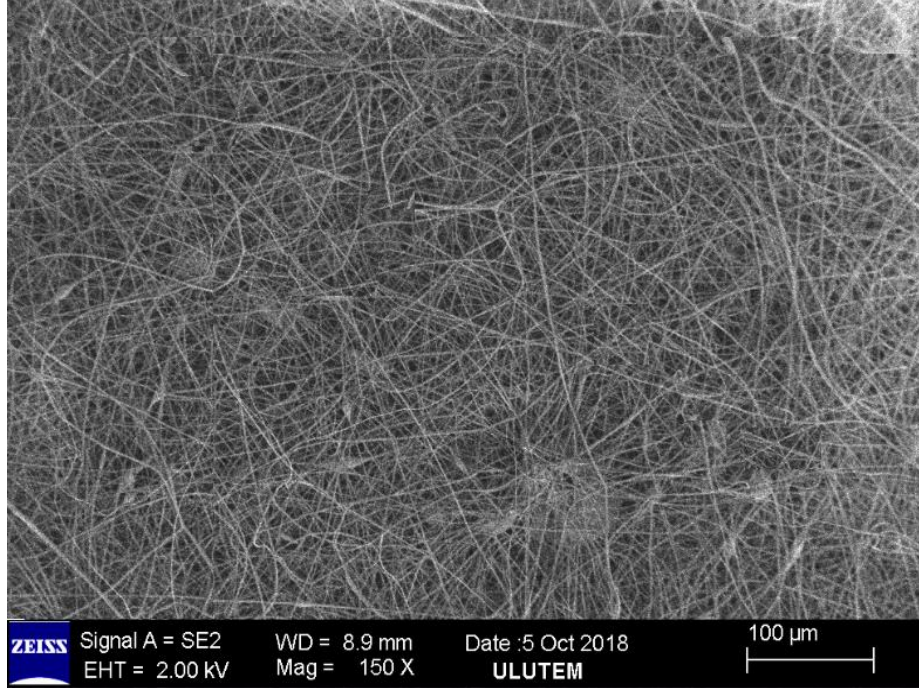
Resim 5.6. G-PAN nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X)



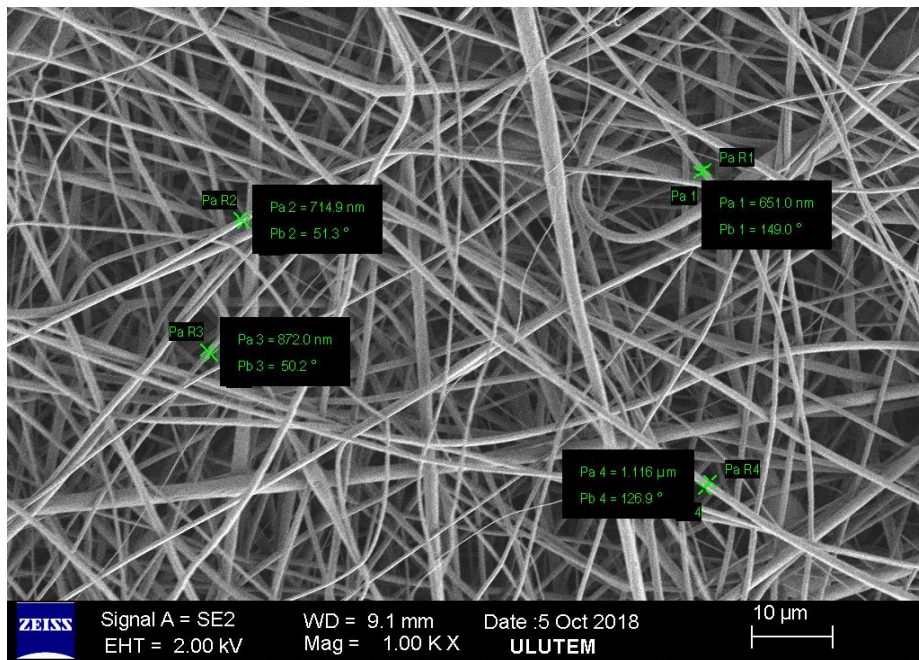
Resim 5.7. G-PAN nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.4. Saf PVC fiberlerinin SEM görüntüleri

Katkısız PVC Fiberlerin SEM görüntüleri Resim 5.8 ve Resim 5.9'da görülmektedir. PVC fiberler SEM görüntüleri PAN fiberlerinin SEM görüntüleri ile benzer şekilde olduğu görülmektedir.



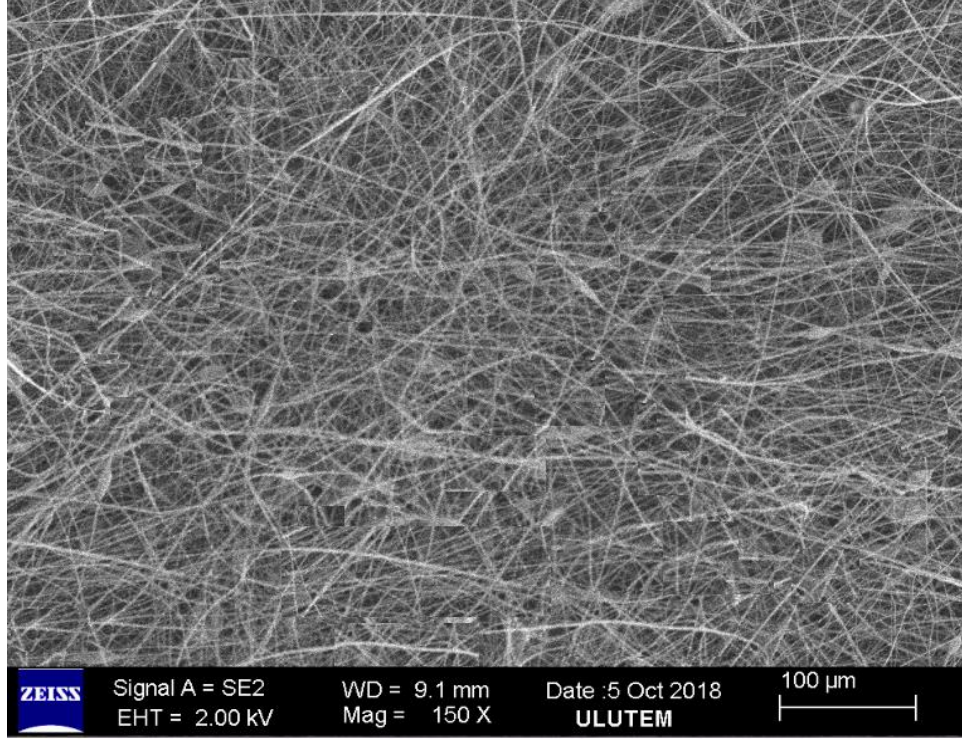
Resim 5.8. Saf PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X)



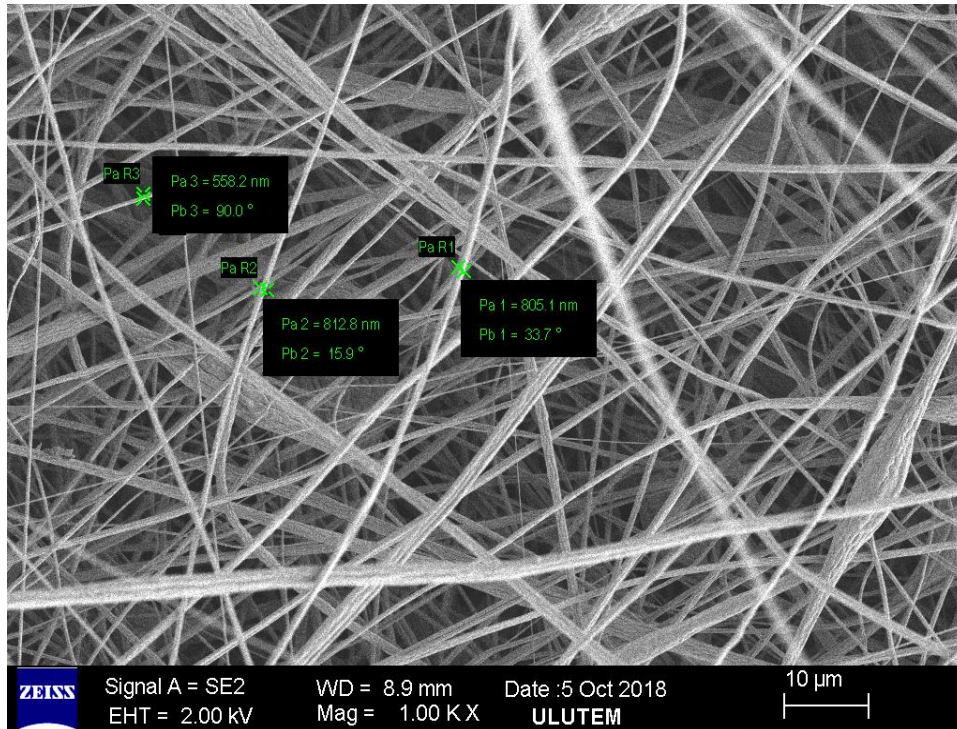
Resim 5.9. Saf PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.5. ÇDKNT katkılı PVC fiberlerinin SEM görüntüleri

ÇDKNT katkılı PVC Fiberlerin SEM görünümü Resim 5.10 ve Resim 5.11’de verilmektedir.



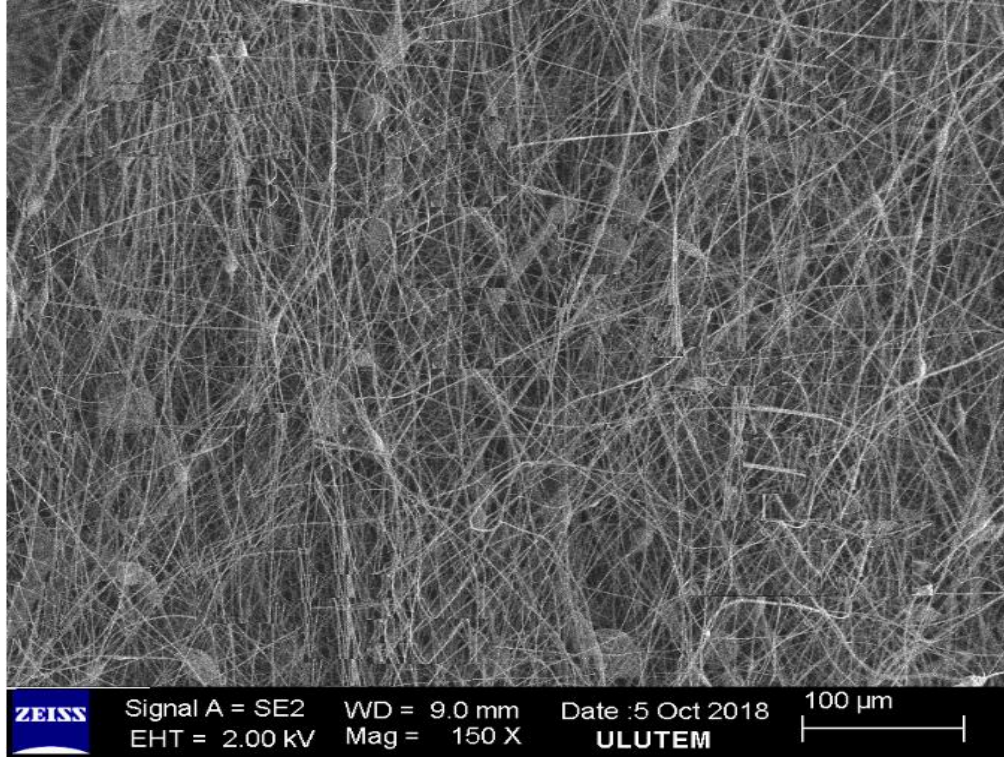
Resim 5.10. ÇDKNT-PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X)



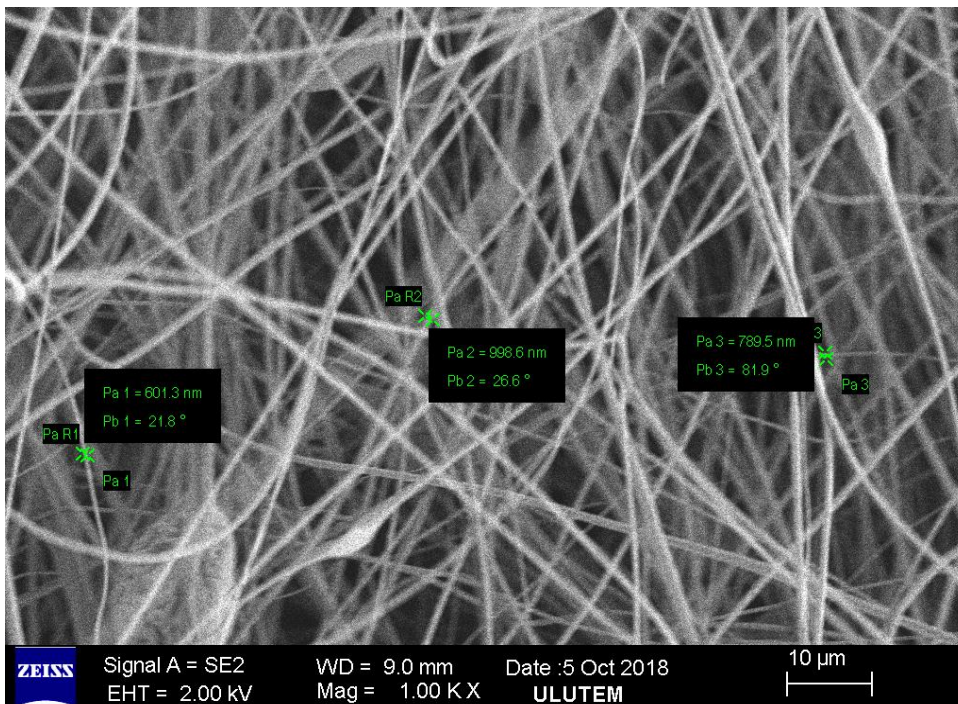
Resim 5.11. ÇDKNT-PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.6. Grafen katkılı PVC fiberlerinin SEM görüntüleri

Grafen katkılı PVC Fiberlerin SEM görünümü Resim 5.12 ve Resim 5.13’de gösterilmiştir.



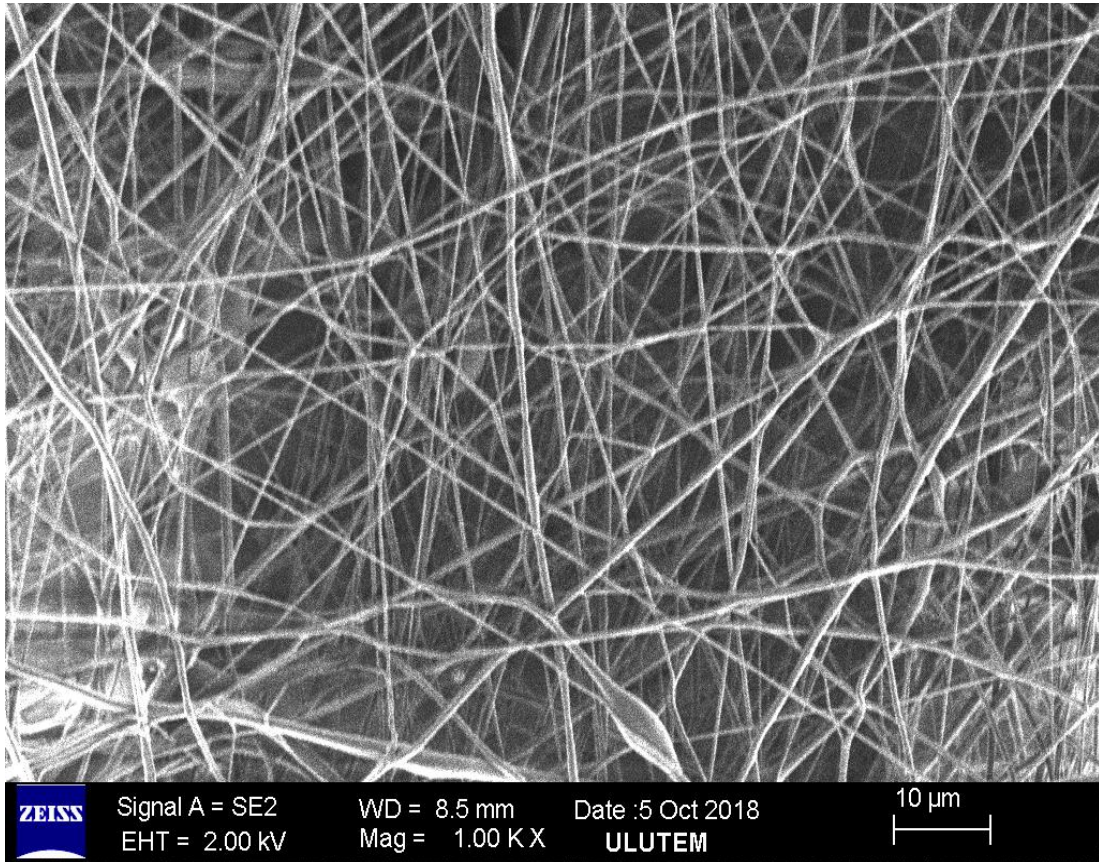
Resim 5.12. G-PVC nanofiberlerin SEM görüntüleri (150 X)



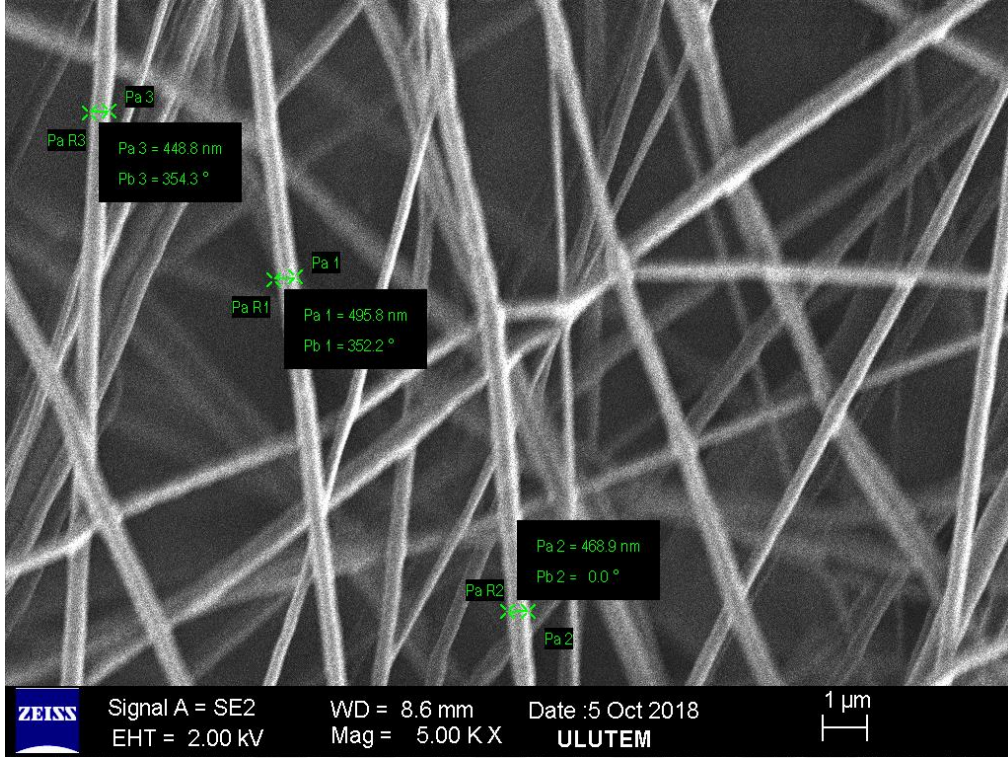
Resim 5.13. G-PVC nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

5.1.7. Saf TPU fiberlerinin SEM görüntüleri

Katkısız TPU fiberlerinin SEM görüntüleri Resim 5.14 ve Resim 5.15'te verilmiştir. TPU fiberleri; PAN ve PVC fiberlerine göre yapısal anlamda farklılık göstermektedir. TPU fiber tabakası daha elastik bir yapıdadır. SEM görüntüleri incelendiğinde PAN ve PVC fiberlerinin SEM görüntüleri kadar homojen bir yapıda olmadığı tespit edilmiştir. Damlacıklı yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. PVC ve PAN fiberleri daha birbirinden bağımsız, dokusal bir görüntü verdiği halde TPU fiberlerinin SEM görüntüleri örümcek ağı formunda ve birbirine yapışık haldedir.



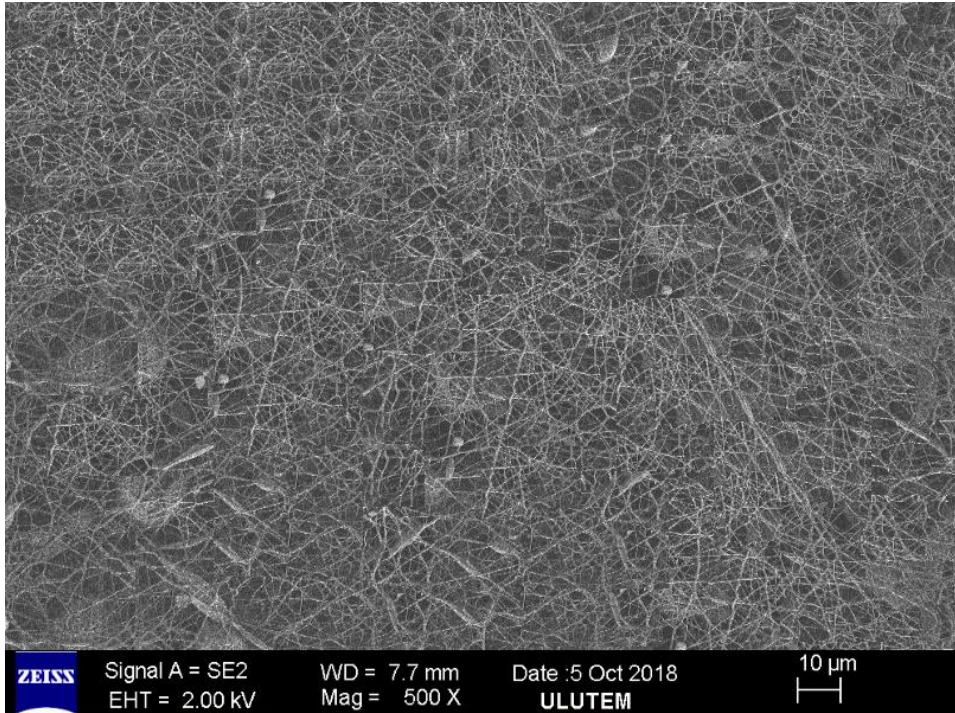
Resim 5.14. Saf TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (1 kX)



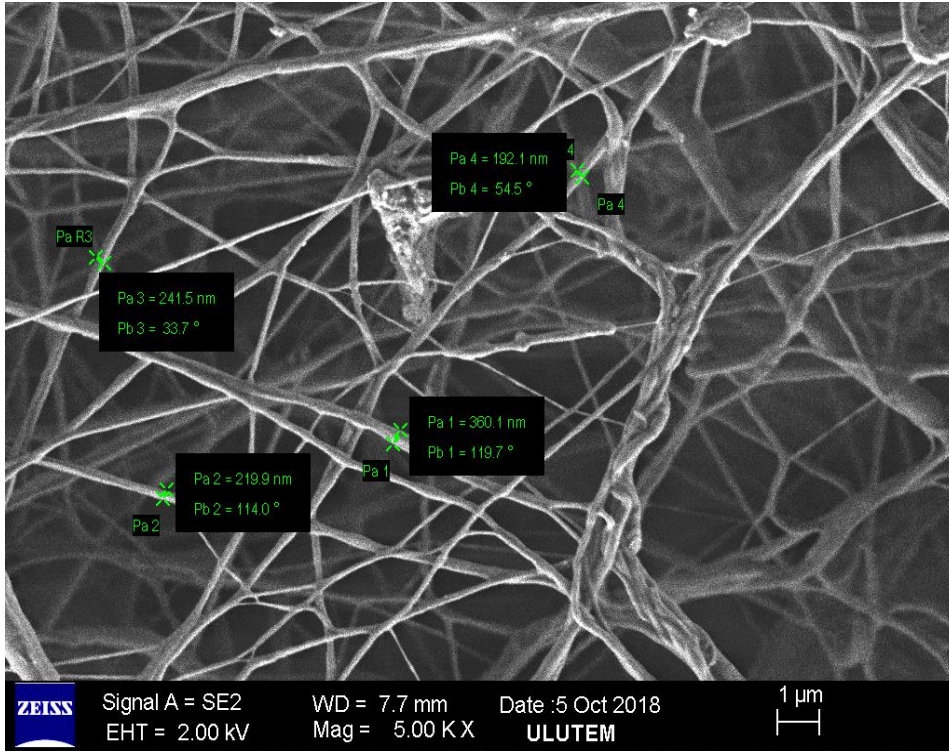
Resim 5.15. Saf TPU nanofiberlerin kalınlıkları (5 kX)

5.1.8. ÇDKNT katkı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri

ÇDKNT katkı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri Resim 5.16 ve Resim 5.17’de verilmektedir.



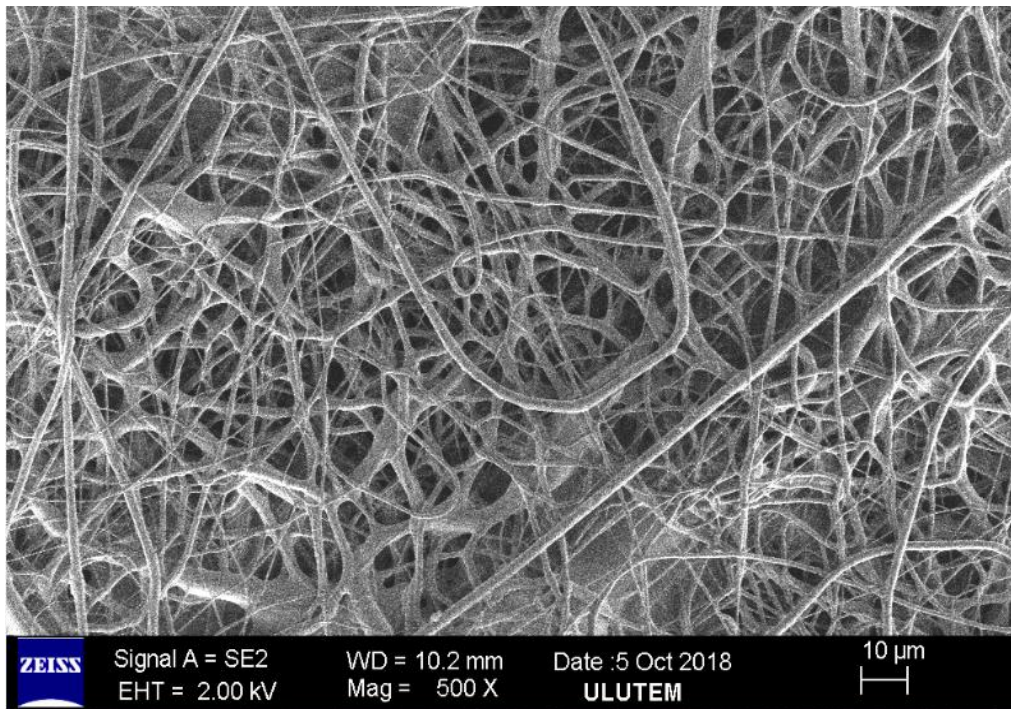
Resim 5.16. ÇDKNT-TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (500 X)



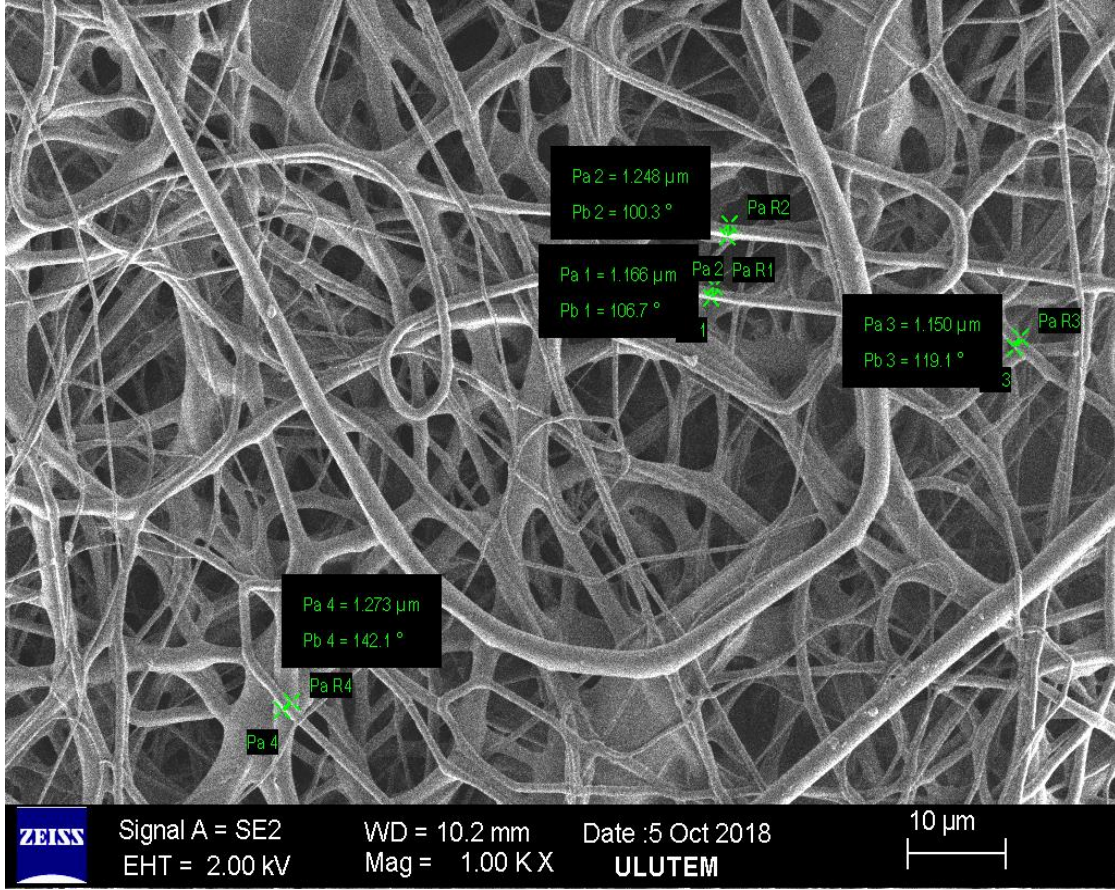
Resim 5.17. ÇDKNT-TPU nanofiberlerin kalınlıkları (5 kX)

5.1.9. Grafen katkılı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri

Son olarak grafen katkılı TPU fiberlerinin SEM görüntüleri ise Resim 5.18 ve Resim 5.19’da verilmektedir.



Resim 5.18. G-TPU nanofiberlerin SEM görüntüleri (500 X)



Resim 5.19. G-TPU nanofiberlerin kalınlıkları (1 kX)

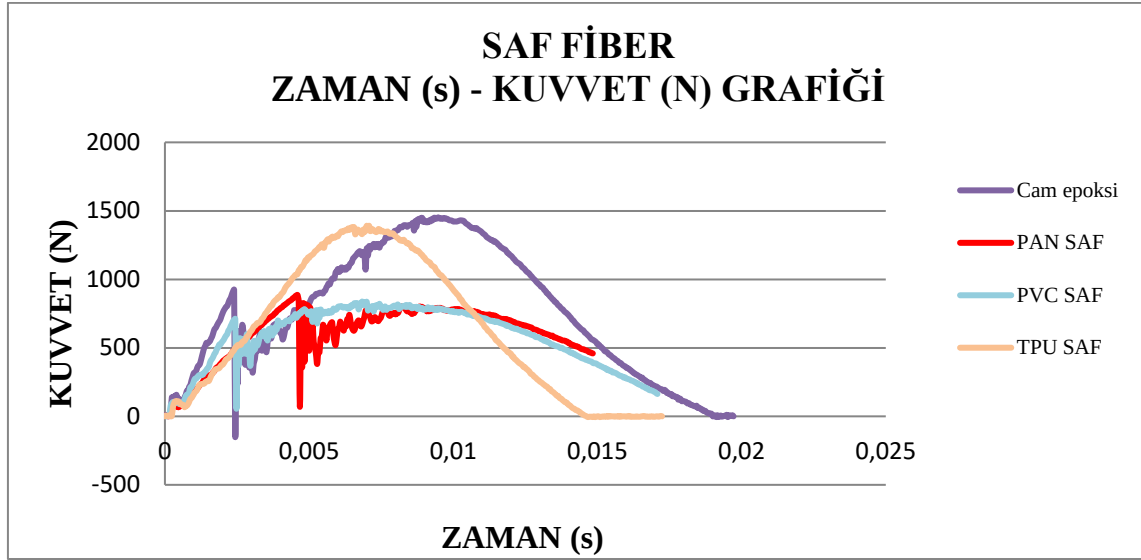
5.2. Düşük Hızlı Darbe Testi

Düşük hızlı darbe testleri esnasında, kuvvet sensöründe harcanan enerji ihmal edilmiştir. Aparatlar ve tabla, ölçümü gerçekleştirecek kompozit malzemelere göre kalın ve rijit olduğu için bunlarda harcanan enerjiler göz ardı edilmiştir. Benzer şekilde vurucu ucun yüksek mukavemeti nedeniyle oluşan düşük seviyeli elastik şekil değiştirme için gerekli enerji değeri de göz ardı edilmiştir. Aynı şekilde vurucu ucun kompozit malzemelerin üzerine düşüşü esnasındaki sürtünme kayıpları da göz ardı edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda kompozit malzemeler tarafından absorbe edilen enerjinin ve vurucu ucun geri tepme enerjisinin toplamı, toplam enerji olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.1’de düşük hızlı darbe deneyi sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5.1. Düşük hızlı darbe deneyi verileri

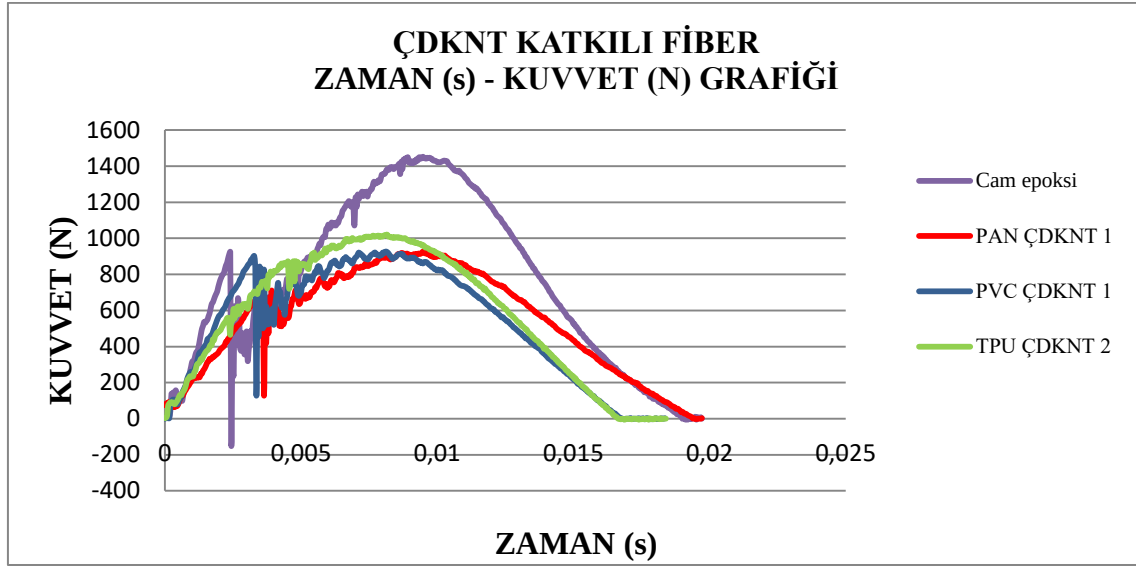
	Toplam Impuls(N.Sec)	Absorbe Edilen Enerji (J)	İade Edilen Enerji (J)	Temas Rijitliği (N/Sec)	Eğilme Rijitliği (N/m)	Toplam Süre (S)	Tepe Kuvvet (N)	Tepe Deplasman (m)
CAM EPOKSİ	4895,01	2,624	0,175	-136,88	-137,14	0,0205	910,24	0,0125
PAN CNT	5234,36	0,485	2,314	145058	159380	0,0205	926,84	0,0064
PAN Gr	5472,05	0,831	1,968	77085,6	77193,4	0,0205	1067,94	0,0079
PAN SAF	6228,24	1,745	1,054	-227,36	-227,68	0,0205	885,34	0,0112
PVC CNT	4867,17	1,194	1,605	177596	181672	0,0205	926,84	0,0071
PVC Gr	5491,79	0,807	1,992	79705,3	79964,4	0,0205	1139,88	0,008
PVC SAF	5820,99	1,187	1,612	65842,2	65912,6	0,0205	838,3	0,0087
TPU CNT	5297,24	0,549	2,25	146600	150314	0,0205	1020,91	0,007
TPU Gr	5429,69	0,761	2,038	98162	98762	0,0205	1062,41	0,0077
TPU SAF	5622,69	0,397	2,402	55589,1	55677,7	0,0205	1391,65	0,008

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilen polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiklerinde polimerlerin birbirleri ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Üç polimerin benzer katkı malzemeleri eklenmesi veya katkısız bir şekilde birbirlerine göre dayanımları incelenmiştir.



Şekil 5.1. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

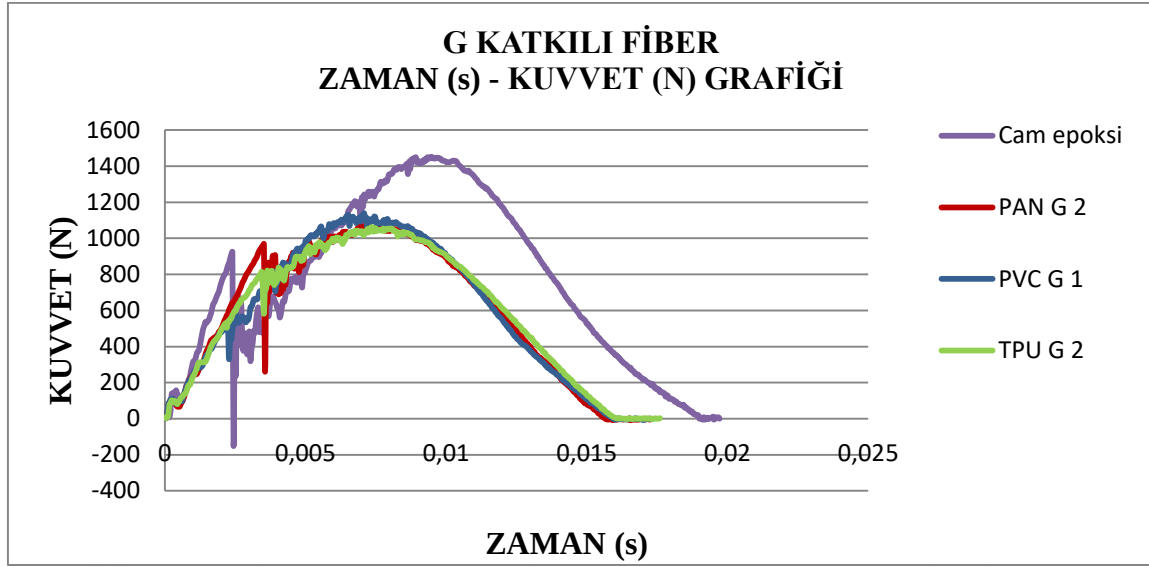
Şekil 5.1’ deki katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin kuvvet-zaman grafiği incelendiğinde; cam epoksi takviyeli kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Hasara uğramadan önce 1452 N değerine kadar çıkabilmektedir. Polimerlere bakıldığında ise en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olanın TPU takviyeli kompozit malzemeler olduğu görülmektedir. Hasara uğramadan önce TPU takviyeli kompozit malzemenin 1391 N değerine ulaşabildiği görülmektedir. PVC ve PAN takviyeli kompozit malzemelerin ise hemen hemen benzer yük taşıma kapasitesine sahip oldukları gözlemlenmiştir. PAN takviyeli kompozit malzeme hasara uğramadan önce 885 N değerine ulaşabilmişken PVC takviyeli kompozit malzeme ise 838 N değerinde kalmıştır. Tüm malzemeler de salınım gözlemlenirken en az salınım TPU takviyeli kompozit malzemedeki gerçekleşmiştir. Salınımın nedeni malzemelerin merkeze yakın yerlerinde hasar oluştuğu anlamı taşımakla birlikte vurucu ucun çarpmasıyla sonucu malzemedeki gerçekleşen titreşimler kuvvet sensörünü etkilemekte ve test başlangıcında da mevcut salınımları oluşturduğu bilinmektedir. TPU takviyeli kompozit malzemenin diğerlerine göre daha rijit bir yapıya sahip olduğundan kaynaklı az salınım yaptığı yorumlanabilir.



Şekil 5.2. %1 ÇDKNT katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

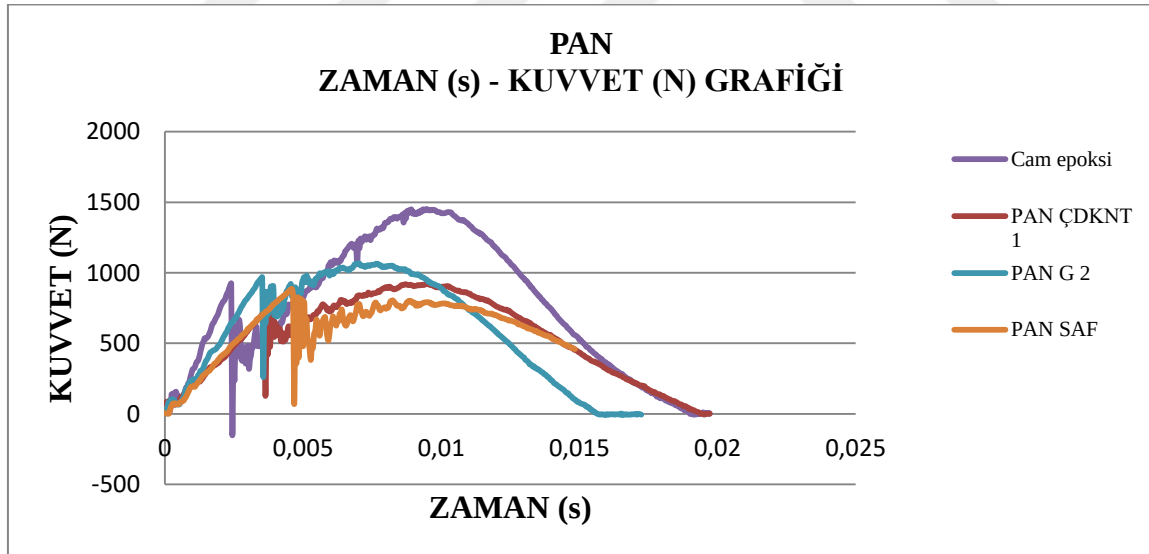
Şekil 5.2’de %1 ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemeler karşılaştırılmıştır. Polimere eklenen %1 oranındaki ÇDKNT’ün polimerle ile oluşturduğu birliktelik sonucunda malzemeye etkisi incelenmiştir. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı grafiğindeki olduğu gibi cam epoksi en çok yükü taşıyabilen malzeme olarak burda da öne çıkmaktadır. %1 ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme diğerlerine göre en çok yükü taşıyabilse de katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı grafiğindeki kadar fark yaratmamıştır. %1 ÇDKNT katkılı TPU 1020 N, %1 ÇDKNT katkılı PAN ve PVC 926 N değerlerinde yük taşıma kapasitesine sahiptirler.

Şekil 5.3’de ki %1 grafen takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemeler karşılaştırmaları incelendiğinde ise polimerler arasında en yüksek yük taşıma kapasitesi 1139 N değeri ile grafen takviyeli PVC polimerindedir. Grafen takviyeli PAN 1067 N, grafen takviyeli TPU ise 1062 N yük taşıma kapasitesi ile birbiri ile benzer yük taşıma kapasitelerine sahip oldukları yorumlanabilir.



Şekil 5.3. %1 Grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

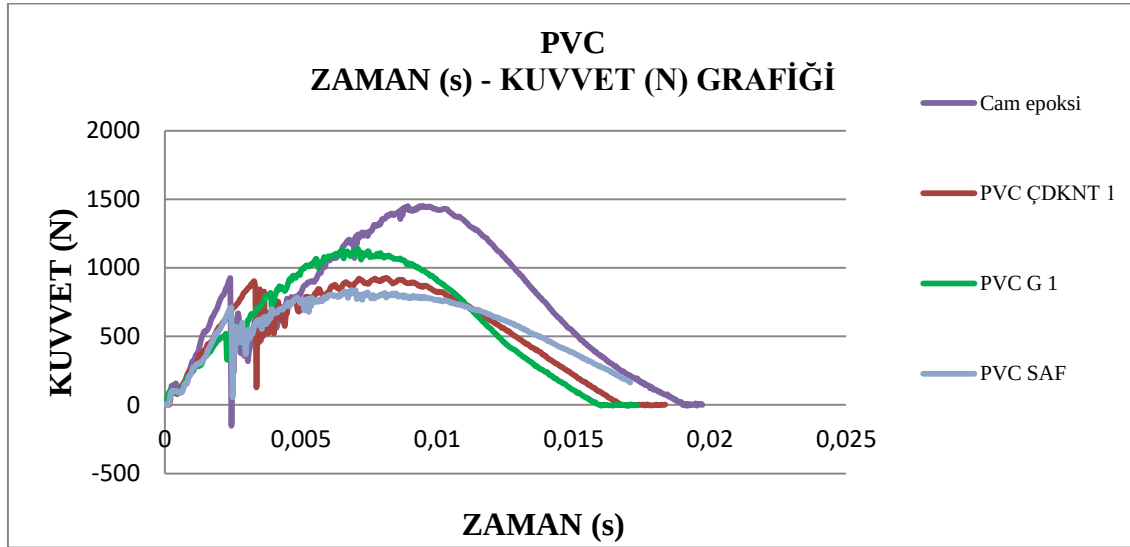
Şekil 5.4’de PAN polimerinin grafen, ÇDKNT ve katkısız şekilde kompozit malzemesi için de kullanımları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.4. PAN takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

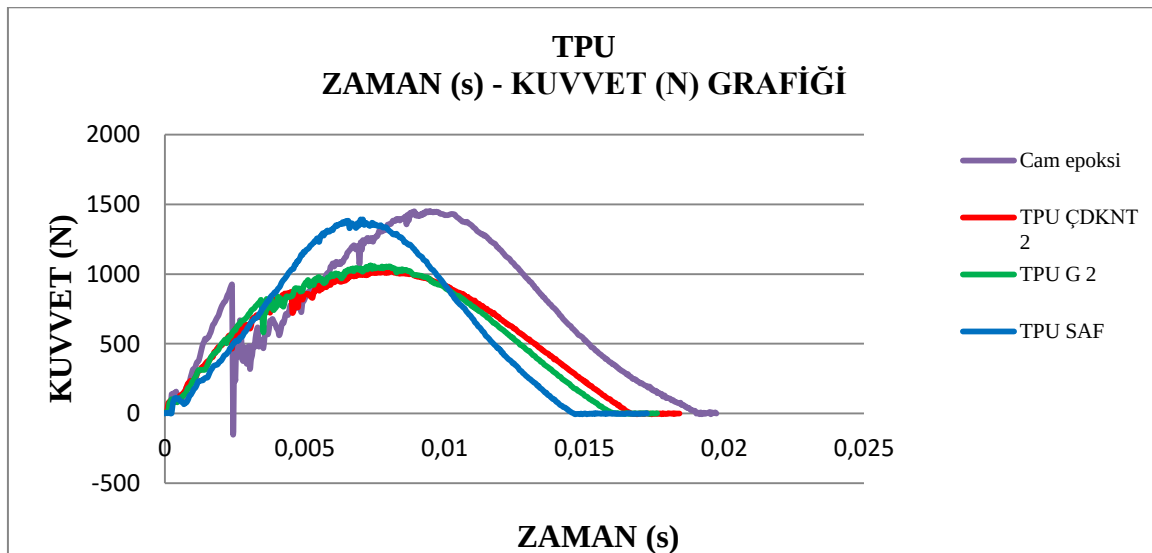
Burada ki amaç PAN polimeri için hangi takviye malzemesinin daha verimli olacağının tespitidir. Grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin diğerlerine göre daha fazla yük taşıma kapasitesi olduğu, hasarlanma olmadan önce 1067 N değerine ulaşabildiği tespit edilmiştir. Grafen takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemein arkasından ÇDKNT takviyeli PAN takviyeli kompozit malzeme en çok yükü taşıma kapasitesindedir.

Hasarlanmadan önce 926 N değerine ulaşmıştır. PAN ile benzer şekilde PVC polimeri içinde (Şekil 5.5) grafen takviyesi en çok yük taşıma kapasitesine sahiptir. PVC polimeri için yük taşıma kapasitesi sırasıyla grafen, ÇDKNT ve katkısız şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 5.5. PVC takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

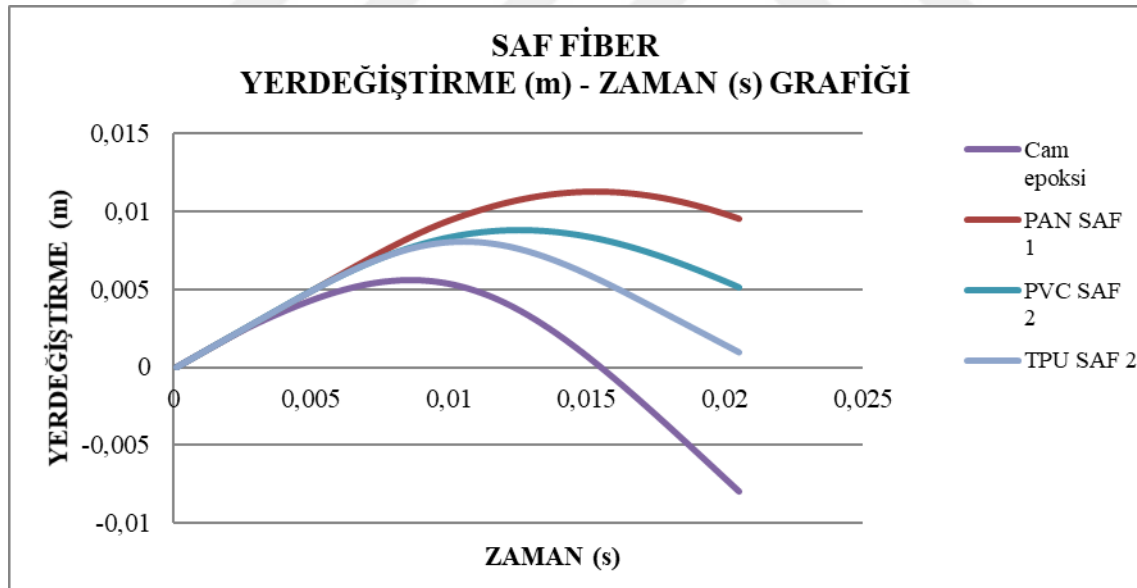
Şekil 5.6'da verilen TPU takviyeli kompozit malzemelerin takviye sıralaması ise PAN ve PVC'den farklıdır.



Şekil 5.6. TPU takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet-zaman grafiği

TPU polimeri için yük taşıma kapasitesi takviye elemanı kullanılmaması durumunda en yüksek değerini vermektedir. Sonrasında grafen takviyeli TPU takviyeli kompozit malzeme gelirken en son sırayı ise ÇDKNT takviyeli TPU takviyeli kompozit malzeme almaktadır.

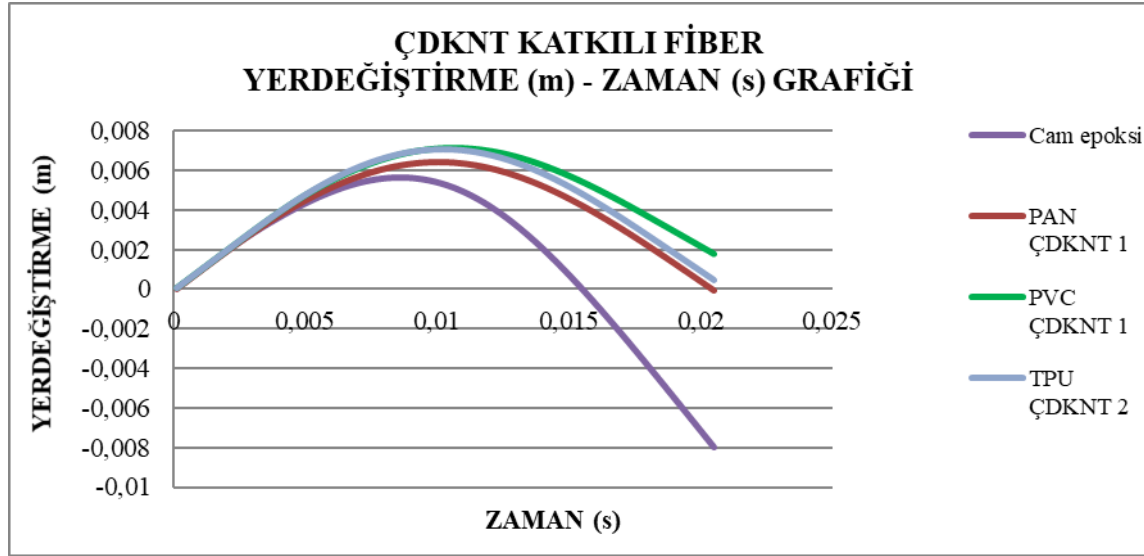
Şekil 5.7’de katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği verilmiştir. Grafikte birbirine benzer çizgilerin olduğu görülmektedir. Vurucu ucun yukarı hareketinin olduğu malzemelerde yerdeğiştirme az olurken vurucu ucun malzemeye çarptıktan sonra durması veya delmesi durumunda yerdeğiştirme daha fazla olacaktır. Bu bilgiler ışında Şekil 5.7’ye bakacak olursak en az yerdeğiştirme cam epoksiye aittir. Cam epoksinin rijit bir yapıda olmasından kaynaklı bir durum olduğu söylenebilir. Saf PAN takviyeli kompozit malzeme ise en çok yer değiştirme yapan malzemedir. Fiberlerin sünek bir yapıda olmasından kaynaklı bir durumdur. Darbeyi en iyi absorblayanın katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme olduğu söylenebilir.



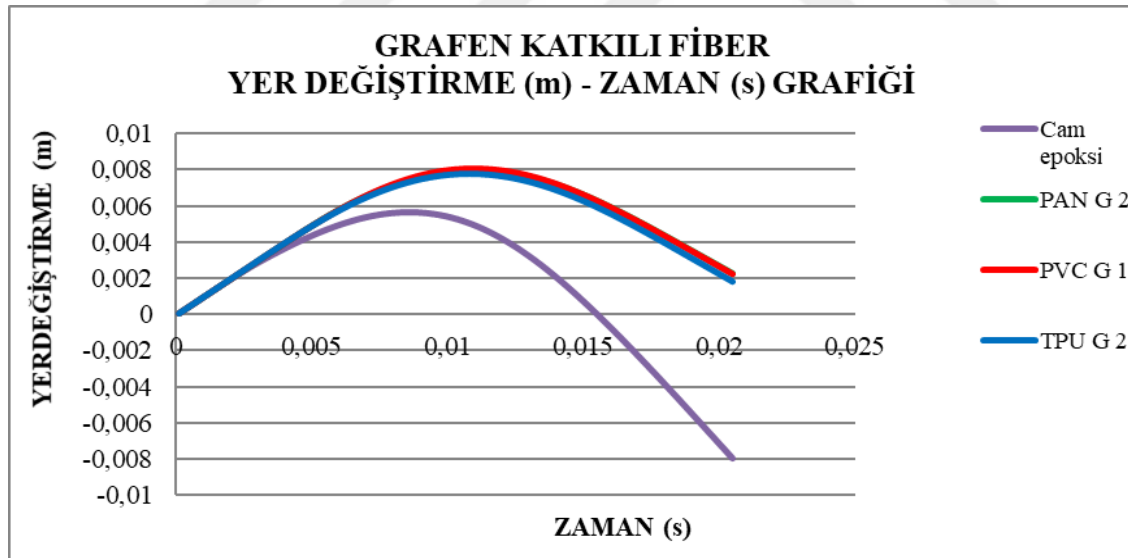
Şekil 5.7. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği

Şekil 5.8’de ise ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemeler karşılaştırılmıştır. ÇDKNT takviyesi ile darbeyi en iyi absorbe eden malzemenin PVC olduğu söylenebilir. Sonrasında ise sırasıyla TPU ve PAN gelmektedir. Şekil 5.9’daki grafen takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemelerin yerdeğiştirme - zaman grafikleri

incelendiğinde ise grafen takviyesi ile üç malzemeninde birbiri ile eş değer darbe absorbe etme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



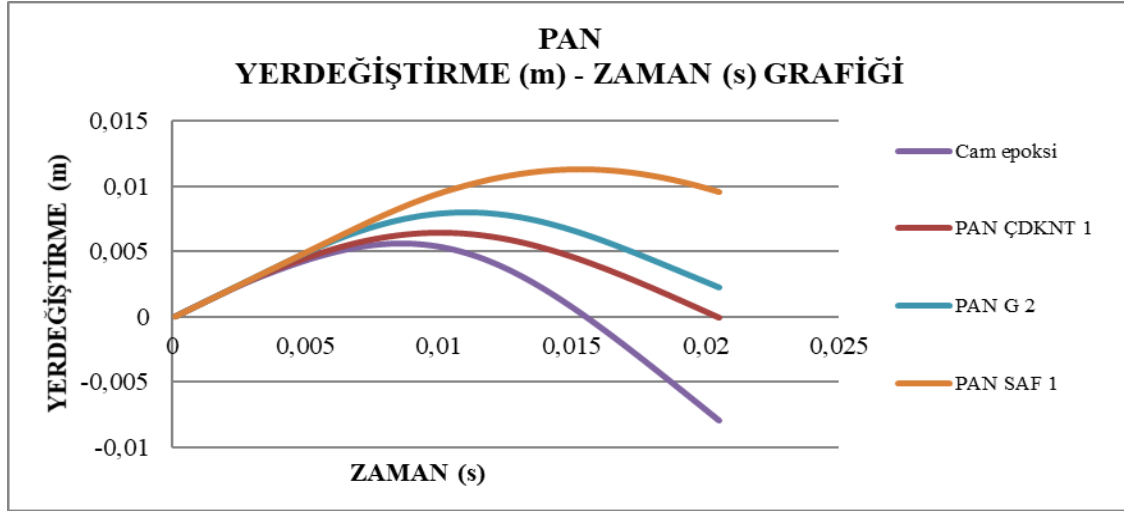
Şekil 5.8. ÇDKNT katkıli polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği



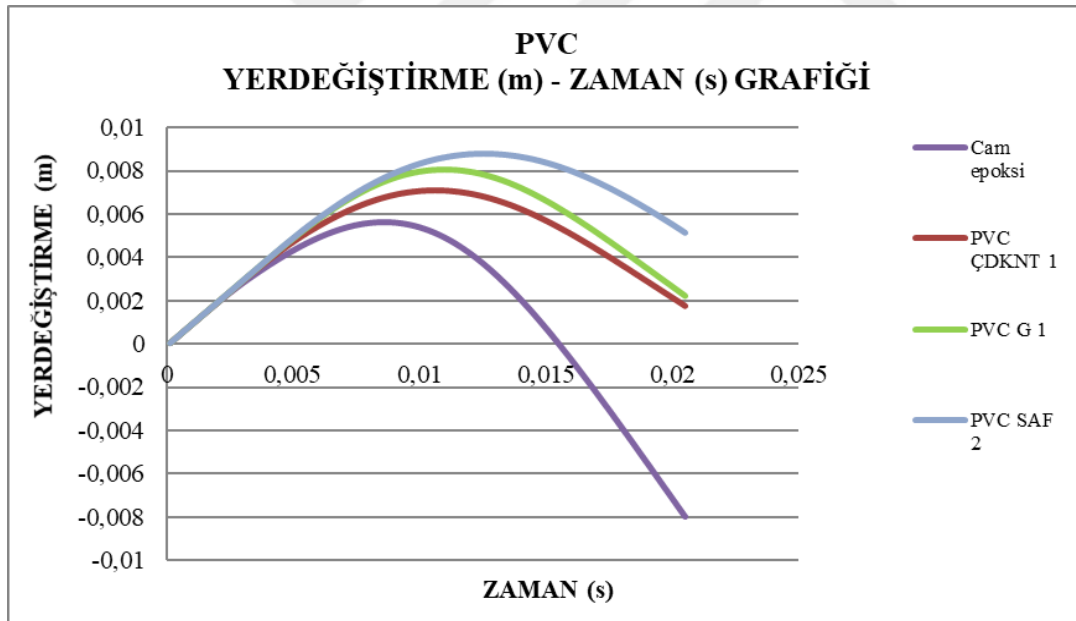
Şekil 5.9. Grafen katkıli polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği

Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 incelendiğinde kullanılan tüm polimer takviyeli kompozit malzemelerde benzer bir darbe adsorbe etme kapasite dağılımı gözlenmektedir. Yani; her bir polimer için en iyi darbe adsorbe edici katkısız polimer takviyeli kompozit

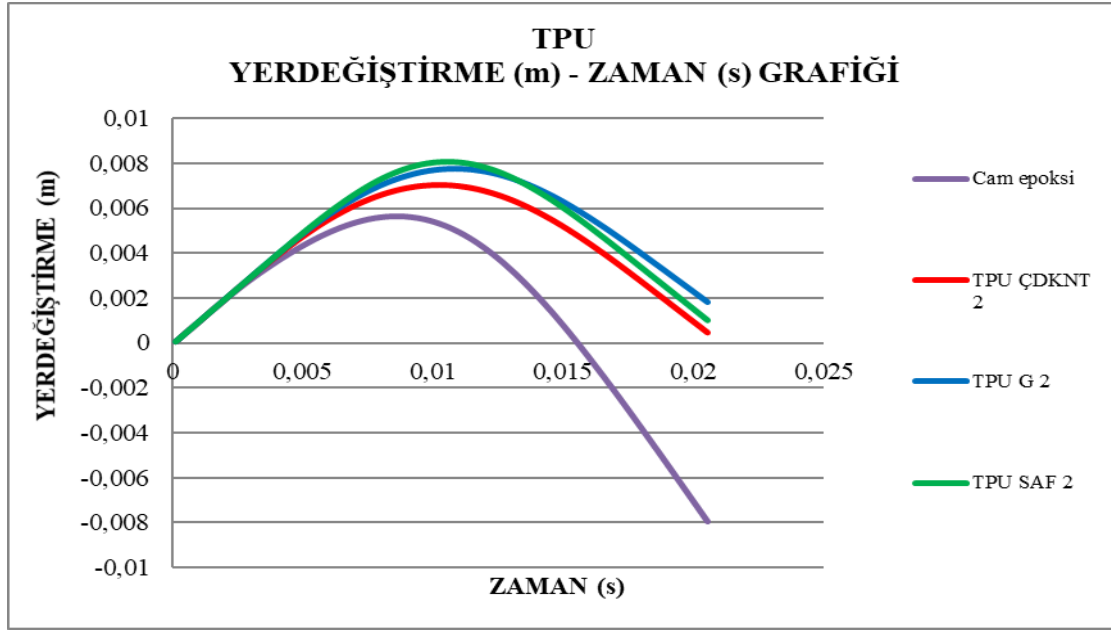
malzeme olurken sonrasındaki sıra ise sırasıyla grafen takviyeli ve ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemeler olmaktadır.



Şekil 5.10. PAN takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği

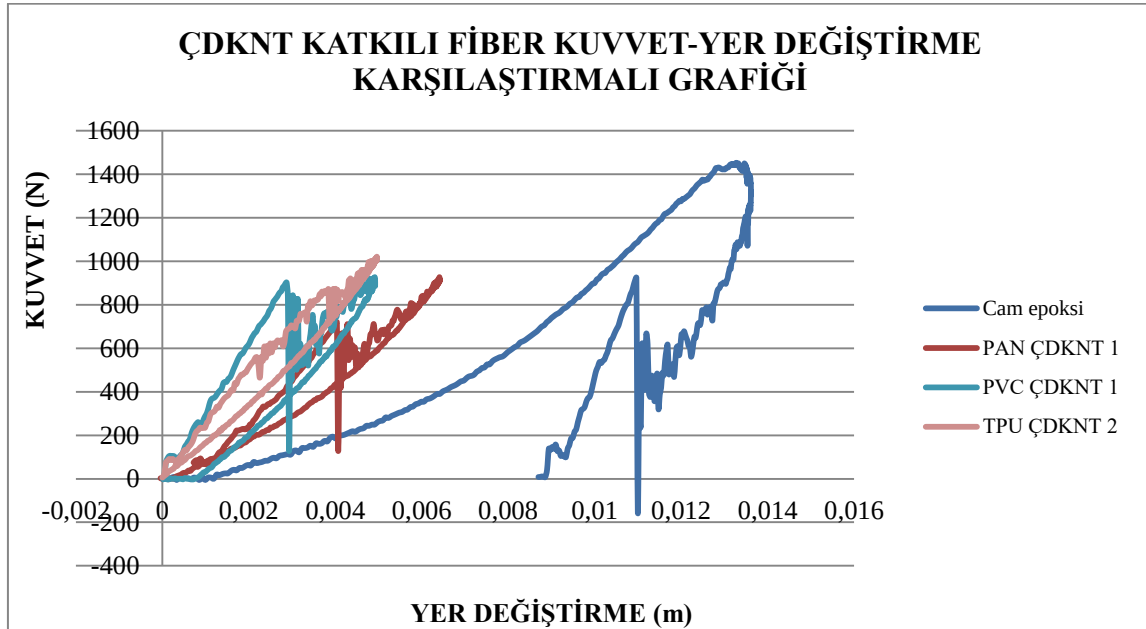


Şekil 5.11. PVC takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği

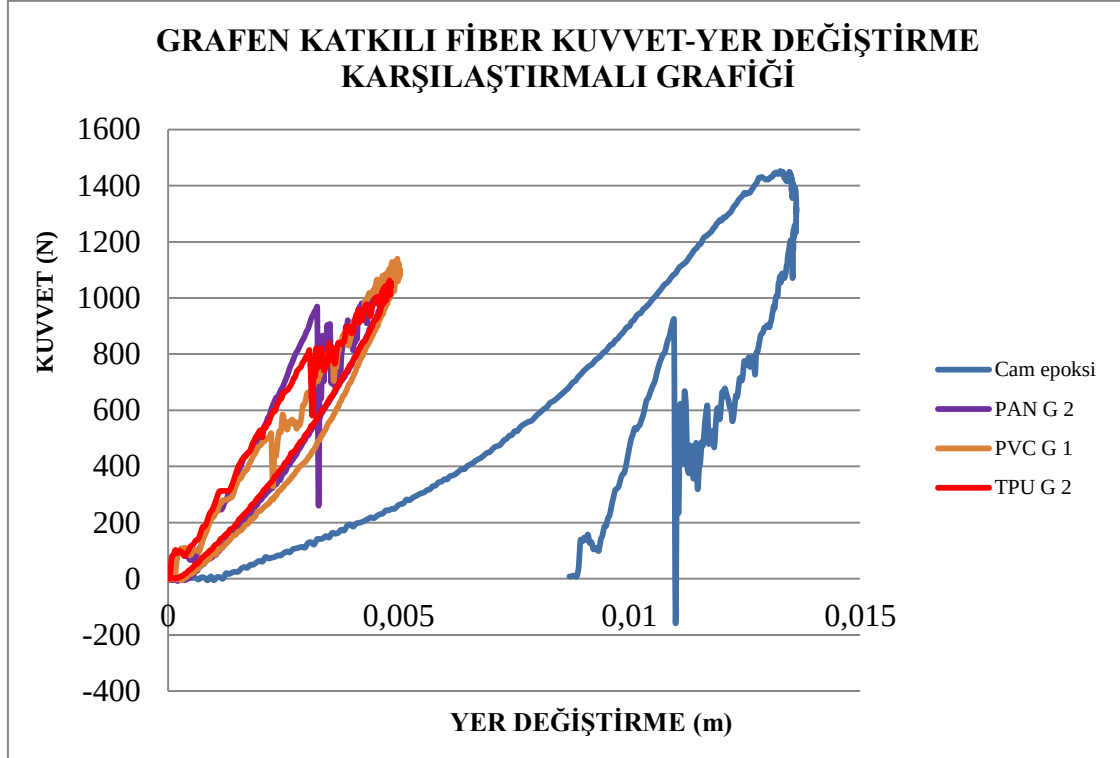


Şekil 5.12. TPU takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı yer değiştirme - zaman grafiği

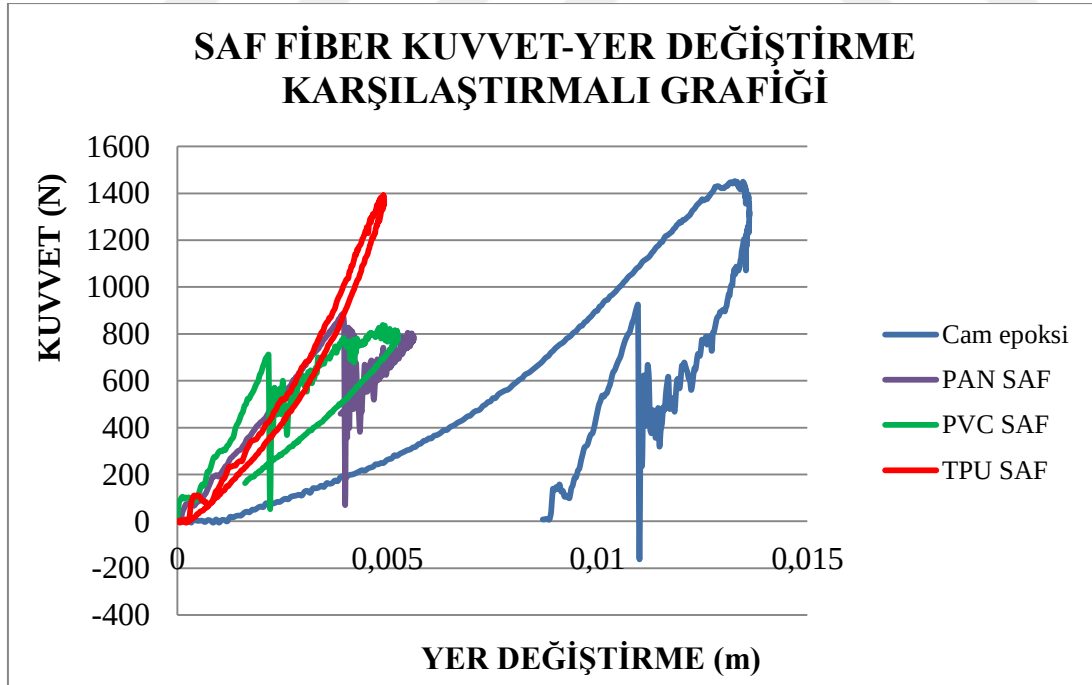
Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de katkısız, ÇDKNT katkılı ve grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.13. ÇDKNT katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği



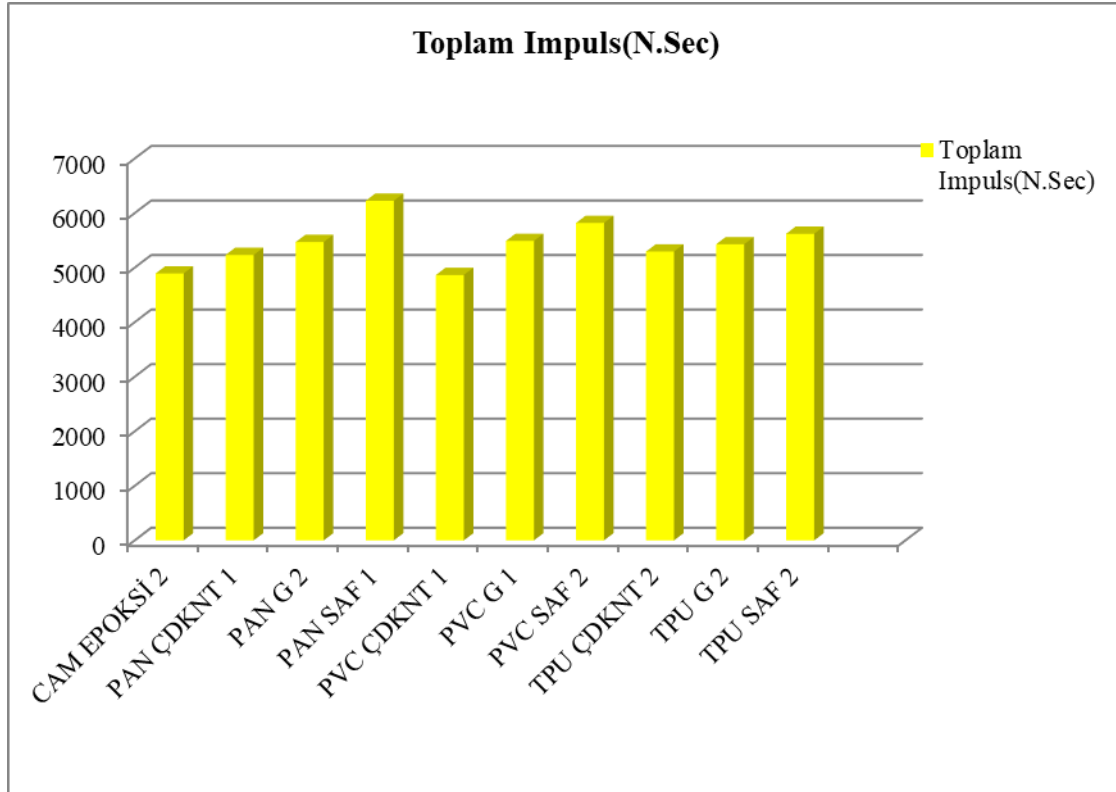
Şekil 5.14. Grafen katkılı polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği



Şekil 5.15. Katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı kuvvet - yer değiştirme grafiği

Kuvvet - yer değiştirme grafiklerinin en karakteristik özelliği çizgilerin kapalı bir eğri oluşturma eğilimidir. Grafikler incelendiğinde üç polimerin katkılandırılmaları sonucunda birbirine yakın değerler çıktığı gözlenmiştir.

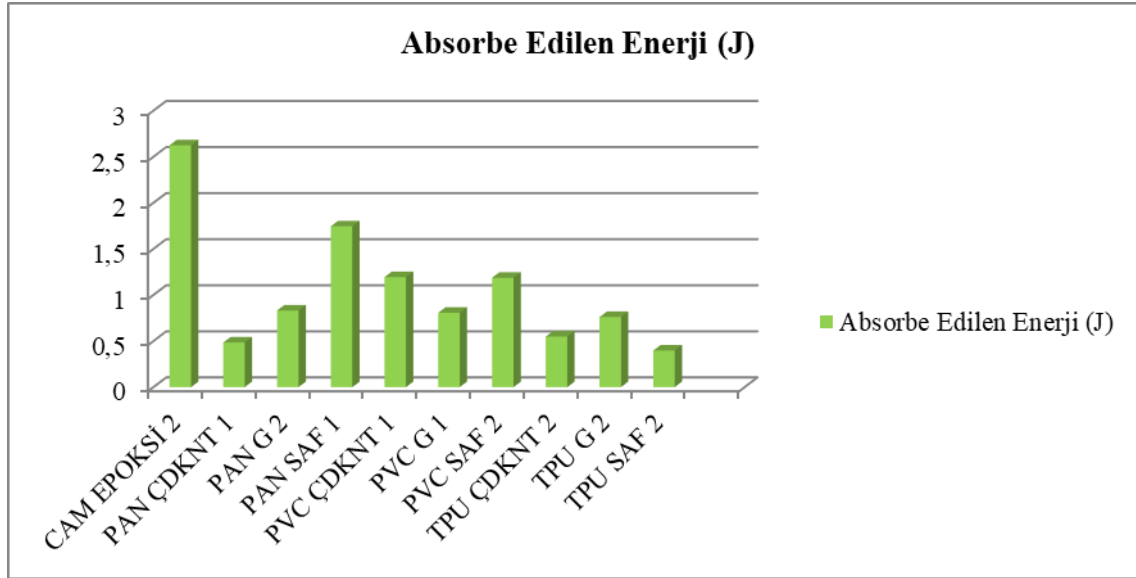
İmpuls, genel anlamda malzemenin çizgisel momentumundaki değişimi denilebilir. şekil 5.16’da karşılaştırılmalı olarak verilen Toplam İmpuls değerleri bulunmaktadır.



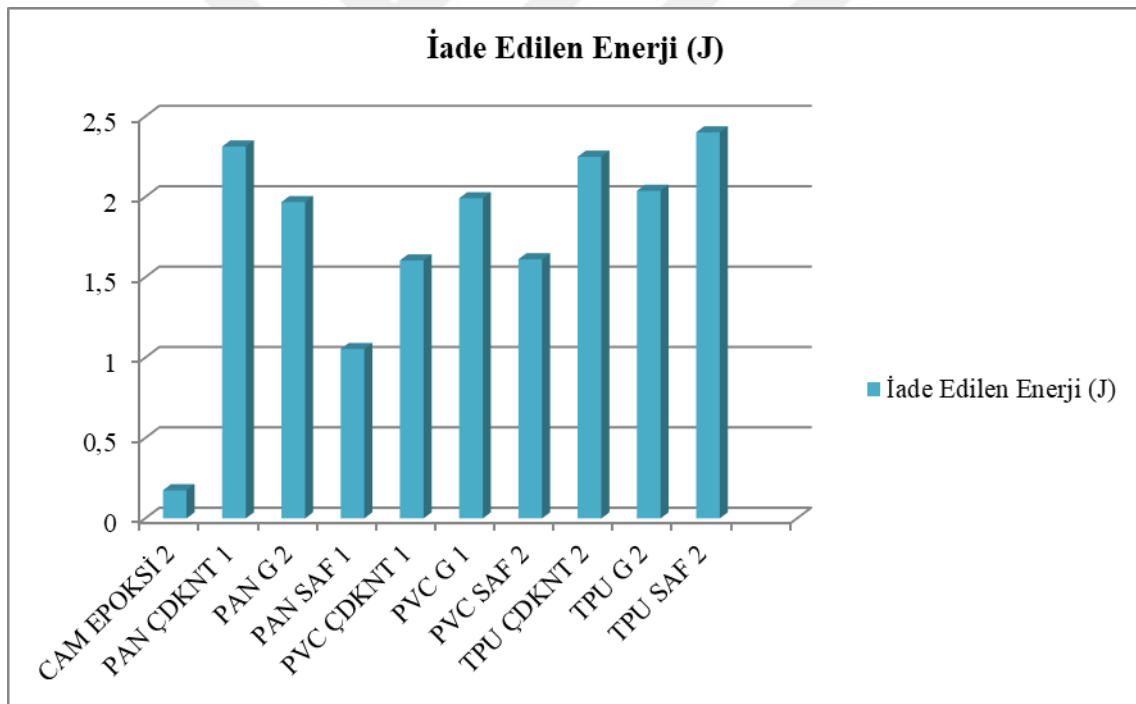
şekil 5.16. Kompozit malzemelerin toplam impuls değerlerinin karşılaştırılması

Katkısız polimerlerin impuls değeri katkılılara oranla daha yüksektir. Sonrasında sırasıyla grafen takviyeli olanlar en sonda ise ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemeler gelmektedir.

şekil 5.17 ile şekil 5.18 arasında ters ilişki mevcuttur. şekil 5.17’te absorbe edilen enerji katkısız PAN takviyeli kompozit malzemede en yüksekken şekil 5.18’te iade edilen olarak en düşük değere sahip olduğu görölmektedir. Benzer olarak şekil 5.17’te absorbe edilen enerji katkısız TPU takviyeli kompozit malzemede en düşükken şekil 5.18’de iade edilen olarak en yüksek değere sahiptir.

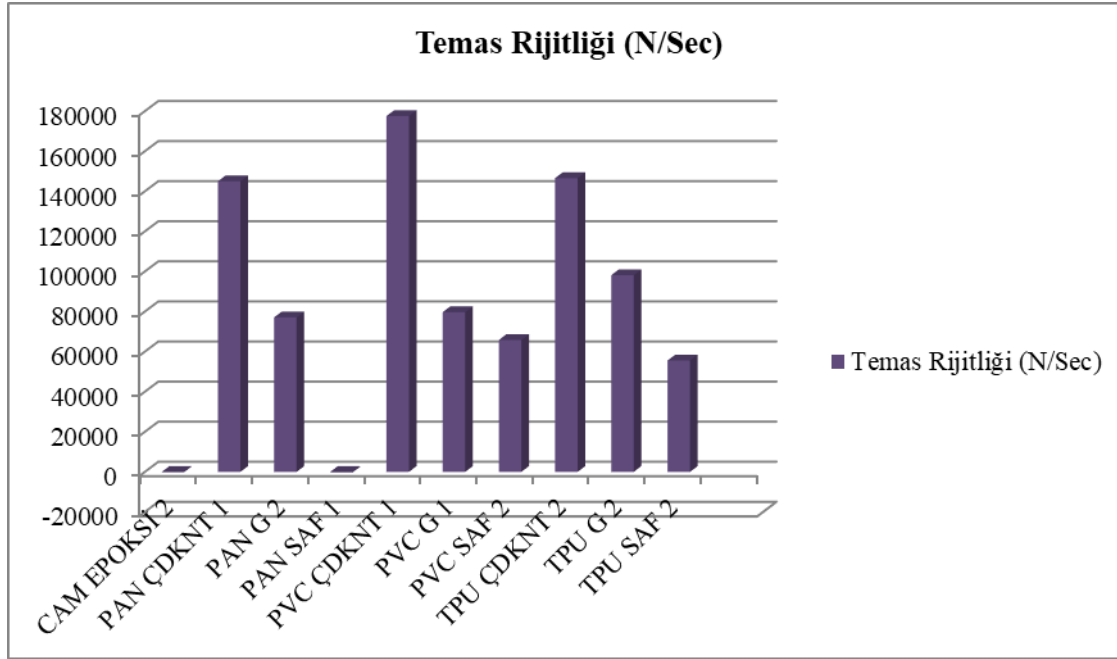


Şekil 5.17. Kompozit malzemelerin absorbe edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması

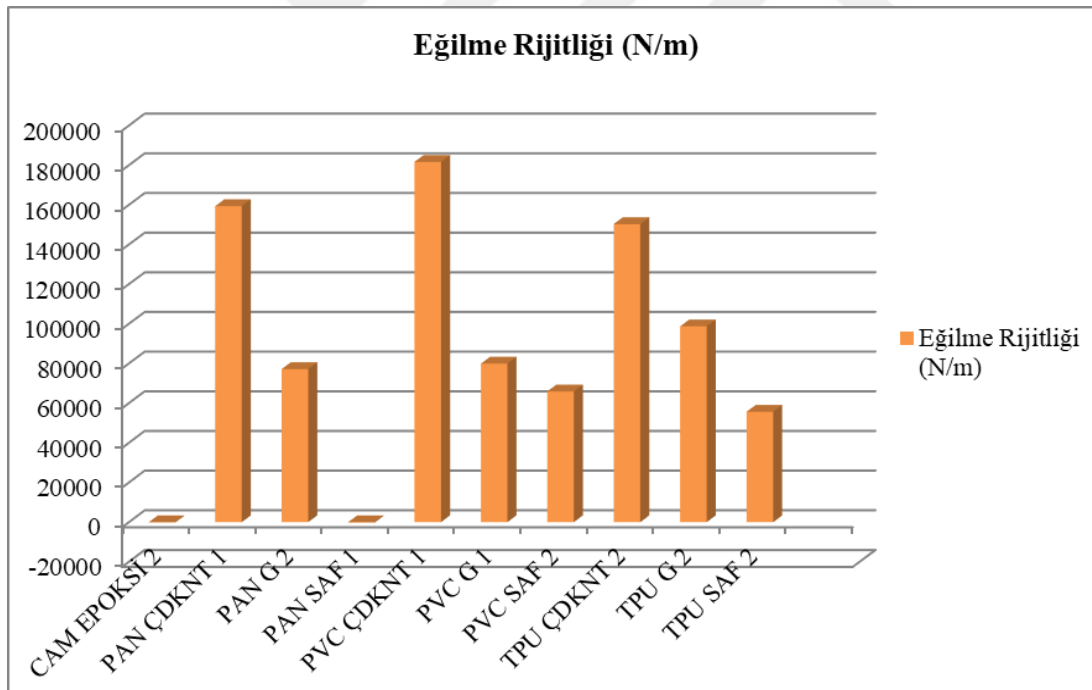


Şekil 5.18. Kompozit malzemelerin iade edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması

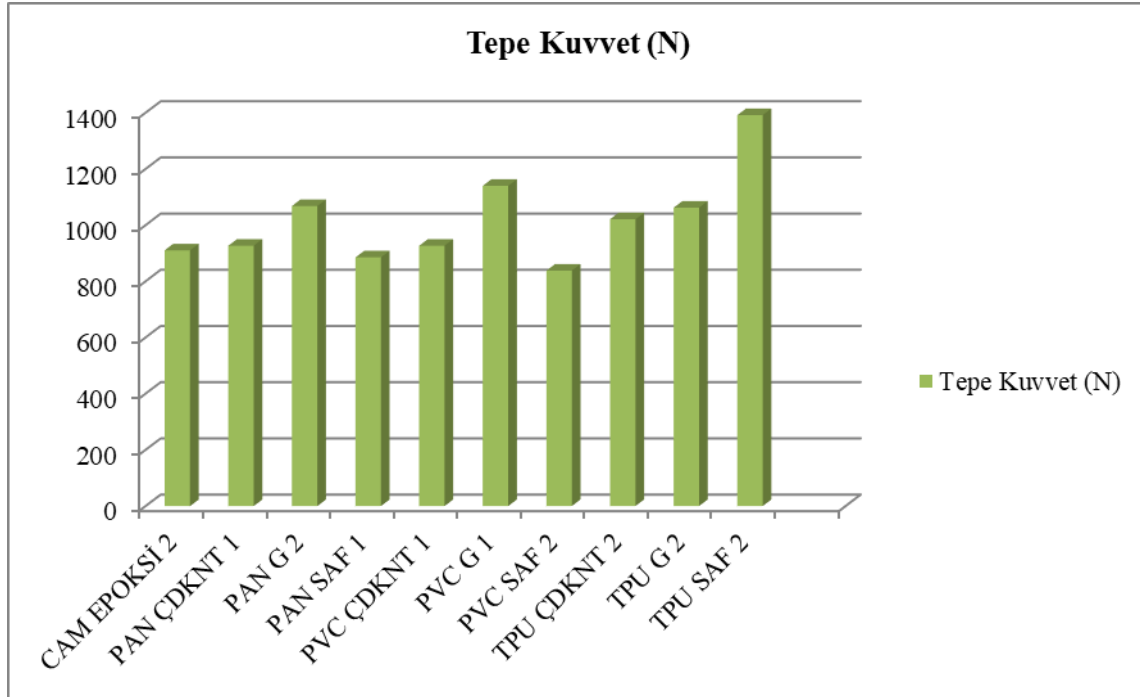
Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de sırasıyla Temas Rijitliği, Eğilme Rijitliği, Tepe Kuvvet ve Tepe Deplasman değerleri karşılaştırılmalı olarak grafik halinde verilmiştir.



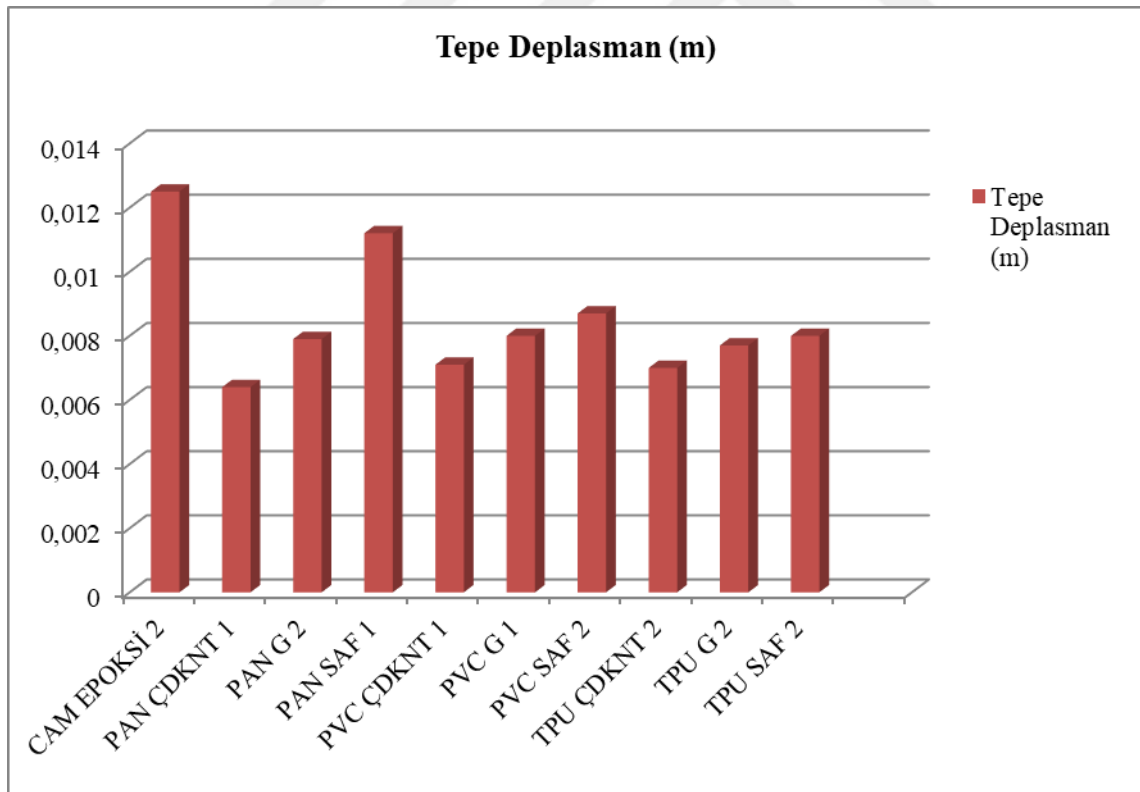
Şekil 5.19. Kompozit malzemelerin temas rijitliği değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.20. Kompozit malzemelerin eğilme rijitliği değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.21. Kompozit malzemelerin tepe kuvvet değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.22. Kompozit malzemelerin tepe deplasman değerlerinin karşılaştırılması

5.3. Çekme Testi

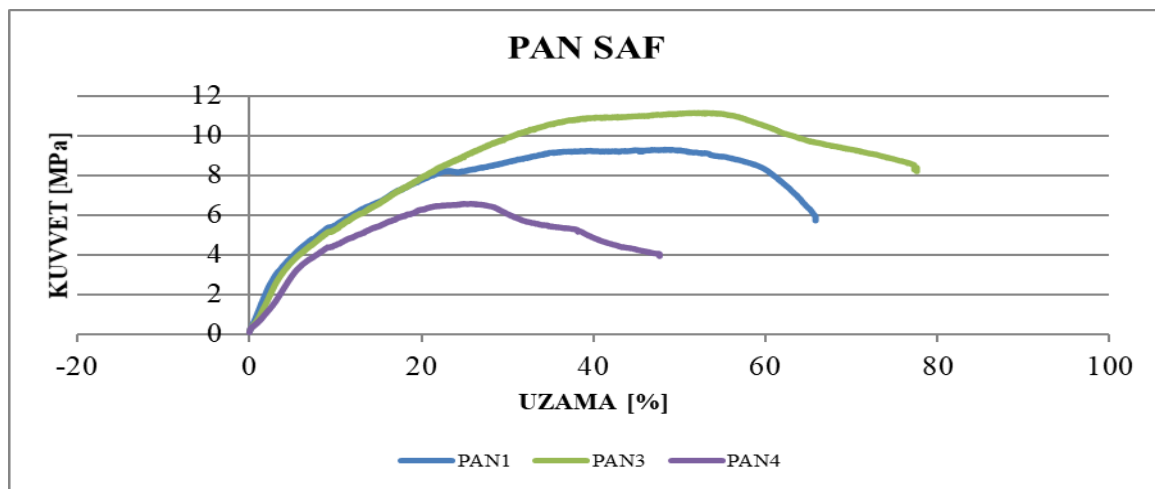
Çekme testlerinde ise tutucu çenelerdeki enerji kayıpları ihmal edilmiştir. Çekme testleri hem elektrospın işlemi ile elde edilmiş olan fiberlere hem de polimer takviyeli kompozit malzemelere ASTM D638 standartına uygun olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

Fiber çekme testleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, ÜSKİM Tekstil Laboratuvarlarında yapılmıştır. Polimer takviyeli kompozit malzemelerin çekme testleri ise Necmettin Erbakan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır.

5.3.1. Fiber çekme testi

Elektrospın yöntemi ile elde edilen fibere herbiri için ayrı ayrı beşer tekerrürlü olacak şekilde çekme testi yapılmıştır. Her biri için beşer tekerrürden üç tane anlamlı sonuç seçilmiştir. Numunelere uygulanan çekme hızı 5 mm/dk'dır. Standartlara uygun olacak şekilde hazırlanan numuneler çenelere tutturulabilmeleri açısından başlangıç ve sonuna karton plakadan hazırlanmış ağızlıklar yapıştırılmıştır.

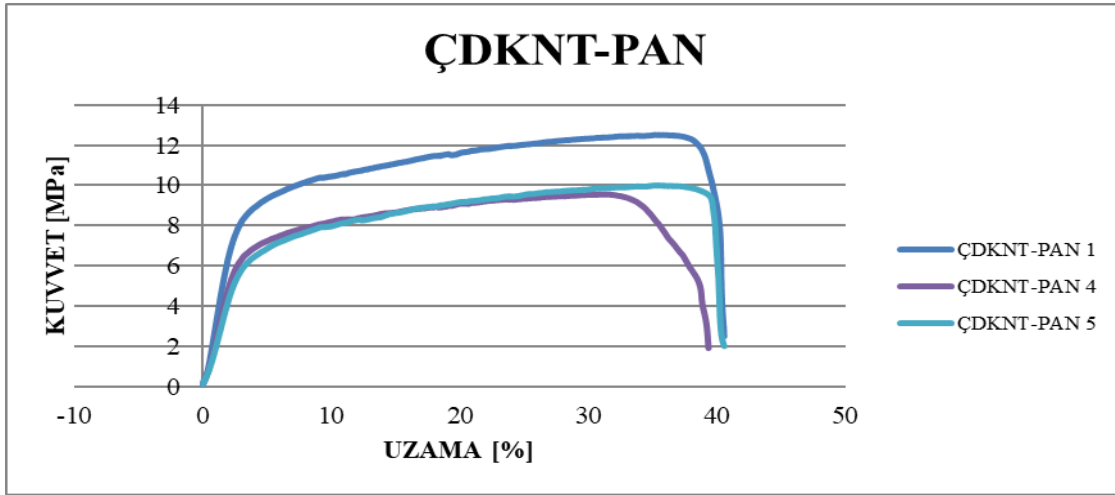
Şekil 5.23'de saf PAN polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.23. Katkısız PAN fiber kuvvet-uzama grafiği

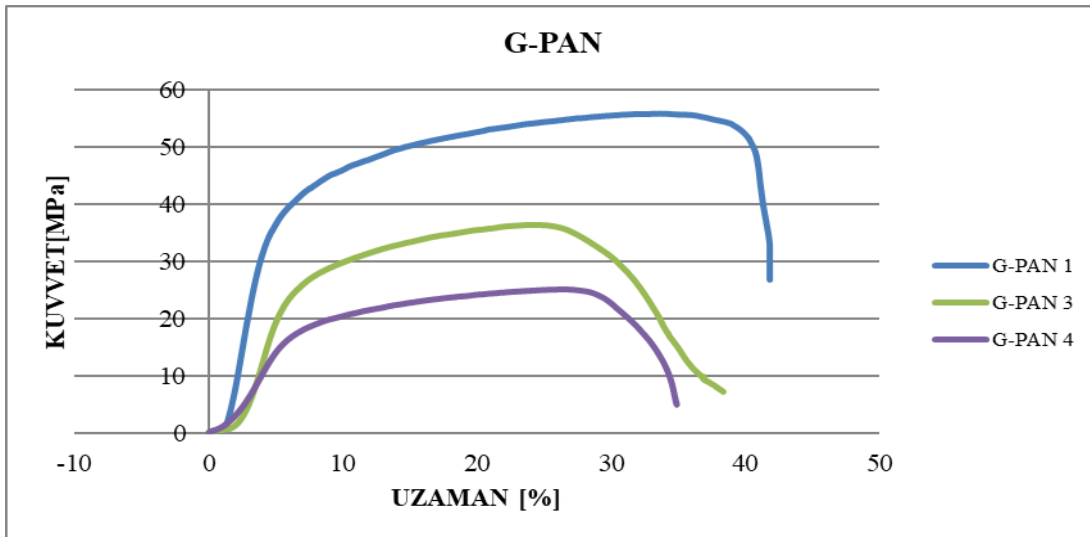
Saf PAN polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 8,99 MPa'dır.

Şekil 5.24'de ÇDKNT takviyeli PAN polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.24. ÇDKNT takviyeli PAN fiber kuvvet-uzama grafiği

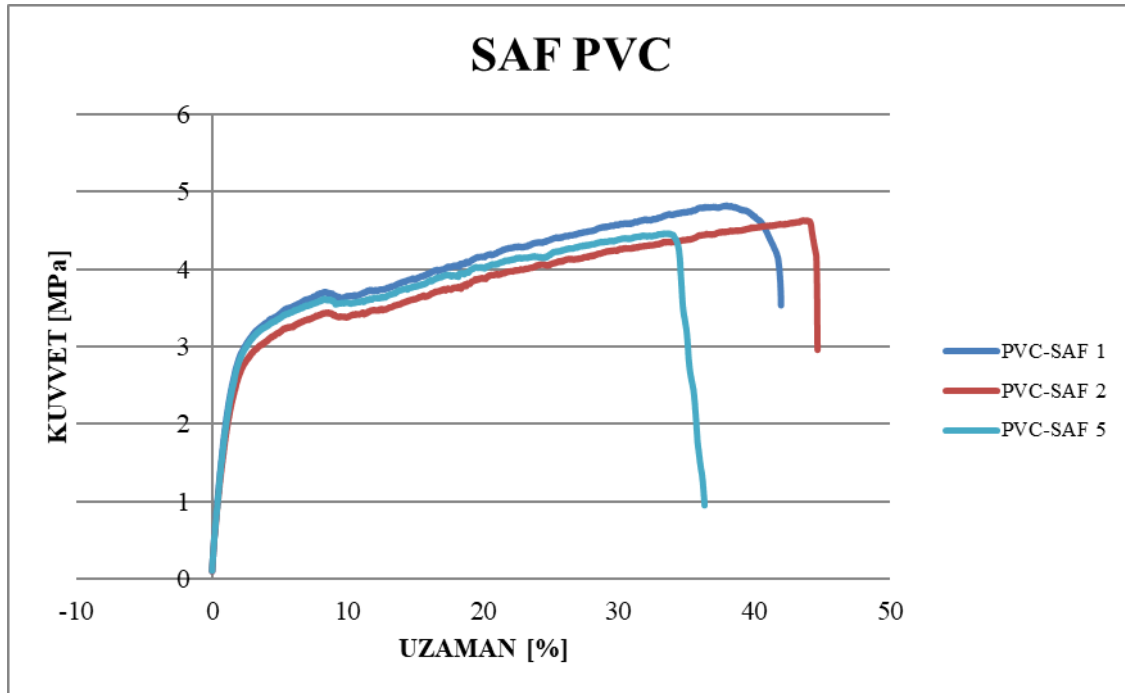
ÇDKNT takviyeli PAN polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 10,69 MPa'dır.



Şekil 5.25. Grafen takviyeli PAN fiber kuvvet-uzama grafiği

Şekil 5.25’de Grafen takviyeli PAN polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Maksimum ortalama gerilme değeri 39,20 MPa’dır.

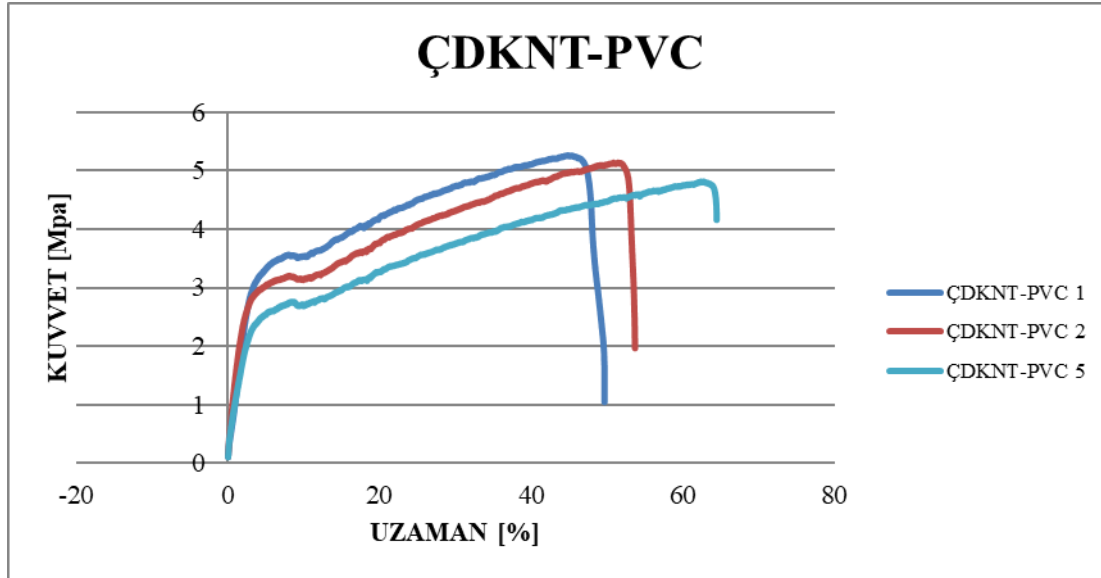
Şekil 5.26’da saf PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.26. Saf PVC fiber kuvvet-uzama grafiği

Saf PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 4,64 MPa’dır.

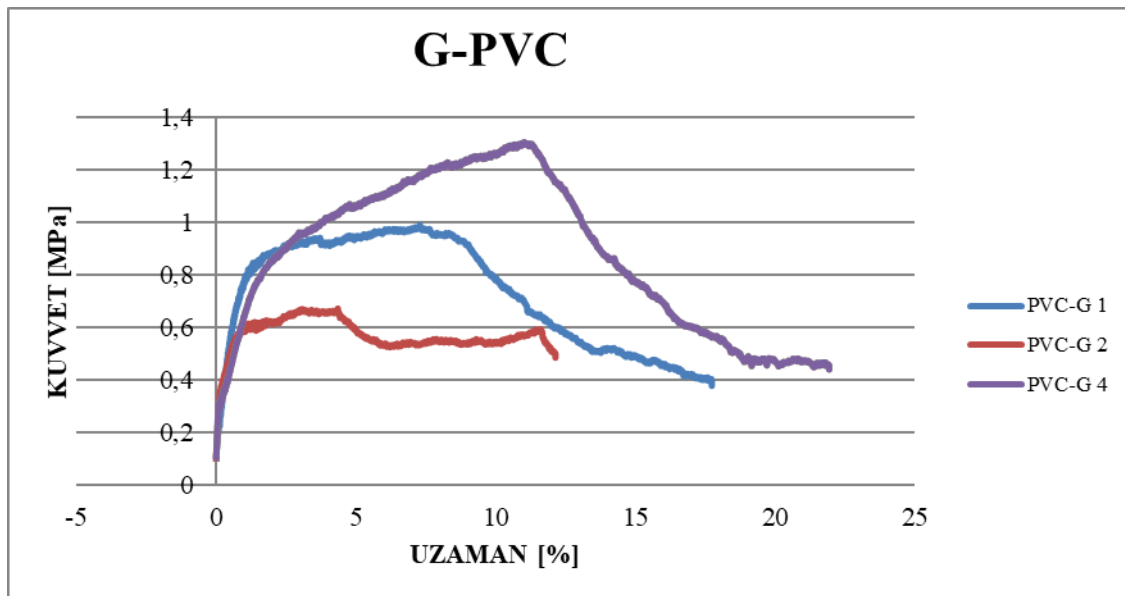
Şekil 5.27’de ÇDKNT takviyeli PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.27. ÇDKNT takviyeli PVC fiber kuvvet-uzama grafiği

ÇDKNT takviyeli PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 5,07 MPa'dır.

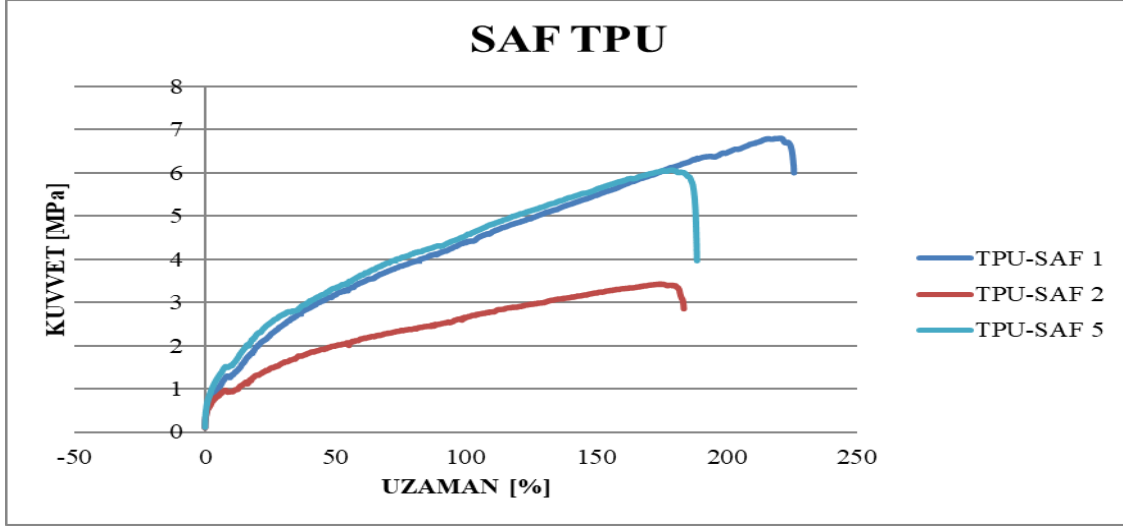
Şekil 5.28'de Grafen takviyeli PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.28 Grafen takviyeli PVC fiber kuvvet-uzama grafiği

Grafen takviyeli PVC polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 0,97 MPa'dır.

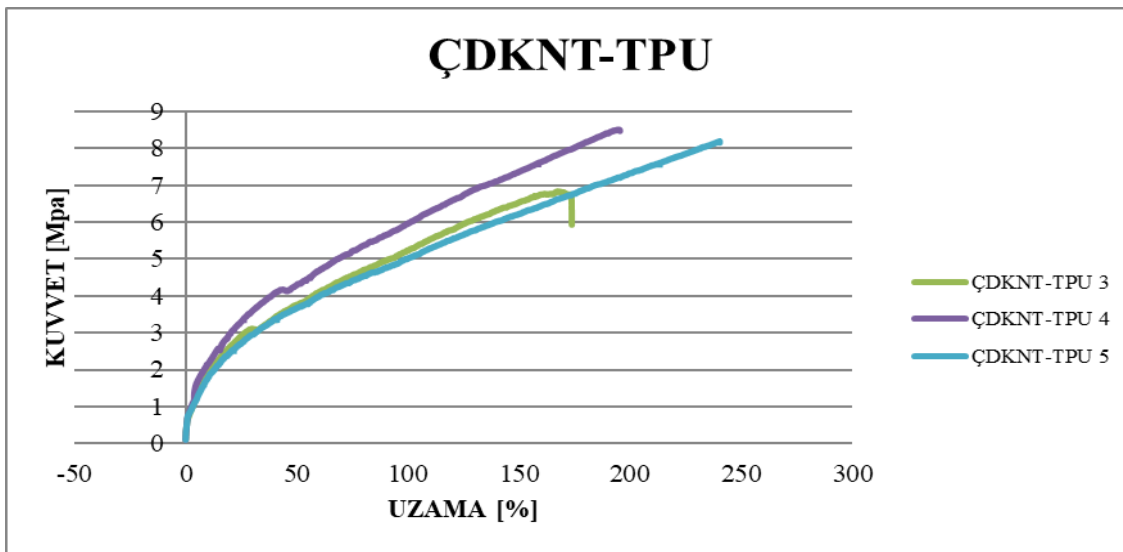
Şekil 5.29’da saf TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.29. Saf TPU fiber kuvvet-uzama grafiği

Saf TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 5,44 MPa’dır.

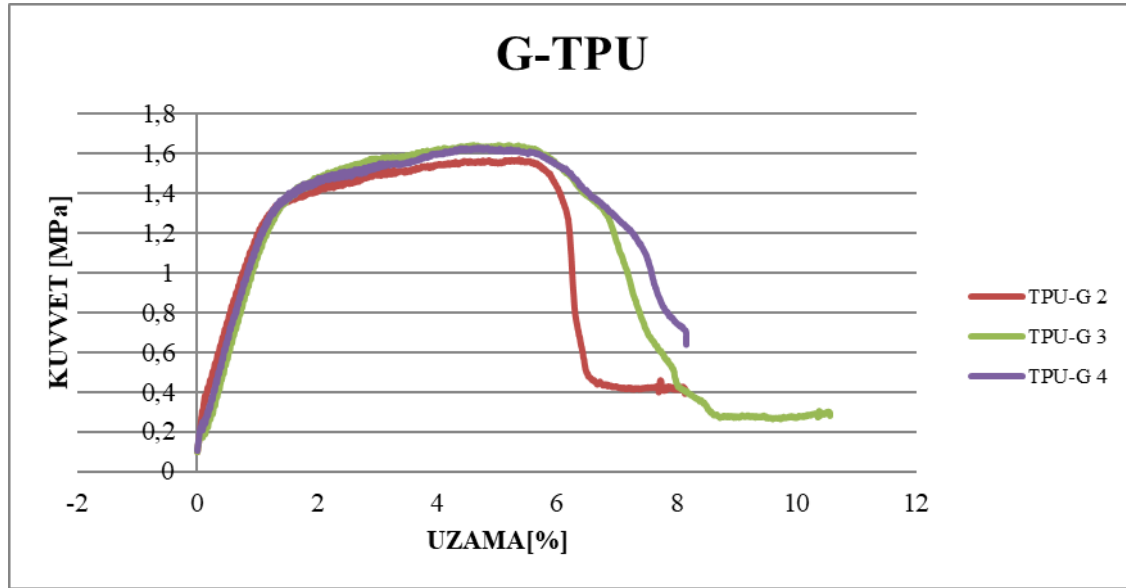
Şekil 5.30’da ÇDKNT takviyeli TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.30. ÇDKNT takviyeli TPU fiber kuvvet-uzama grafiği

ÇDKNT takviyeli TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 7,85 MPa'dır.

Şekil 5.31'de Grafen takviyeli TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama Grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.31. Grafen takviyeli TPU fiber kuvvet-uzama grafiği

Grafen takviyeli TPU polimerinden elde edilmiş fiberlerin Kuvvet-Uzama grafiğine göre maksimum ortalama gerilme değeri 1,60 MPa'dır.

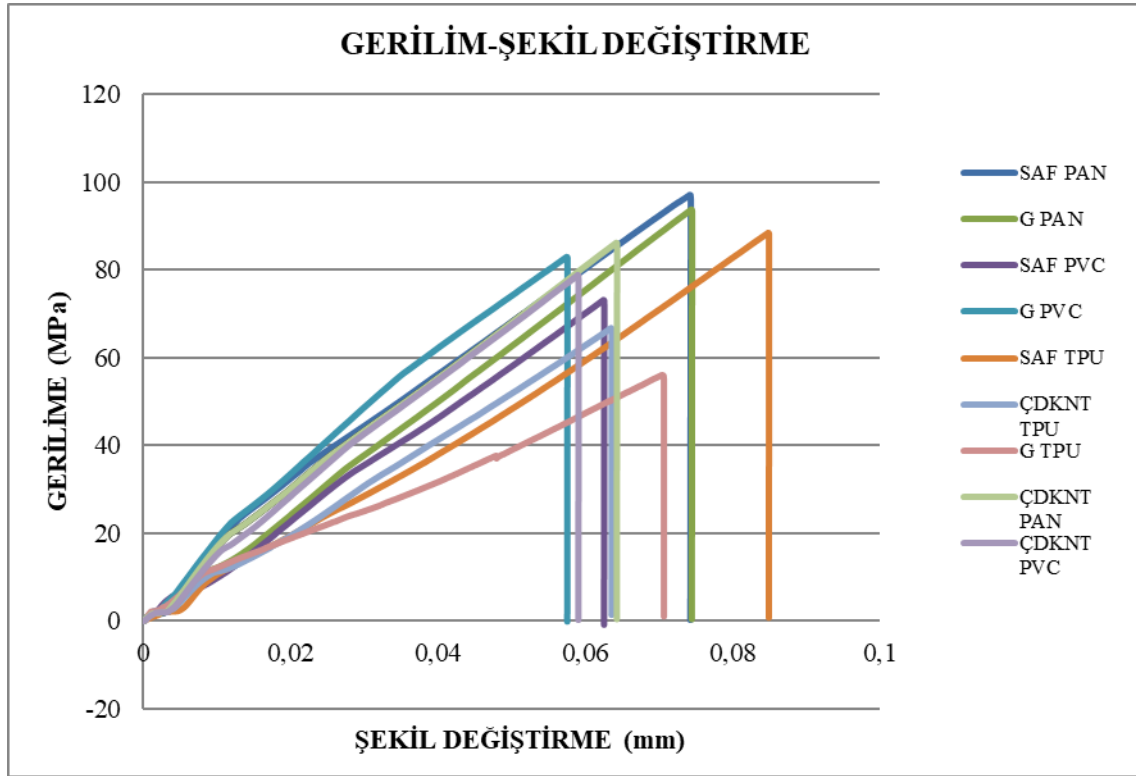
Tüm değerler karşılaştırıldığında polimer fiberleri arasında en yüksek ortalama gerilme değerini PAN fiberlerin verdiği tespit edilmiştir. PAN fiberler arasında da tüm fiberler arasında da en yüksek ortalama gerilme değerini 39,20 MPa değeri ile grafen takviyeli PAN fiberler vermiştir.

5.3.2. Kompozit malzemesi çekme testi

Çekme testi için polimer takviyeli kompozit malzemeler ASTM 638 standartına uygun olacak şekilde (köpek kemiği modeli) hazırlanmış kalıplarda üretilmişlerdir. Her bir fiber çeşidi için üçer tekerrür olacak şekilde toplamda 27 ayrı köpek kemiği modellenli polimer takviyeli kompozit malzemeler elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çekme

testleri sonucunda herbir polimer çeşidini içinde barındıran kompozit malzemeden birer temsilci seçilerek Gerilme-Şekil Değiştirme karşılaştırmalı grafiği çizilmiştir.

Şekil 5.32’de Polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı gerilme-şekil değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.32. Polimer takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı gerilme-şekil değiştirme grafiği

Şekil 5.32’de de görüldüğü gibi en yüksek gerilmeye dayanan malzeme PAN fiber takviyeli kompozitler olmuştur. Malzemelerin maksimum kuvvet ve maksimum gerilme değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

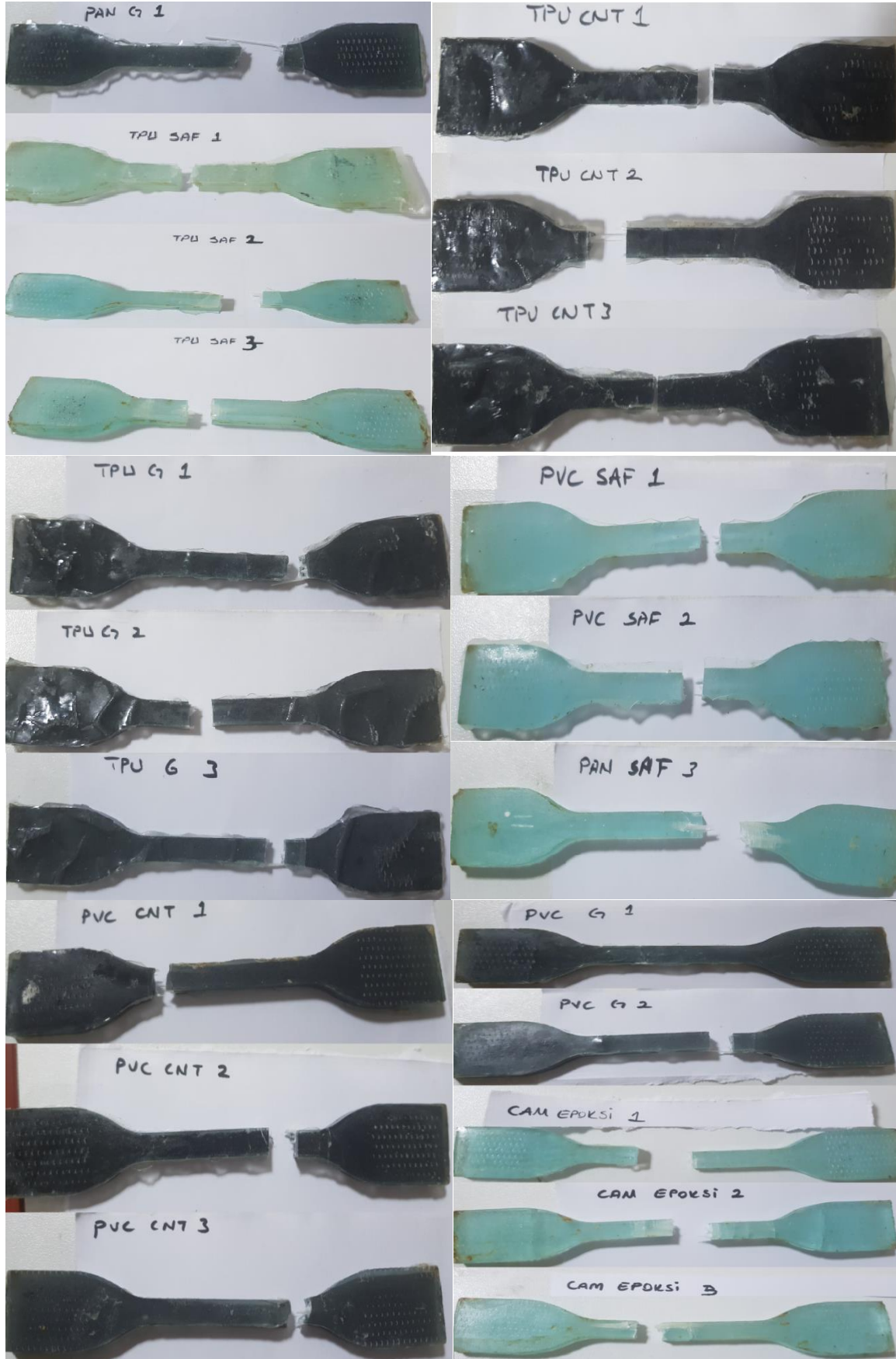
Çizelge 5.2. Kompozit malzemelerin maksimum kuvvet- maksimum gerilme değerleri

MALZEME	MAKSİMUM KUVVET	MAKSİMUM GERİLME
SAF PAN	3456,922	97,15012
ÇDKNT PAN	2466,836	72,00843
G PAN	3003,499	93,82299
SAF PVC	2537,479	73,21481
ÇDKNT PVC	2764,285	86,24699
G PVC	2683,738	83,03285
SAF TPU	2833,769	88,52098
ÇDKNT TPU	2113,884	66,80711
G TPU	1714,748	56,0793

Çizelge 5.2’de de görüldüğü üzere maksimum kuvvet ve maksimum gerilme değerinin en yüksek olduğu kompozit malzeme Katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme olmuştur. Saf PAN takviyeli kompozit malzemeden sonra ikinci sırayı ise grafen takviyeli PAN takviyeli kompozit malzeme almaktadır. Resim 5.20-a ve 5.20-b’de çekme testi sonucunda kompozit malzemelerin hasara uğramış şekilleri verilmiştir.



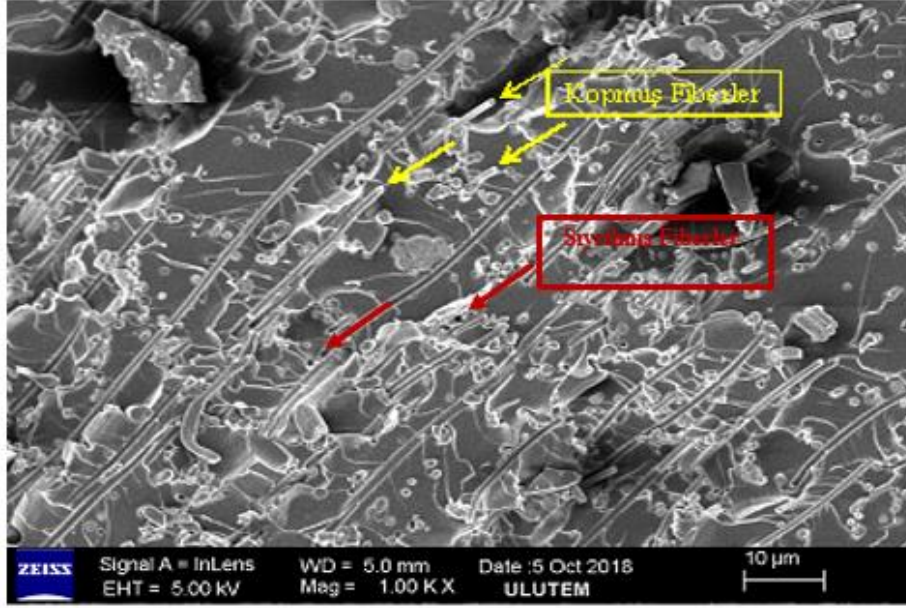
Resim 5.20-a. Çekme testi sonucunda polimer takviyeli kompozit malzemeler



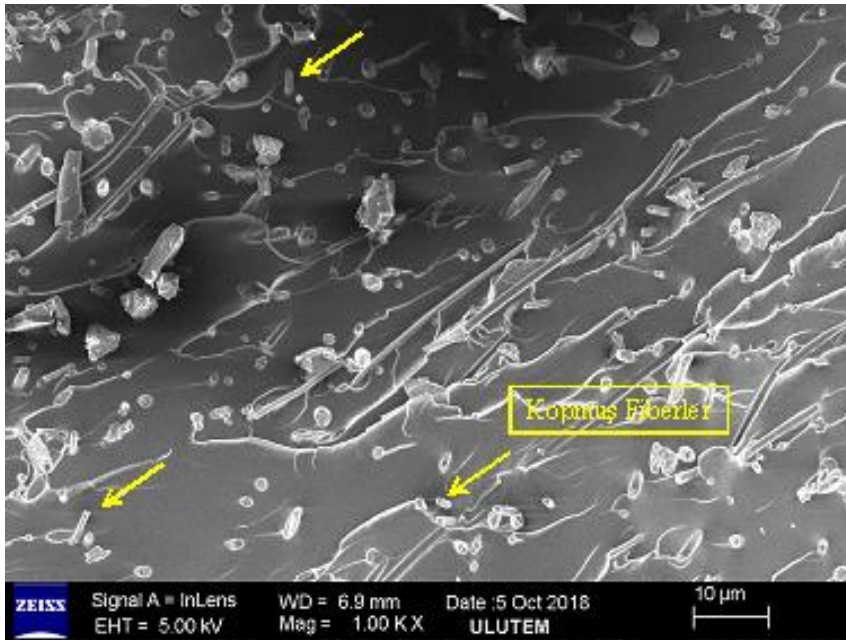
Resim 5.20-b. Çekme testi sonucunda polimer takviyeli kompozit malzemeler

5.3.3. Çekme testi sonucunda malzemelerin SEM görüntüleri

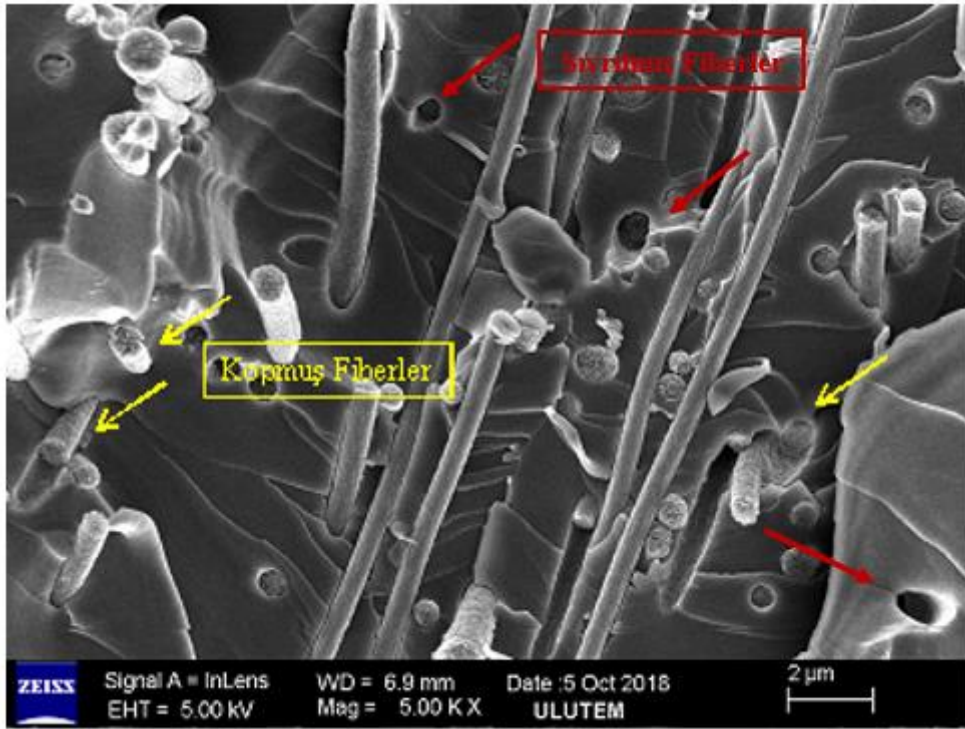
Resim 5.21'den Resim 5.29'a kadar olan görüntüleri çekme testi sonucu kırılmanın gerçekleştiği yüzeyin SEM görüntüleridir. Yüzeye altın kaplama yapılarak ayrıntılı bir şekilde çekilen görüntülerde kopmuş fiberler birkaç örnekle şekiller üzerinde gösterilmiştir.



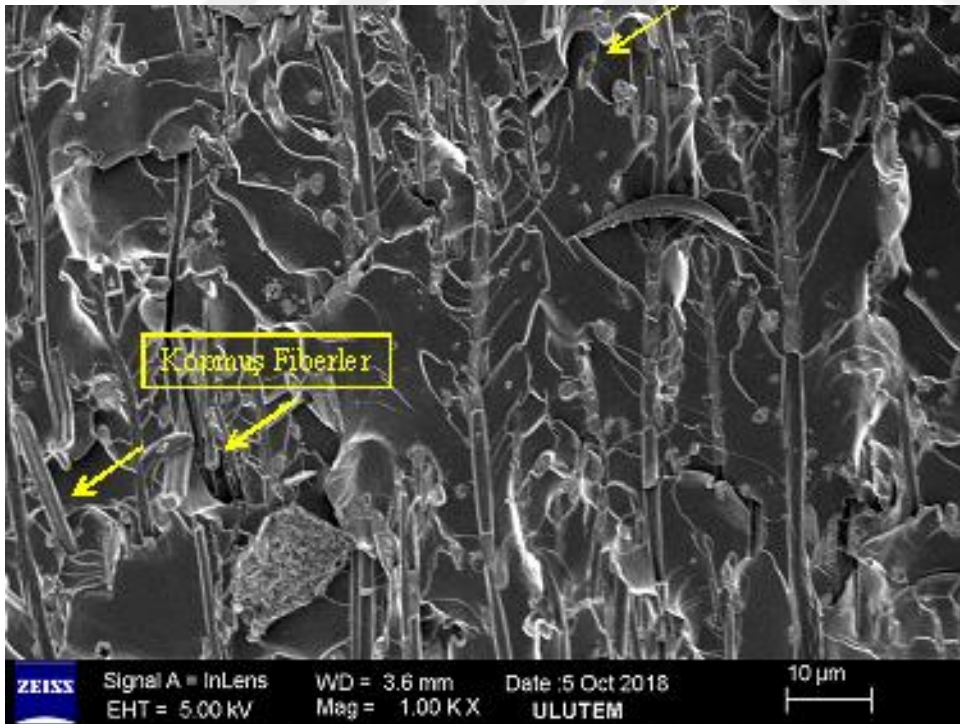
Resim 5.21. Saf PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



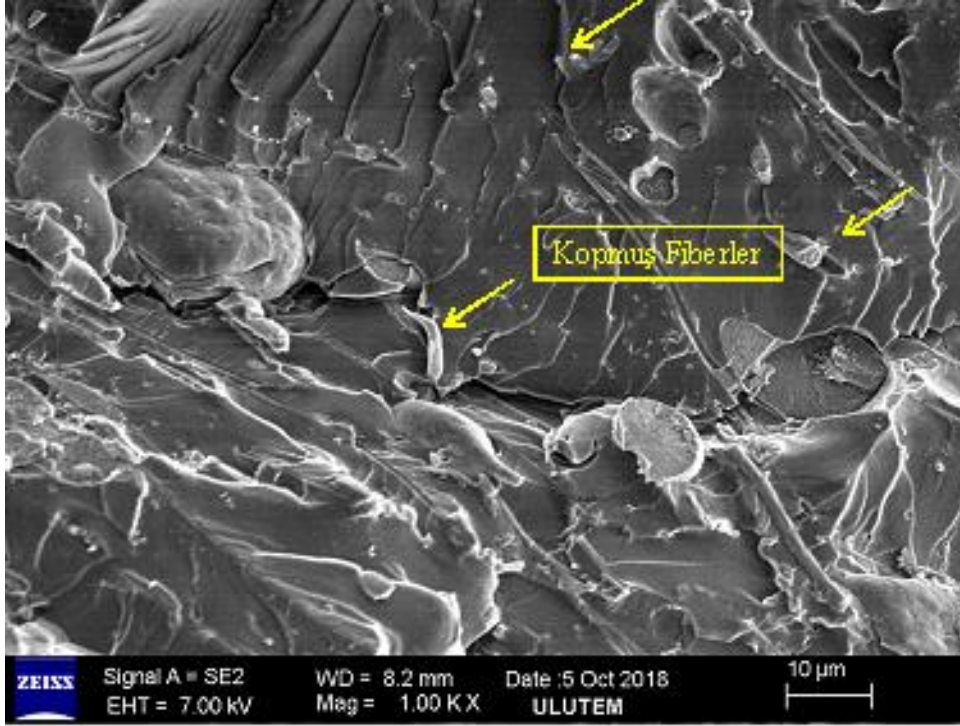
Resim 5.22. Grafen takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



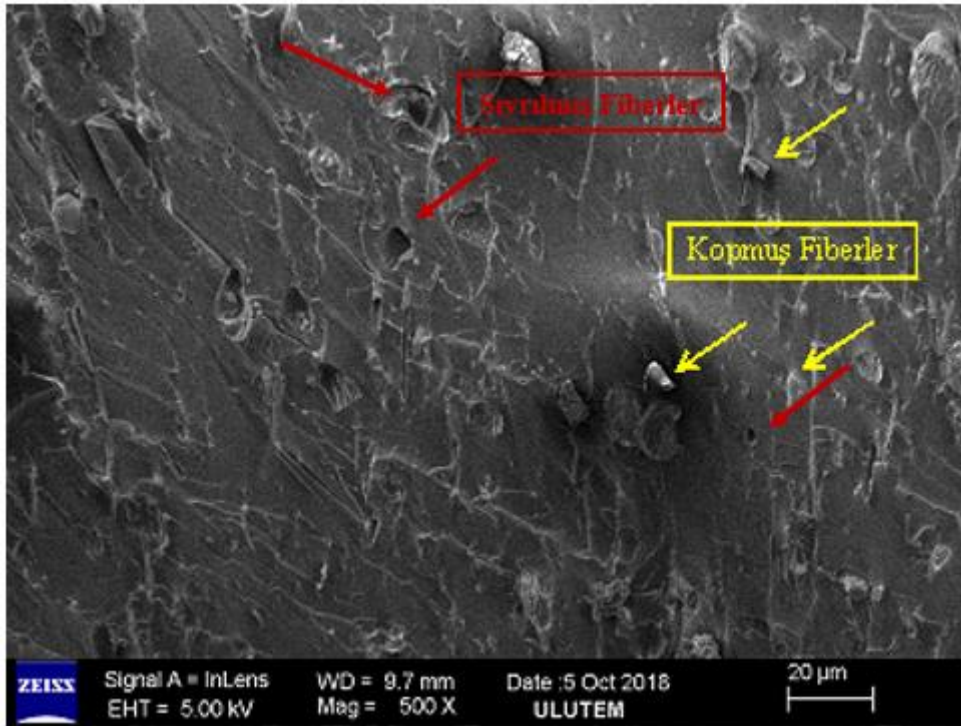
Resim 5.23. ÇDKNT takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



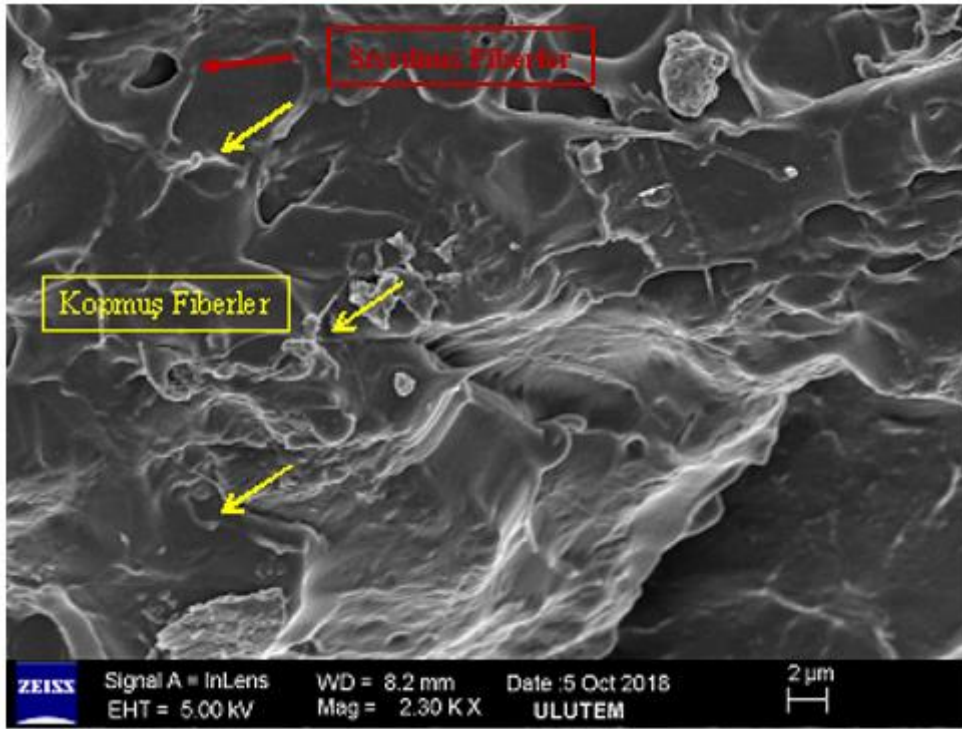
Resim 5.24. Saf PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



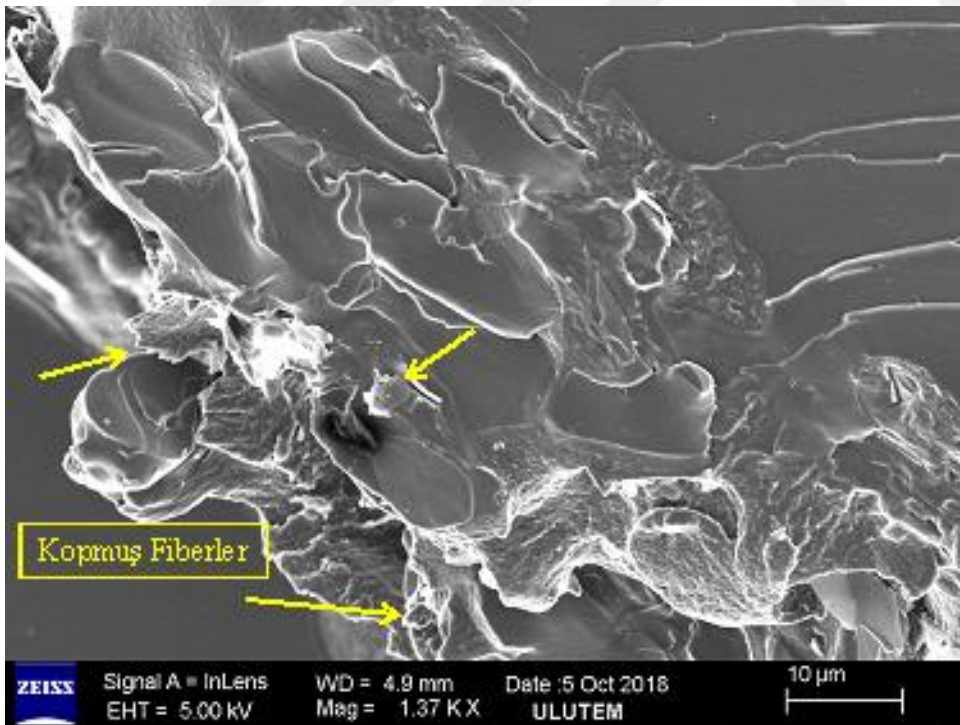
Resim 5.25. ÇDKNT takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



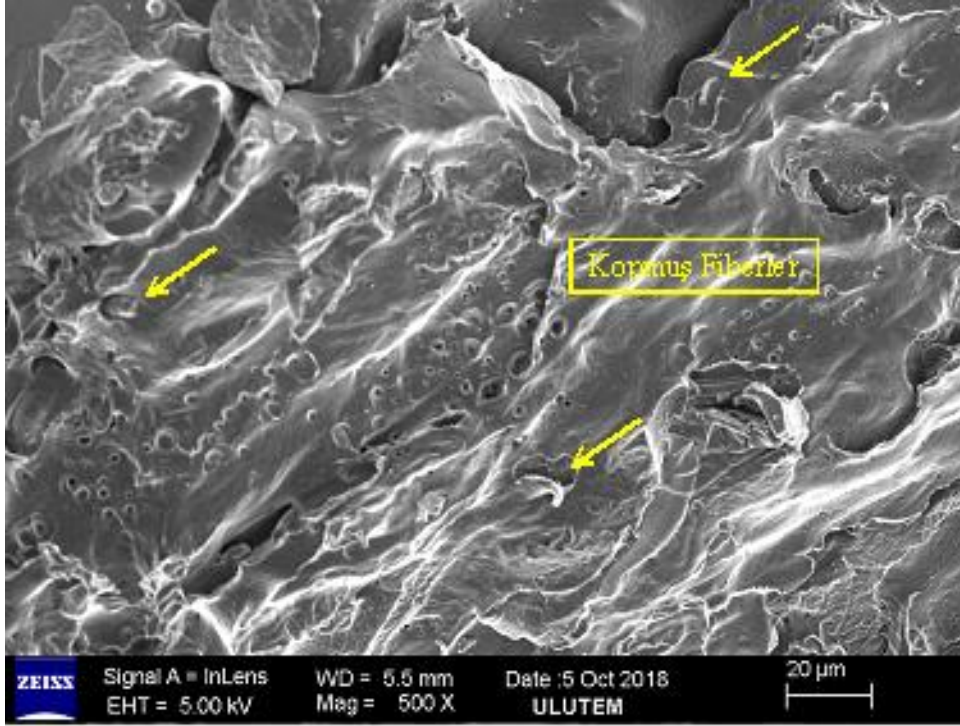
Resim 5.26. Grafen takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



Resim 5.27. Saf TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü



Resim 5.28. Grafen takviyeli TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü

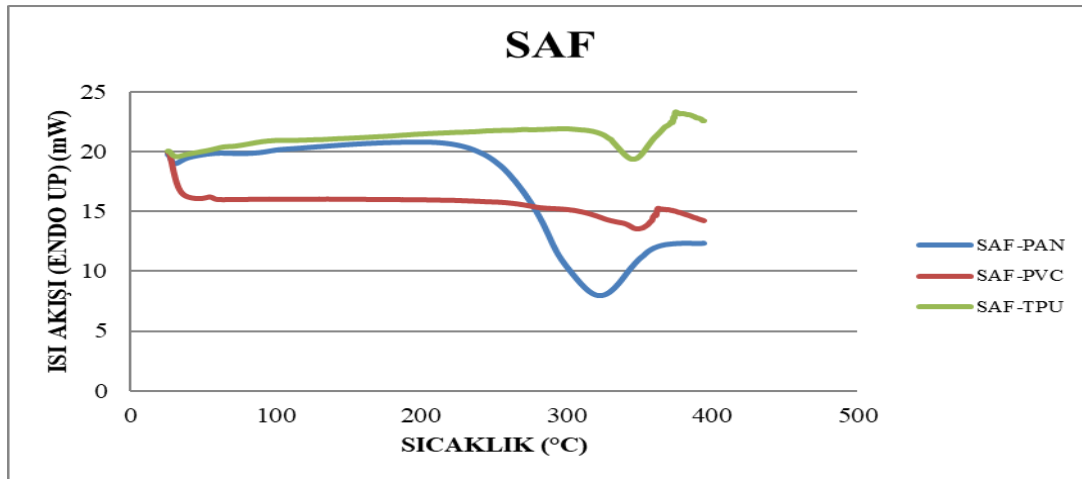


Resim 5.29. ÇDKNT takviyeli TPU takviyeli kompozit malzemenin çekme testi sonucu kesit alanının SEM görüntüsü

5.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi

Bu çalışmada üretilen polimer takviyeli kompozit malzemelerin Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) değerleri ÜSKİM araştırma merkezinde yaptırılmıştır. Numunelerin termal davranışları 10°C/dakika sıcaklık artışı ile oda sıcaklığından 400°C'a kadar sıcaklık taraması yapılarak araştırılmıştır.

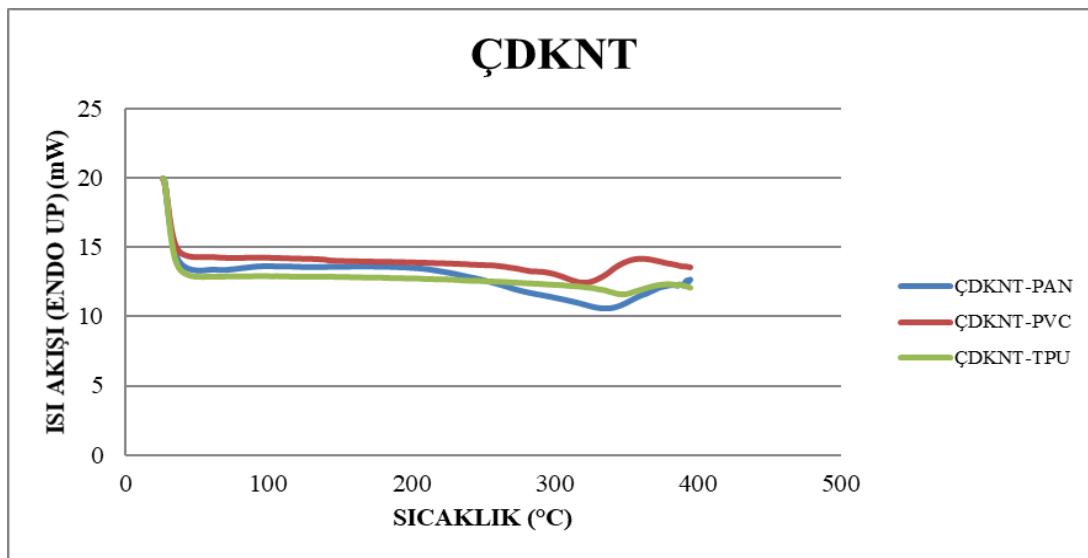
Şekil 5.33'de katkısız saf polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri verilmiştir. Numunelerin DSC eğrileri grafikler halinde karşılaştırmalı bir şekilde verilerek yorumlanmıştır.



Şekil 5.33. Katkısız saf polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri

Grafikte de görüldüğü üzere üçü de ekzotermik pikler vermektedir. Pan saf pikinin daha yayvan oluşu yani çok sivri ve uzun bir pik olmaması reaksiyonun aniden oluşmadığı anlamına gelmektedir. Camsı geçiş sıcaklığının PVC için yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

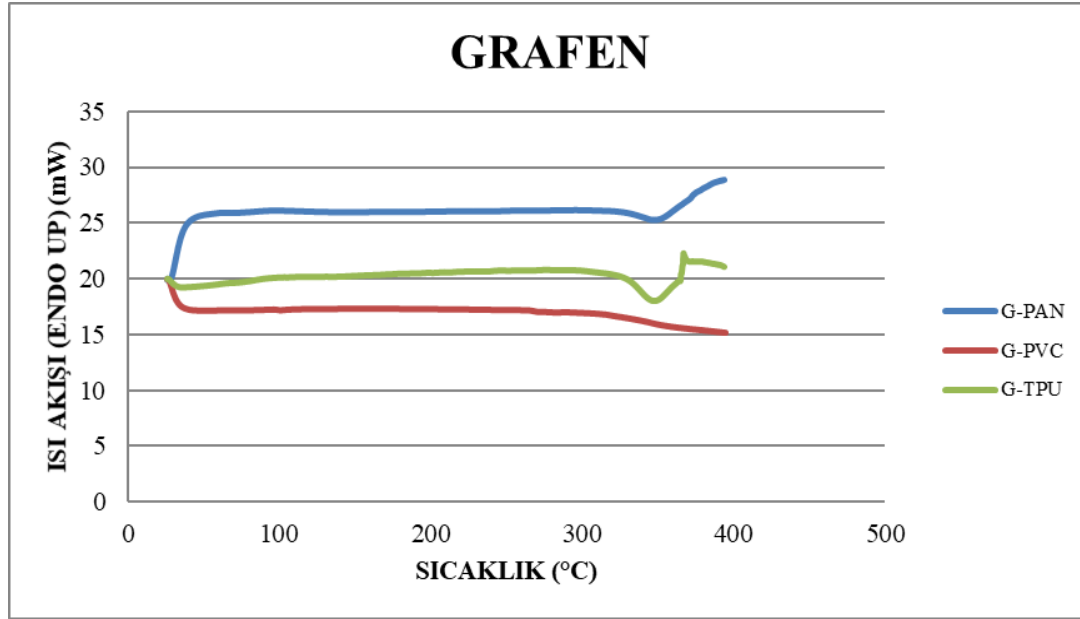
Şekil 5.34’de ise ÇDKNT takviyesi ile Polimer takviyeli kompozitlerde ki değişim DSC grafiği ile görülmektedir.



Şekil 5.34. ÇDKNT takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri

ÇDKNT takviyesi ile polimer arasındaki farklar birbirine yaklaşmıştır. Her birinin camı geçiş sıcaklıkları artmıştır. TPU polimeri saf haldeyken ani bir reaksiyon hızı gerçekleştirirken, ÇDKNT takviyesi sonucunda reaksiyon hızı düştüğü gözlemlenmektedir.

Şekil 5.35’de ise grafen takviyesi ile polimer takviyeli kompozitlerde ki değişim DSC grafiği ile görülmektedir.

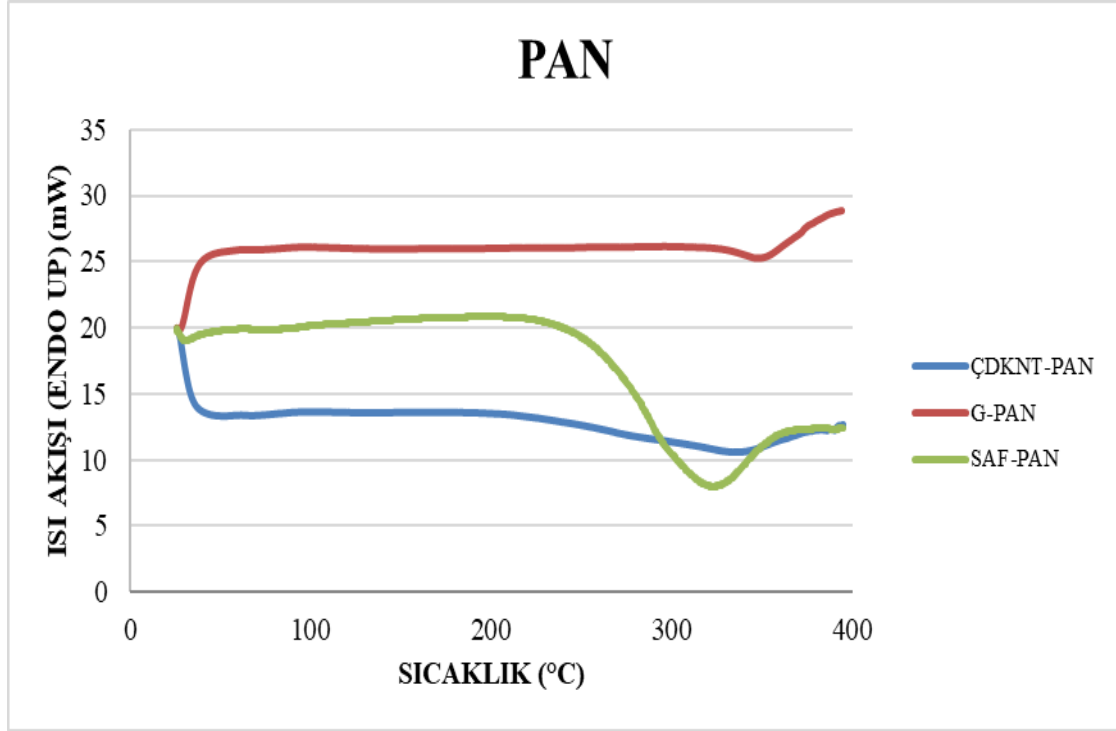


Şekil 5.35. Grafen takviyeli polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri

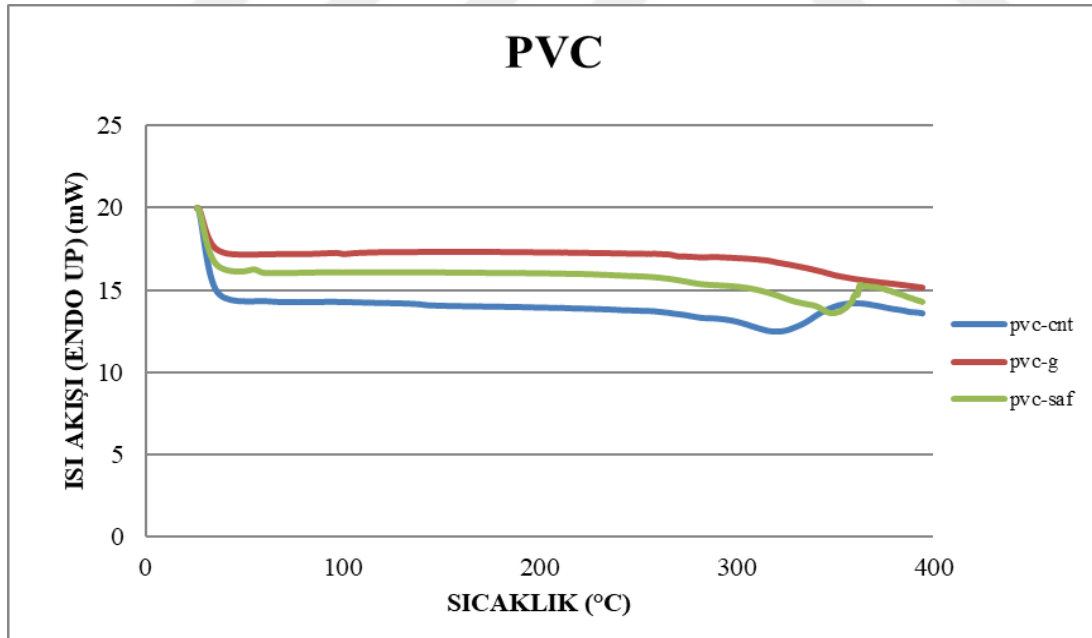
ÇDKNT takviyesinde birbirine yaklaşan değerler gibi olmadığı görülmektedir. Grafen takviyeli TPU reaksiyon hızının saf TPU’da ki gibi yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Grafen takviyeli ile camı geçiş sıcaklığının PAN ve PVC için yükseldiği, TPU’da ise düştüğü tespit edilmiştir.

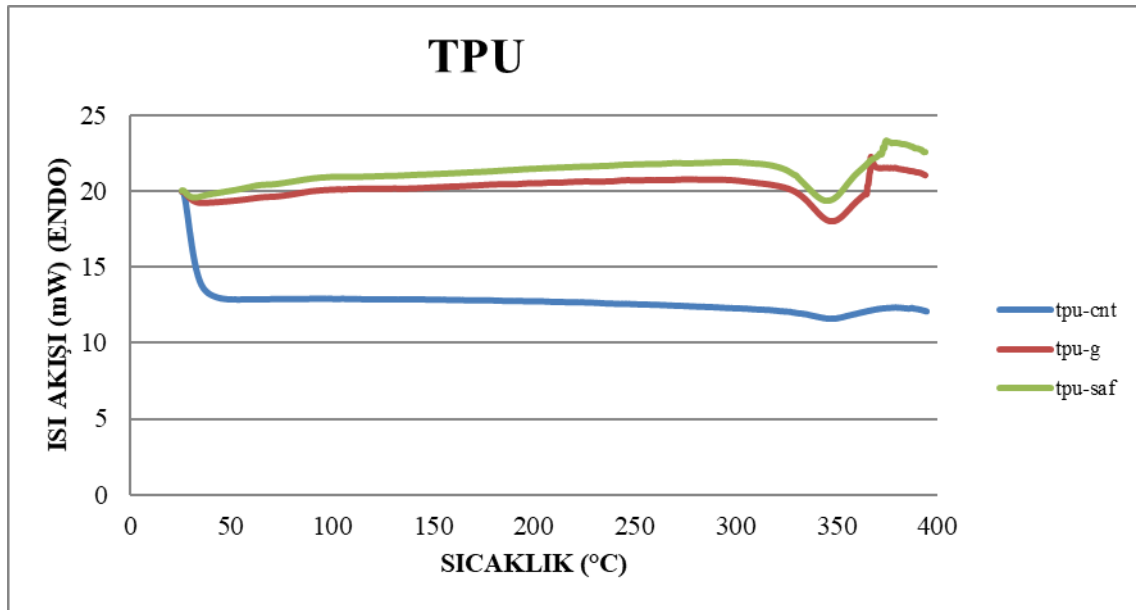
Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de polimerlerin kendi içlerinde katkılı ve katkısız hallerinin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.36. Katkılı ve katkısız PAN polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri



Şekil 5.37. Katkılı ve katkısız PVC polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri



Şekil 5.38. Katkılı ve katkısız TPU polimer takviyeli kompozit malzemelerin DSC grafikleri

Çizelge 5.3’de camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erimeye başlama sıcaklığı (T_{on}), pikin maksimum olduğu andaki sıcaklık değeri (T_m), ΔH , pik uzuluğu (P_H) ve erime bitiş sıcaklığı (T_{off}) değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Üretilen kompozit malzemelerin DSC testi sonucundaki değerleri

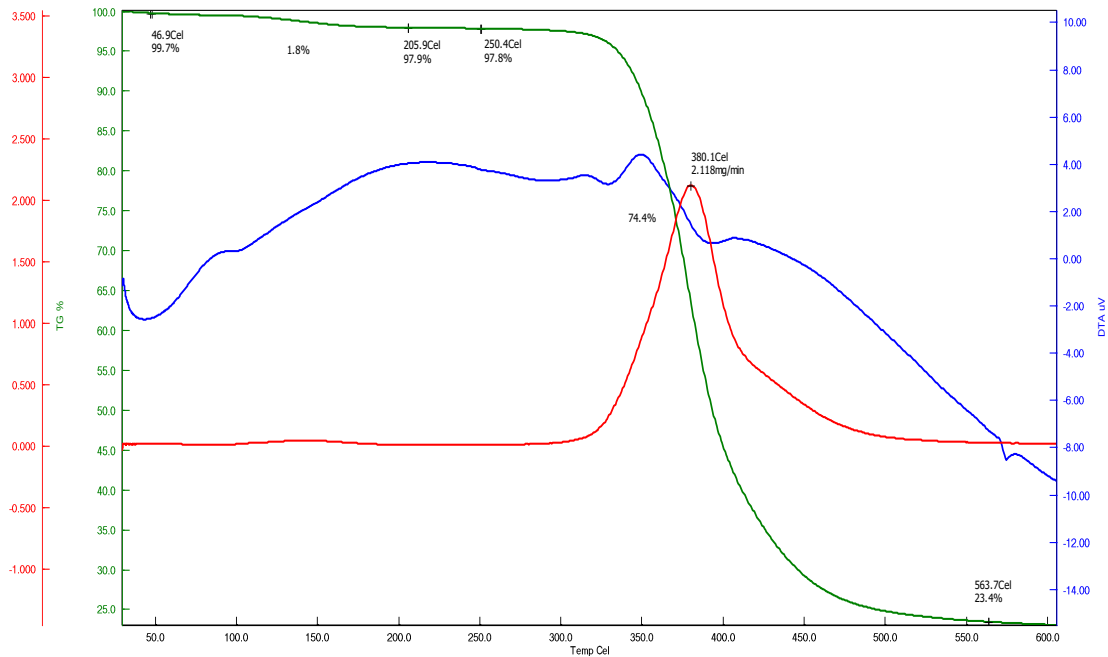
	T_g	T_{on}	T_{max}	ΔH	P_H	T_{off}
ÇDKNT-PAN	55 °C	247 °C	333 °C	-443,39 J/g	1,9117 mW	375 °C
G-PAN	69 °C	320 °C	350 °C	-211,0039 J/g	1,9869 mW	376 °C
SAF-PAN	40 °C	268 °C	317 °C	-1193,6207 J/g	6,8581 mW	357 °C
ÇDKNT-PVC	95 °C	288 °C	322 °C	-165,8641 J/g	1,4048 mW	348 °C
G-PVC	94 °C	267 °C	270 °C	-2,0228 J/g	0,0677 mW	258 °C
SAF-PVC	51 °C	321 °C	348 °C	-174,9227 J/g	1,7277 mW	362 °C
ÇDKNT-TPU	34 °C	326 °C	347 °C	-50,6458 J/g	0,6364 mW	370 °C
G-TPU	30 °C	322 °C	348 °C	-365,2056 J/g	3,6736 mW	366 °C
SAF-TPU	30 °C	321 °C	346 °C	-348,4052 J/g	3,4325 mW	373 °C

Çizelge 5.3’de de görüldüğü üzere en yüksek camsı geçiş sıcaklığı ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme iken, en düşüğü ise garfen katkılı TPU ile katkısız TPU takviyeli kompozit malzemelere aittir. En uzun pik uzunluğu ise katkısız PAN takviyeli kompozit malzemeye aittir. Bu da tüm malzemeler arasında en düşük ekzotermik reaksiyon hızına sahip malzeme demektir.

5.5. Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Termal Gravimetre (DTG)

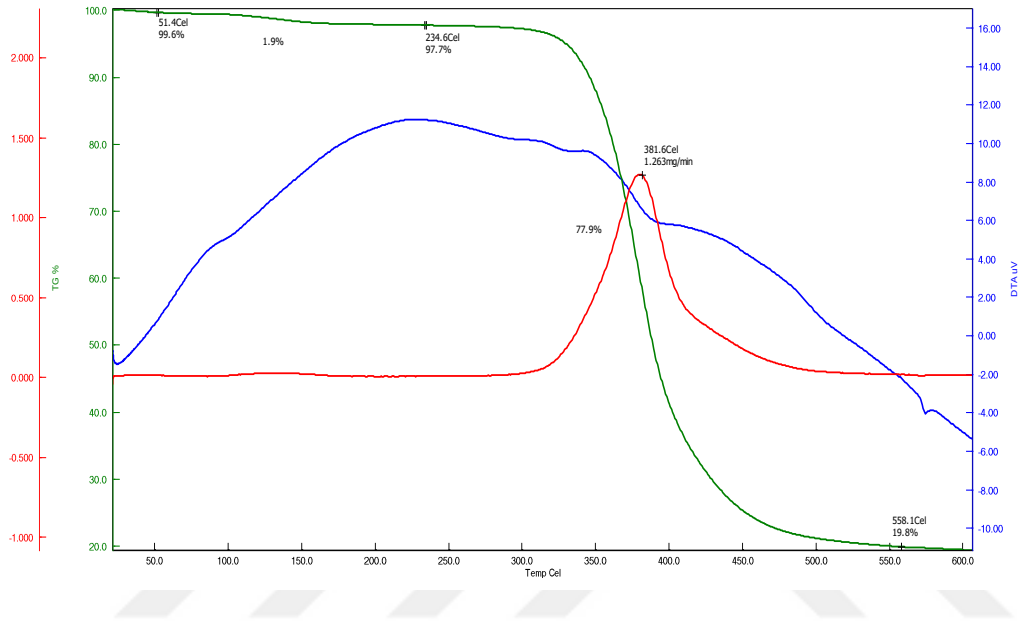
Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45, Şekil 5.46 ve Şekil 5.47’de üretilen polimer katkılı kompozit malzemeler ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerde TGA, DTA ve DTG analiz sonuçları her bir malzeme için tek bir grafikte verilmiştir.

DTG ölçümün de saf PAN takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 2,118 mg/dak değerinde ve 380 °C’dir. Saf PAN takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %77’dir. Saf PAN takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon sıcaklığı 350°C olarak saptanmıştır.

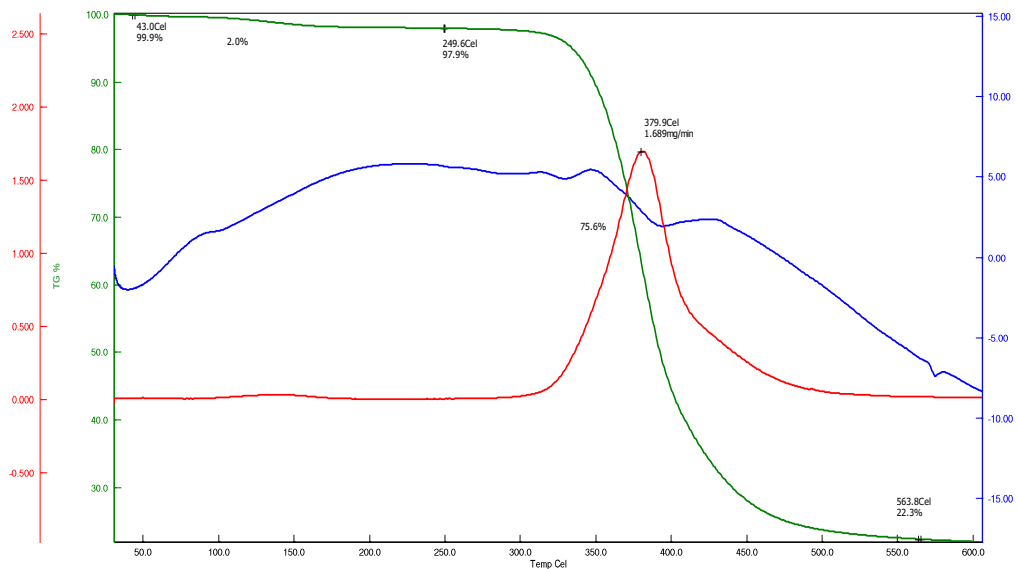


Şekil 5.39. Katkısız PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

DTG ölçümünün de grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 1,263 mg/dak değerinde ve 381,6 °C'dir. Grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C'deki kütle kaybı %81'dir. Şekil 5.40'daki grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon piki gözlemlenmemiştir.

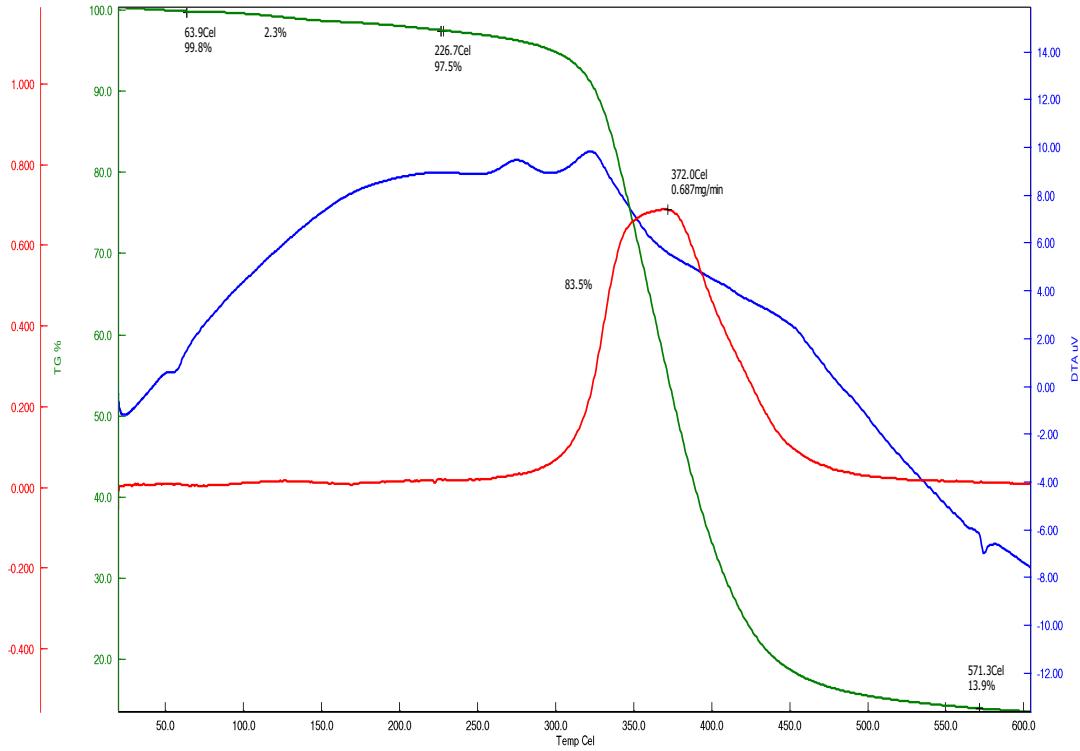


Şekil 5.40. Grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği



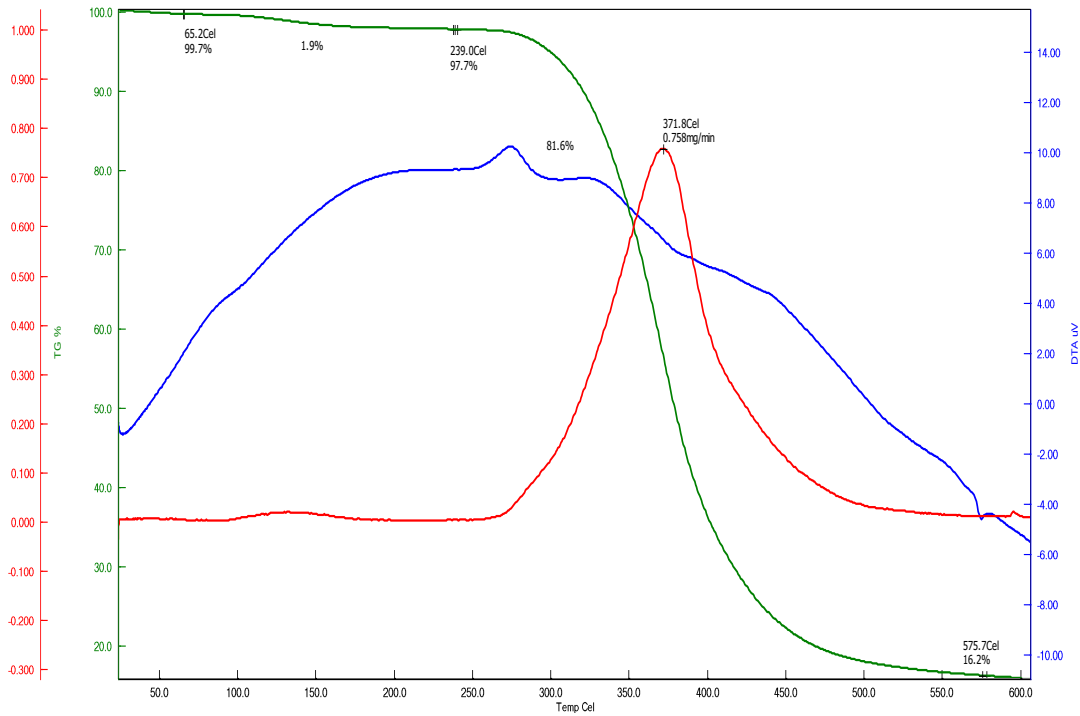
Şekil 5.41. ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

Şekil 5.41’ de görüldüğü üzere, DTG ölçümün de ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 1,689 mg/dak değerinde ve 380 °C’dir. ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %78’dir. ÇDKNT PAN takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon piki gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.42. Katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

DTG ölçümün de katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin Şekil 5.42’de verdiği pik 0,687 mg/dak değerinde ve 372 °C’dir. Katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %75’dir. Katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon piki çok küçük bir pik olarak 325 °C’de saptanmıştır.

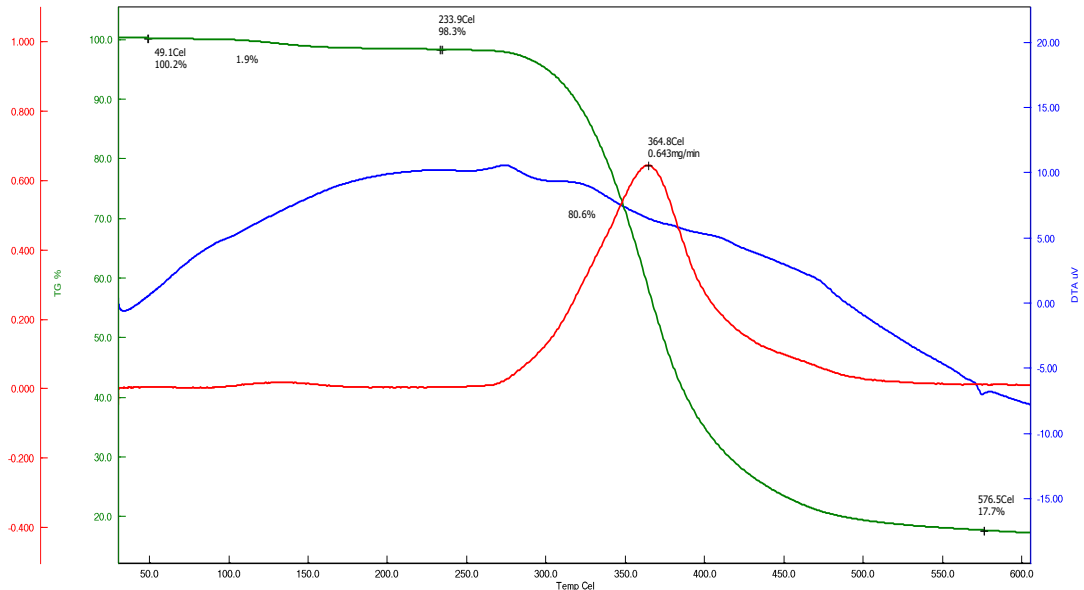


Şekil 5.43. Grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

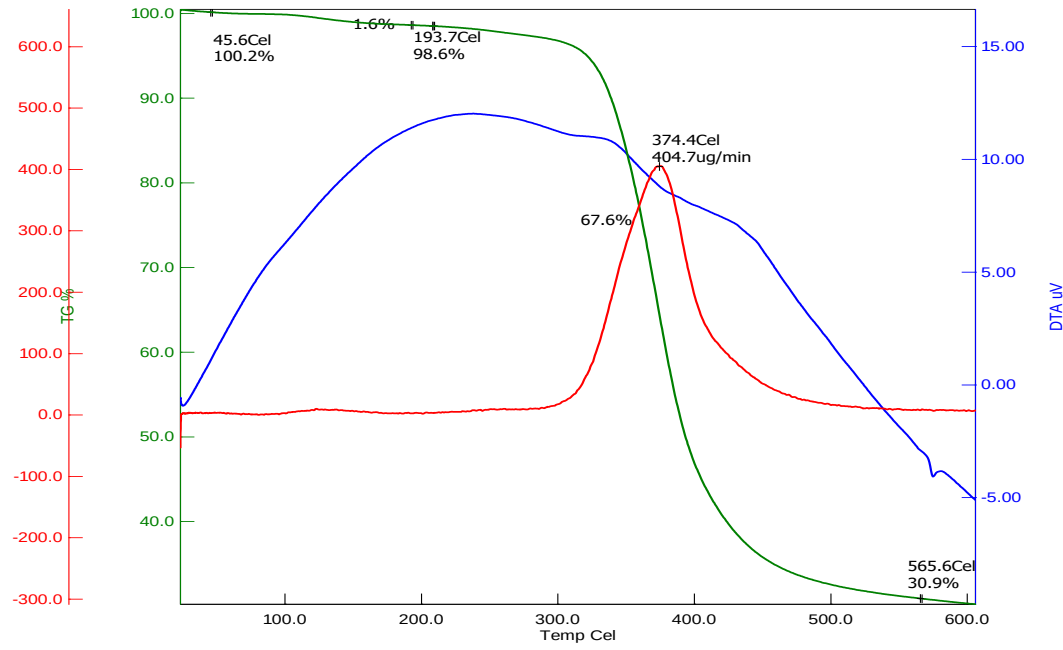
DTG ölçümünün de grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin Şekil 5.43’de verdiği pik 0,758 mg/dak değerinde ve 371,8 °C’dir. Grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %83’dür. Grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon piki çok küçük bir pik olarak 275 °C’de saptlanmıştır.

DTG ölçümünün de ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 0,643 mg/dak değerinde ve 364,8 °C’dir. ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %81’dir. ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon gözlenmemiştir.

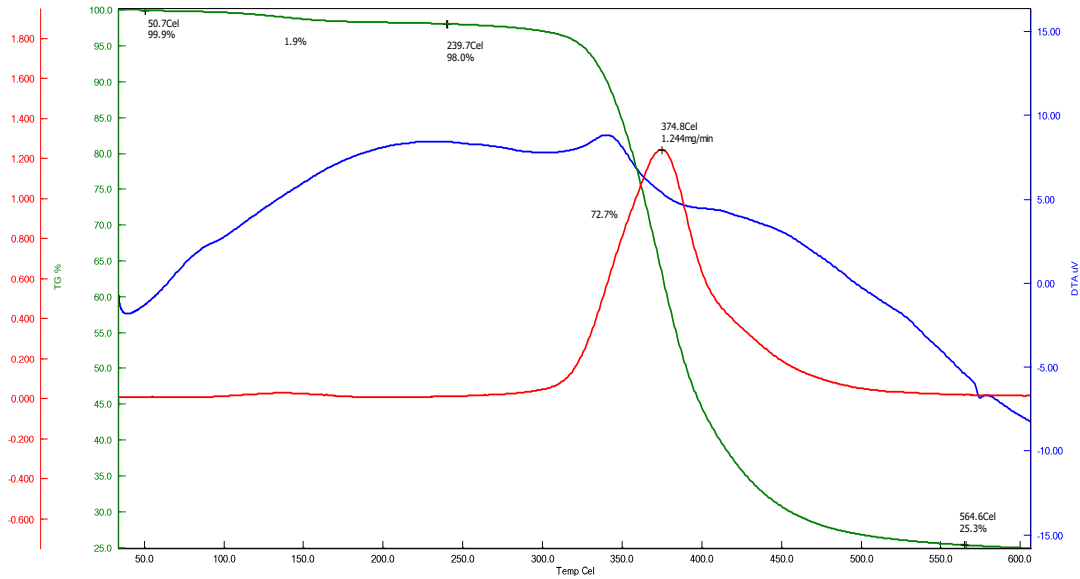
DTG ölçümünün de katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin Şekil 5.43’de verdiği pik 404,7 mcg/dak değerinde ve 374,4 °C’dir. Katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C’deki kütle kaybı %68’dir. Katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon gözlenmemiştir.



Şekil 5.44. ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

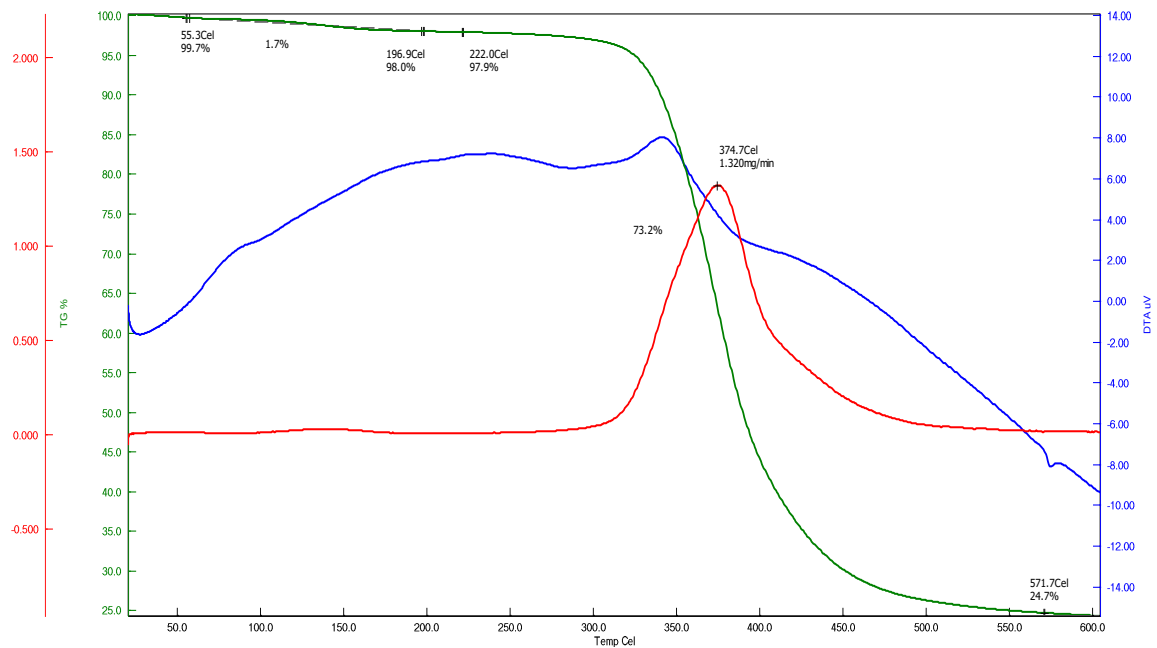


Şekil 5.45. Katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği



Şekil 5.46. Grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

DTG ölçümünün de grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 1,244 mg/dak değerinde ve 374,8 °C'dir. Grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C'deki kütle kaybı %74'tür. Grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon 340 °C'de çok küçük bir pik vermiştir (Şekil 5.46).



Şekil 5.47. ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTG, TG ve DTA grafiği

DTG ölçümünün de ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin verdiği pik 1,320 mg/dak değerinde ve 374,7 °C'dir. ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin TGA ölçümünde 550 °C'deki kütle kaybı %73'tür. ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin DTA termogramında ise kristalizasyon 342 °C'de çok küçük bir pik vermiştir (Şekil 5.47).

Ölçümleri yapılan malzemelerin toplam TG değerleri karşılaştırmalı bir şekilde Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin TGA değerleri

	Bozunma Sıcaklığı (°C)			550 °C'deki % Kütle Kaybı
	%10 Kütle Kaybı	%50 Kütle Kaybı	%75 Kütle Kaybı	
SAF-PAN	350	390	490	77
G-PAN	345	390	460	81
ÇDKNT-PAN	350	390	475	78
SAF-PVC	325	375	420	85
G-PVC	320	380	435	83
ÇDKNT-PVC	320	370	440	81
SAF-TPU	330	380	600	68
G-TPU	340	385	600	74
ÇDKNT-TPU	340	385	590	73

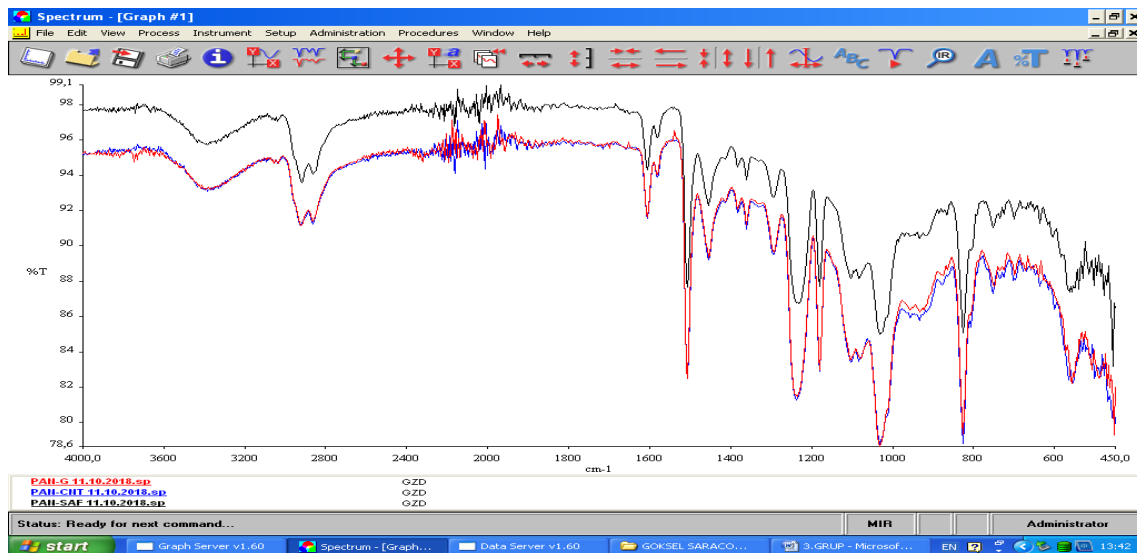
Çizelge 5.4'de verilen değerler incelendiğinde polimer takviyeli kompozit malzemelerin TGA sonuçlarına göre %75 kütle kayıpları arasında TPU takviyeli kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre daha yüksek sıcaklık değerine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. 550 °C' deki % kütle kayıpları incelendiğinde ÇDKNT ve grafen katkısı ile TPU ve PAN da meydana gelen kütle kayıpları artarken, PVC de ise katkı malzemeleri eklendiğinde % kütle kaybında bir miktar azalma olduğu saptanmıştır.

5.6. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) Analizi

Üretimi yapılan polimer takviyeli kompozit malzemelerin herbiri için ayrı ayrı Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50'de verilen FTIR analizi Kahramanmaraş ÜSKİM araştırma

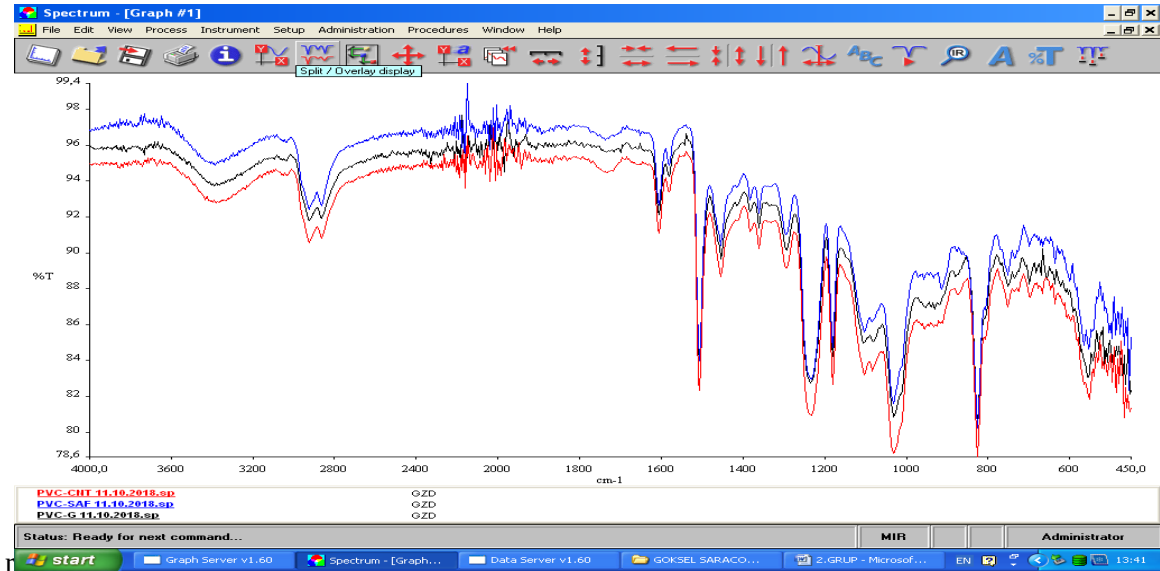
laboratuvarlarında yapılmış olup sonuçlar herbir polimer için katkı malzemelerinin karşılaştırmalı grafikleri şeklinde verilmiştir.

Şekil 5.48’de katkısız PAN, Grafen katkılı PAN ve ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu verilmiştir. 3400-3200 cm^{-1} aralığında oluşan pikler moleküller arasında oluşan hidrojen bağlarının (O-H) karakteristik pikleridir. 2900-2800 cm^{-1} aralığında oluşan pikler C-H, CH_2 bağları ve simetriklerini temsil etmektedir. 2400-2000 cm^{-1} aralığında oluşan titreşimler CO_2 ’in karakteristik titreşimleridir. Buraya kadar katkısız ve katkılı PAN takviyeli kompozit malzemelerin piklerinin derinlikleri açısından bir fark bulunmamaktadır. 1600-1450 cm^{-1} aralığında oluşan pikler aromatik halkalarda (C=C) oluşan karbon piklerini temsil etmektedir. 1360-1180 cm^{-1} aralığında oluşan pikler C-N amin grubunun karakterislik pikleridir. Ayrıca 1032 cm^{-1} ‘de oluşan pik eter gruplarında yer alan C-O-C yapısının karakteristik pikidir. 850-700 cm^{-1} aralığında oluşan pikler ise hidrokarbonlarda bulunan C-H eğilme titreşimlerinden aromatik süstitüsyon grubuna ait karakteristik piklerdir. 555 cm^{-1} ‘de oluşan pik ise C-X halojenli bileşikler grubunun karakteristik pikidir. 1600 cm^{-1} ’den sonra oluşan piklerde Grafen katkılı ve ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemeler katkısız PAN takviyeli kompozit malzemeye göre daha derin bir pikler vermiştir (Gündüz, 2005).



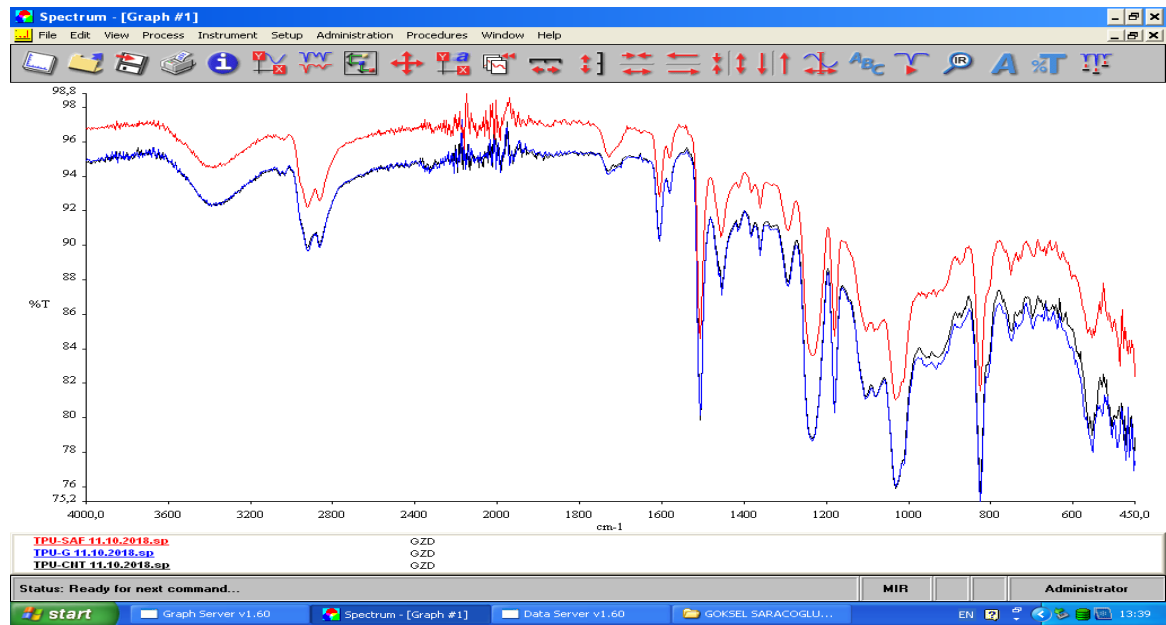
Şekil 5.48. Saf PAN, grafen katkılı PAN ve ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu

Şekil 5.49’da saf PVC, Grafen katkılı PVC ve ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu verilmiştir.



Şekil 5.49. Saf PVC, grafen katkılı PVC ve ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu

Şekil 5.50’de ise saf TPU, Grafen katkılı TPU ve ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu verilmiştir.



Şekil 5.50. Saf TPU, grafen katkılı TPU ve ÇDKNT katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin karşılaştırmalı FTIR test sonucu

TPU takviyeli kompozit malzemeler ve PVC takviyeli kompozit malzemeler ile PAN takviyeli kompozit malzemelerin karşılaştırmalı grafikleri ve verdikleri karakteristik pikler hemen hemen aynıdır. TPU takviyeli kompozit malzemelerde de PAN takviyeli kompozit malzemelerde olduğu gibi katkısız malzemeye göre grafen ve ÇDKNT katkılı malzemelerin pik derinlikleri daha fazladır. Pik derinliklerinde gerçekleşen bu artış bağ kuvvetlerinde artış olduğunu bir göstergesidir. Bunun yanın PVC takviyeli kompozit malzemelerin FTIR grafiği incelendiğinde ise diğerlerinden farklı olarak saf ve katkılı PVC takviyeli kompozit malzemeler arasında derinlik olarak da önemli bir fark bulunmamaktadır.

Bütün polimer takviyeli kompozit malzemelerin FTIR garfikleri birlikte değerlendirildiğinde genel olarak malzemelerin yapısında yeni bir bağ oluşması veya bağ kaybolması gibi bir durumun gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

5.7. Radar Absorpsiyon

Radar absorpsiyon malzemeleri (RAM); radar cihazından gelen elektromanyetik dalganın belirli kısmını absorblayarak materyalin radar tarafından anlaşılmasını zorlaştırır. Savunma sanayisinde son yıllarda en çok üstünde durulan konulardan biri olan RAM bütün dünya ülkeleri için büyük bir önem taşımaktadır. Uçak, roket, helikopter, gemi, tank ve benzeri tüm askeri araçların ve tabiki direk askerlerin belirli bir mesafedeki radar cihazına yakalanmaması adına, son yıllarda araştırmacılar tarafından giyilebilir RAM veya radar absorpsiyonu özelliği bulanan kompozit malzemelerin üretimi ve araştırılmaları artmıştır (Saville, 2005).

Üretimi gerçekleşen dokuz farklı polimer takviyeli kompozit malzemelerin herbirinin radar absorpsiyon kapasiteleri ölçülmüştür. Kompozit bir malzemenin mikrodalga emilimi, hem gelen dalga tarafı ile malzeme arasındaki empedans eşleşmesi hem de bileşik ortamın kayıp karakteristiği ile ilgilidir. Bir malzemenin absorpsiyon katsayısı, malzeme üzerine gelen dalganın yansıma ve iletim değerleri kullanılarak elde edilebilir. Yüksek emicilik özelliğine sahip bir ortam için, bu iletim ve yansıma değerlerinin sıfır civarında olması gerekir. Dolayısıyla, malzemedeki emilen güç, yansıtılan ve iletilen güce bağlı olarak elde edilebilir. Bu değer aşağıdaki Eş. 5.1 kullanılarak hesaplanabilir;

$$A(\omega) = 1 - R(\omega) - T(\omega) \quad (5.1)$$

Yansıtılan ve iletilen güçler, sistemde iki horn anteni kullanılarak ölçülmüştür. Antenler saçılma parametrelerini, yansıma ve iletim katsayılarını ölçtüğünden, saçılma parametreleri olan S_{11} ve S_{21} değerlerine bağlı olarak yansıyan ve iletilen güç değerleri Eş. 5.2'deki denklem ile hesaplanır.

$$R(\omega) = S_{11}^2(\omega) \text{ ve } T(\omega) = S_{21}^2(\omega) \quad (5.2)$$

Bu denklemlerden de görülebileceği gibi hem yansıma hem de iletim katsayıları frekansa bağlıdır. Çünkü saçılma parametreleri ayrıca gelen dalgasının frekansına da bağlıdır. Bu nedenle, yapıdaki gücün frekansa bağlı emilim büyüklüğü, saçılma parametrelerine bağlı olarak Eş. 5.3 kullanılarak hesaplanabilir;

$$A(\omega) = 1 - S_{11}^2(\omega) - S_{21}^2(\omega) \quad (5.3)$$

Saçılma parametrelerinin kare tanımı, anten tarafından ölçülen elektrik alan ile güç dönüşümü arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır. Saçılma parametreleri alan cinsinden iken, güç ölçülen alanın karesidir.

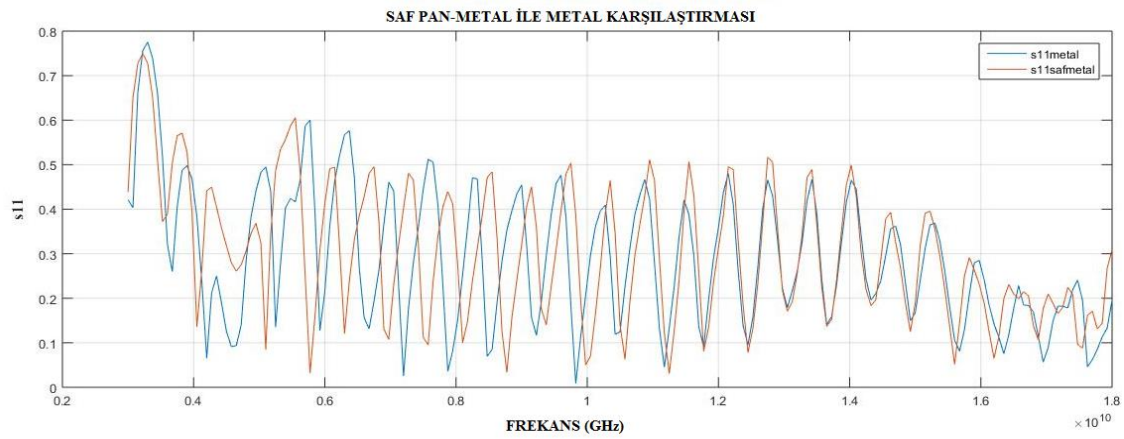
Ölçüm işlem sayısının en aza indirilmesi ve hataların azaltılması, metalik tabakanın numune kompozitinin arka tarafına yerleştirilmesiyle sağlanmıştır. Bu durumda, yansıma katsayısı ölçümü emiciliği değerlendirmek için yeterlidir. Çünkü iletilen dalga büyüklüğü ve elektrik alan değeri, mikrodalga frekans aralığı için metalin arka tarafında yaklaşık sıfır olacaktır. Bunun nedeni metalik tabakanın tam ters elektrik polarizasyonundan kaynaklanmakta olup, malzeme içerisine nüfus etmiş olan dalga bu tabaka tarafından yansıtılacaktır. Çünkü metalin kalınlığı deri etkisi üzerinde seçilmiştir. Bu nedenle, emilen güç, yalnızca yansıyan dalga katsayısı ile ilişkilidir ve denklem basitleştirilerek Eş. 5.4'de verilmiştir.

$$A(\omega) = 1 - S_{11}^2(\omega) \quad (5.4)$$

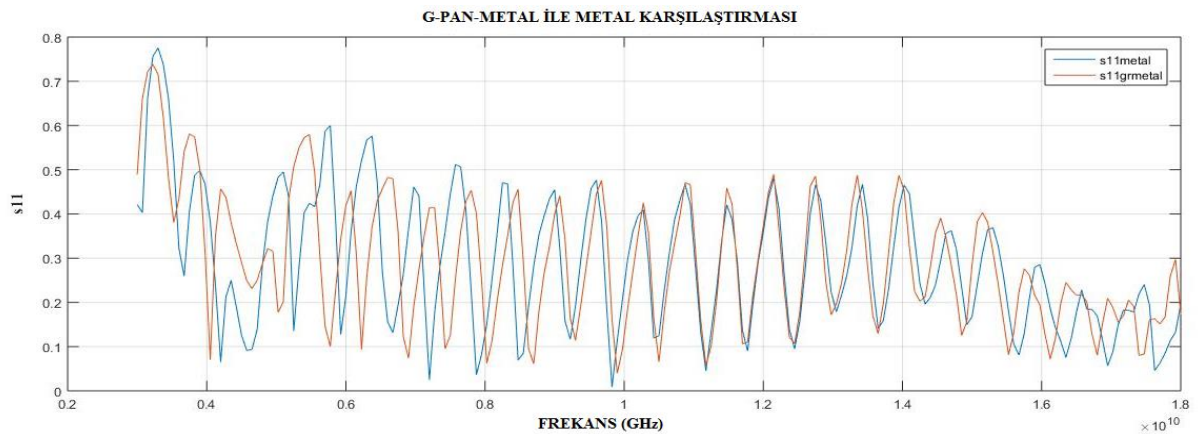
Ölçümler iki horn anten kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu antenlerden biri, gelen dalgayı oluşturan kaynak antendir ve yanına yerleştirilmiş olan ikinci anten yansıyan elektrik alan

değerini ölçer. Bu nedenle, verici ve alıcı antenler bir tarafa yerleştirilir ve numunenin diğer tarafına metal tabaka yerleştirilir. Her anten, 3-18 GHz frekans aralığında çalışan bir vektör network analiz (VNA) cihazına bağlanır. Her iki anten de yakın alan etkisini ve ölçüm hatalarını en aza indirmek için uygun bir mesafeye yerleştirilmiştir. Bu mesafe minimum frekansa maksimum dalga boyuna bağlı olarak belirlenmiştir.

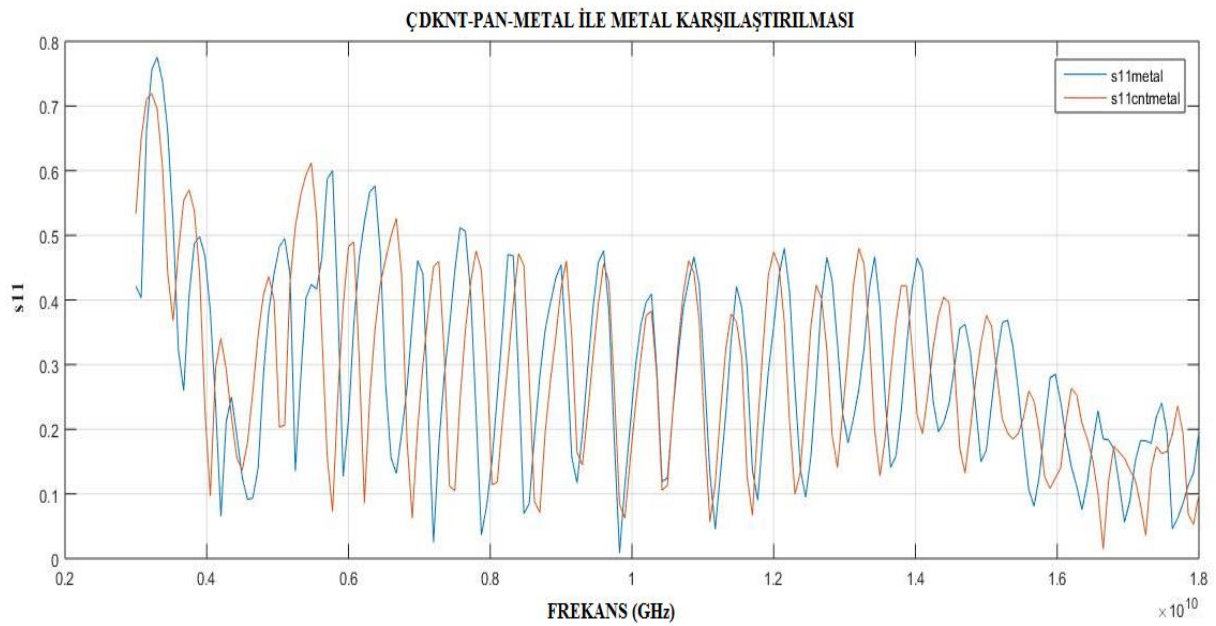
Şekil 5.51, Şekil 5.52 ve Şekil 5.53’de arka kısmına metal plaka yerleştirilen katkısız ve nanopartikül katkılı PAN takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.51. Metal plakalı katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği



Şekil 5.52. Metal plakalı grafit katkılı PAN takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği



Şekil 5.53. Metal plakalı ÇDKNT katkılı pan takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği

Grafiklerden de görüldüğü gibi 10 GHz'den sonra metal plaka ile polimer takviyeli kompozit malzemelerin benzer pikler verdiği tespit edilmiştir. Bu benzer pikler sonucu malzeme Radom özellik taşımaktadır. Radom malzemeler; radar ve İngilizcede kubbe anlamına gelen dome kelimelerinin birleşmesi ile meydana gelmektedir. Genellikle Radom malzemeler uçakların burun kısmında bulunan radar antenlerinin üzerini kaplayarak bu antenleri dış etkenlerden korumakla görevlidirler, aynı zamanda da bu malzemelere çarpan radar dalgalarının bozulmaması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında katkısız ve nanopartikül katkılı PAN takviyeli kompozit malzemelerin 10 GHz'den yüksek dalga boyunda Radom malzeme olarak kullanabileceği söylenebilir. Fakat 10 GHz'e kadar olan kısımda ise kompozit malzemelerin absorbanlık özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. 4. Pikte grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzeme % 18,12 absorbanlık değerine sahipken, 6. Pikte ÇDKNT ve katkısız PAN takviyeli kompozit malzemeler ise % 15,97'lik bir absorbanlık değerine sahiptirler.

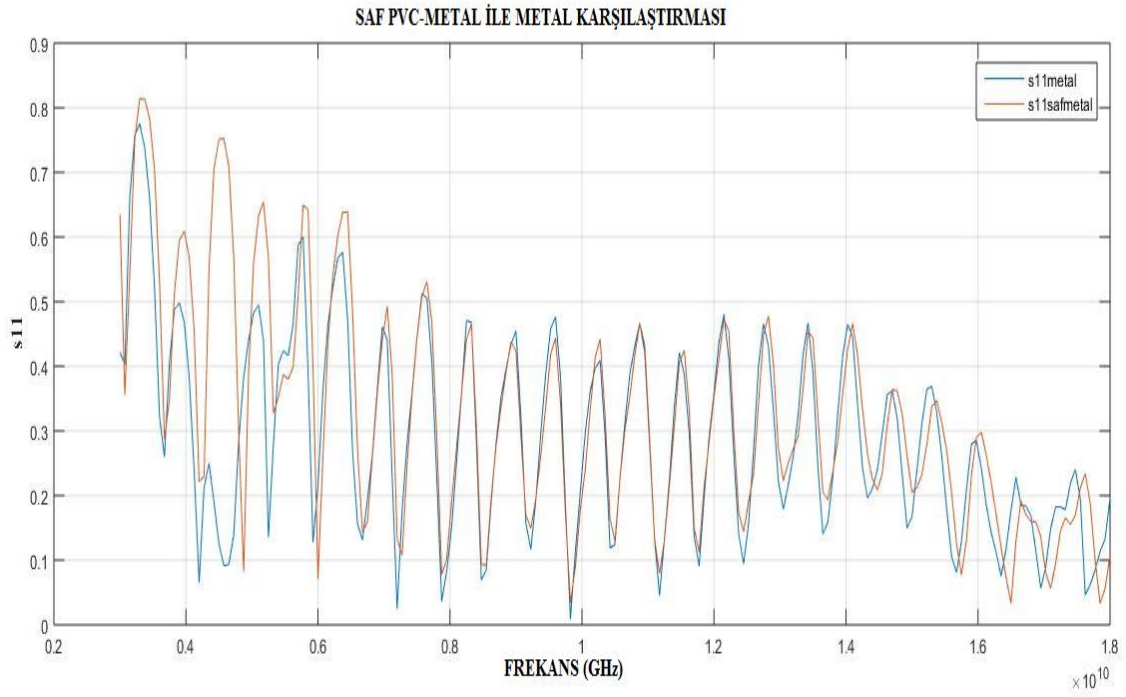
Grafiklere göre tüm PAN takviyeli kompozit malzemeler ile metalin karşılaştırmalı sonuçları incelenerek % absorbanlık değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Metal Plakalı katkısız ve nanopartikül katkılı pan takviyeli kompozit malzemenin % absorbanlığı

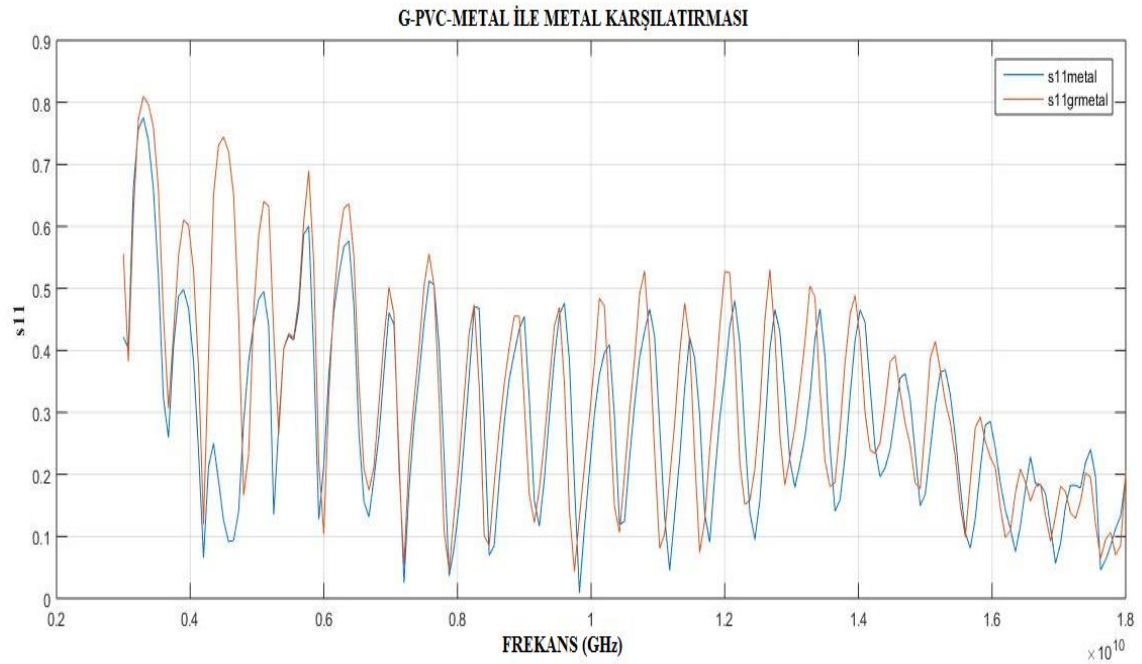
	Metal			G-PAN-Metal Plaka			Saf-PAN-Metal Plaka			ÇDKNT-PAN-Metal Plaka		
	Frekans (GH)	S11	Frekans (GH)	S11	Abs. (%)	Frekans (GH)	S11	Abs. (%)	Frekans (GH)	S11	Abs. (%)	
Pik-1	3,40	0,78	3,30	0,74	3,40	3,30	0,75	11,72	3,30	0,72	10,08	
Pik-4	5,01	0,49	5,75	0,32	18,12	5,75	0,38	12,59	5,75	0,44	6,12	
Pik-5	5,82	0,6	5,56	0,58	3,68	5,55	0,6		5,55	0,61		
Pik-6	6,30	0,58	6,10	0,45		6,20	0,48	15,97	6,10	0,48	15,97	
Pik-7	7,10	0,47	7,30	0,42	5,71	7,30	0,49		7,30	0,47		
Pik-8	7,70	0,51	7,85	0,46	6,55	7,90	0,44	8,99	7,85	0,48	4,01	
Pik-9	8,30	0,48	8,40	0,47	1,23	8,60	0,49	1,26	8,50	0,48		

Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da katkısız ve nanopartikül katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin arka kısmını metal plaka konması ile ölçülmüş radar absorpsiyon sonuçları ile metal plakanın radar absorpsiyon sonuçlarının karşılaştırma grafikleri verilmiştir.

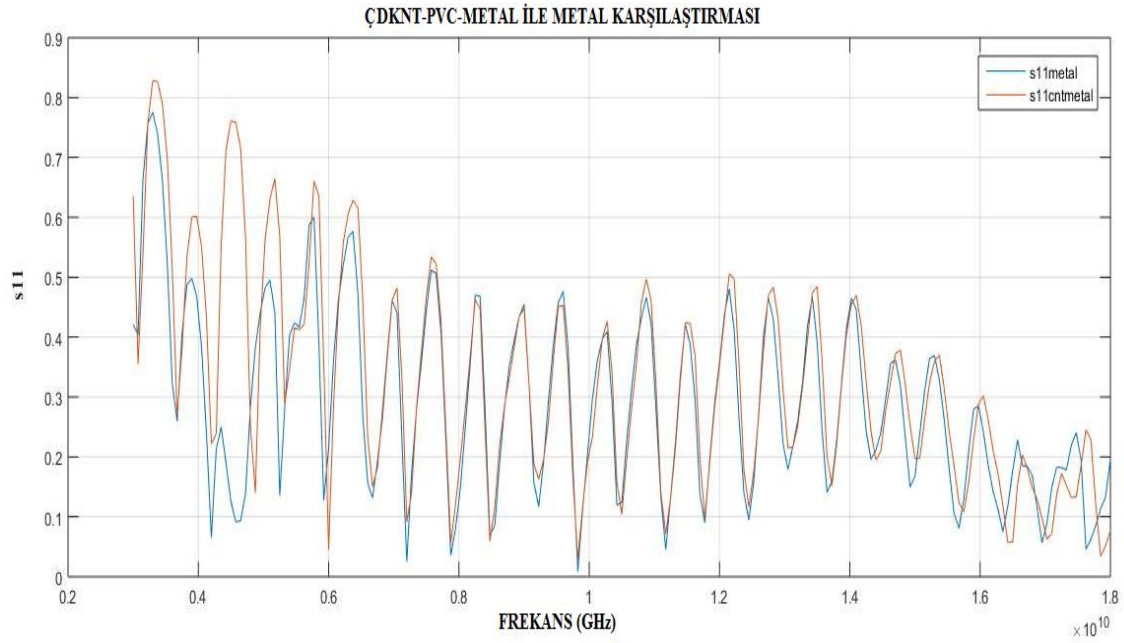
Grafiklere bakıldığında yansıma katsayısı değerlerinden görülebileceği gibi, özellikle arkasına metal plaka yerleştirilmiş grafen takviyeli PVC takviyeli kompozit malzeme ve metal plaka arasında düşük frekans bandında hafif bir kayma vardır. Bu kayma grafen katmanından ve kalınlığından kaynaklanmaktadır. Çünkü dalga hızının, ortamın elektromanyetik özelliklerine bağlı olduğu iyi bilinmektedir. PVC takviyeli kompozit malzemelerin katkısız ve nanopartikül katkılı hali arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır. PVC takviyeli kompozit malzeme radar absorplayıcı malzeme özelliği taşımamakla birlikte bazı kısımlarda Radom özellik göstermektedir.



Şekil 5.54. Metal plakalı katkısız PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği

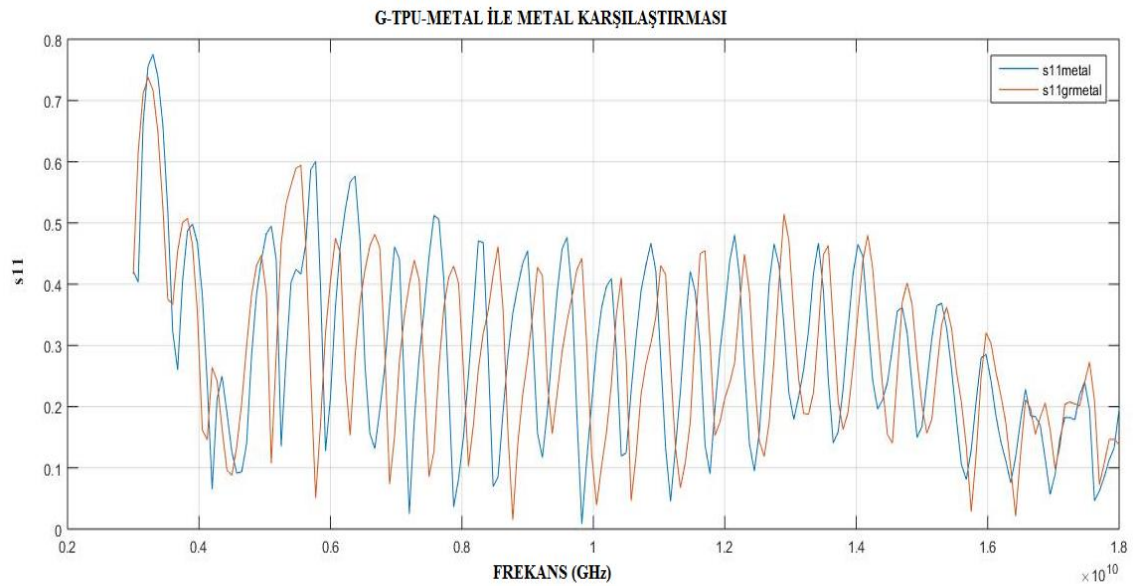


Şekil 5.55. Metal plakalı grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği

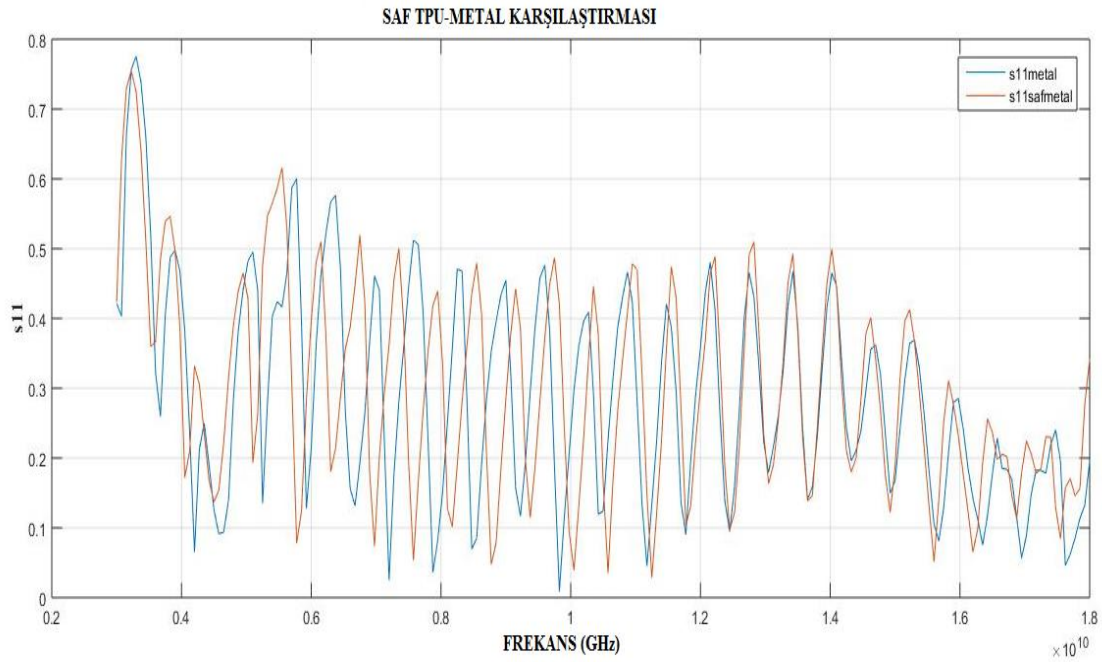


Şekil 5.56. Metal plakalı ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği

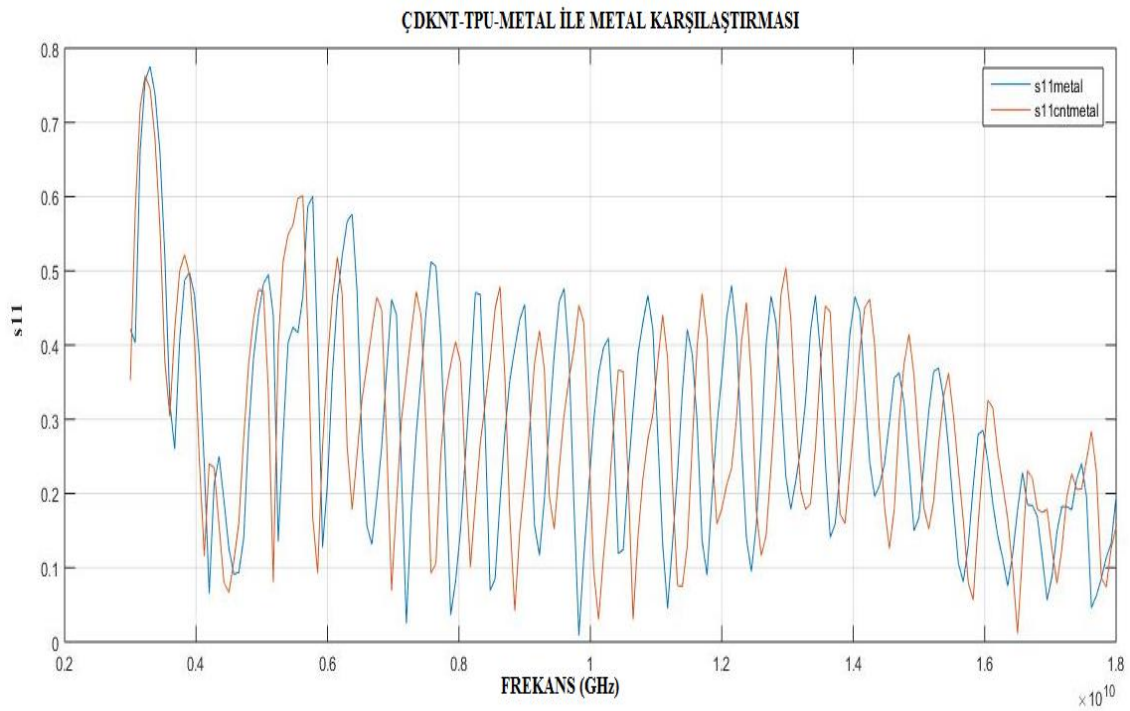
Şekil 5.57, Şekil 5.58 ve Şekil 5.59’da katkısız ve nanopartikül katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin arka kısmına metal plaka konması ile ölçülmüş radar absorpsiyon sonuçları ile metal plakanın radar absorpsiyon sonuçlarının karşılaştırma grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.57. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği



Şekil 5.58. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği



Şekil 5.59. Metal plakalı grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme ile metal plakanın radar absorpsiyonu karşılaştırma grafiği

Katkısız TPU takviyeli kompozit malzeme, PAN ve PVC takviyeli kompozit malzemelerin tamamında olduğu gibi 10 GHz frekansına kadar farklılık gösterdikten sonra yüksek frekanslarda metalle benzer pikler vermiştir. Fakat Grafen ve ÇDKNT katkılı TPU

takviyeli kompozit malzemeler ise neredeyse 18 GHz'e kadar birçok noktada absorban özellik gösterdiği söylenebilir.

Grafiklere göre tüm TPU takviyeli kompozit malzeme ile metalin karşılaştırmalı sonuçları incelenerek % absorbanlık değerleri hesaplanarak Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Metal plakalı katkısız ve nanopartikül katkılı TPU takviyeli kompozit malzemenin % absorbanlığı

	Metal		G-TPU-Metal Plaka			Saf-TPU-Metal Plaka			ÇDKNT-TPU-Metal Plaka		
	Frekans (GHz)	S11	Frekans (GHz)	S11	Abs. (%)	Frekans (GHz)	S11	Abs. (%)	Frekans (GHz)	S11	Abs. (%)
Pik-1	3,40	0,78	3,30	0,73	19,28	3,30	0,75	11,72	3,30	0,76	7,87
Pik-2	3,92	0,49	3,92	0,51		3,85	0,56		3,90	0,53	
Pik-3	4,43	0,25	4,43	0,27		4,25	0,33		4,25	0,24	
Pik-4	5,01	0,49	5,01	0,44	6,12	4,90	0,46	3,75	5,00	0,47	2,53
Pik-5	5,82	0,6	5,82	0,58	3,69	5,50	0,62		5,70	0,6	
Pik-6	6,30	0,58	6,30	0,48	15,98	6,10	0,51	11,50	6,10	0,51	11,50
Pik-7	7,10	0,47	7,10	0,49		6,80	0,52		6,80	0,48	
Pik-8	7,70	0,51	7,70	0,44	10,16	7,40	0,5	1,37	7,40	0,47	5,30
Pik-9	8,30	0,48	8,30	0,42	7,02	8,00	0,45	3,62	8,00	0,4	9,15

Çizelge 5.6'da da görüldüğü üzere en yüksek absorpsiyon yüzdesi, %19,28 ile Grafen takviyeli TPU takviyeli kompozit malzemededir. Grafiklere bakıldığında birçok dalga boyunda metal plakalı kompozit malzeme ile metal plakanın pikleri arasında kayma olduğu görülmektedir. Bu kaymanın TPU takviyeli kompozit malzemelerin yapısındaki hava boşluklarından ve TPU nanoliflerinin kompozit malzeme içerisine yerleştirilmesi esnasında epoksi ile etkileşime girmesi sonucunda uzamasından kaynaklı büzülmelerden dolayı olduğu söylenebilir.

Tüm malzemeler incelendiğinde PVC takviyeli kompozit malzemelerin Radom özelliğinin fazla olduğu; PAN ve TPU takviyeli kompozit malzemelerin ise radar absorplayıcı malzeme özelliğinde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle PAN ve TPU takviyeli kompozit malzemelerin grafen takviyeli olanlarının daha yüksek absorplayıcı özellik sergiledikleri belirlenmiştir. Karbon izotroplarından grafen ve ÇDKNT'lerin takviyesi sonucu elde

edilen malzemenin RAM olarak kullanılabilirliğinde arttırıcı özellik gösterdikleri yapılan testlerde de açıkça görülmektedir. Grafiklerin birçoğunda özellikle grafen ya da ÇDKNT tabakası + metal levha ve metal levha arasında düşük frekans bandında hafif bir kayma vardır. Dalganın hızının, ortamın elektromanyetik özelliklerine bağlı olduğu bilindiğinden, bu kaymaların grafen veya ÇDKNT katmanından ve kalınlıklarından kaynaklanabildiği söylenebilir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışmada, elektrosprin metodu ile PAN, PVC ve TPU polimerlerinin katkısız (saf), %1 grafen katkılı ve %1 ÇDKNT katkılı nanofiberleri üretilmiştir. Üretilmiş olan 9 farklı çeşit nanofiberin her biri için 3 kat fiber arasına 1'er kat cam elyaf olacak şekilde 5 katmanlı kompozit malzemeler, elle yatırma yöntemi ile elde edilmişlerdir. Bunlara ek olarak karşılaştırma yapılabilmesi için 2 katmanlı cam elyaf (Fiber eklenmeden) kompozit malzemeler de üretilmiştir. Elde edilen nanofiberlerin ve kompozit malzemelerin ayrı ayrı SEM görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca elde edilen nanofiberlere ve kompozit malzemelere ayrı ayrı olarak çekme testi uygulanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin darbe dayanımı ve radar absorpsiyonu ölçülmüştür. Ek olarak her bir malzemenin FTIR, DSC ve TGA karakterizasyon testleri de yapılarak yorumlanmıştır.

Elde edilen verilerden yola çıkarak üretilen nanofiberlerin SEM görüntüleri için aşağıdaki maddelerden bahsetmek mümkündür;

- Saf PAN, Grafen katkılı PAN, ÇDKNT katkılı PAN nanofiberlerin homojen bir boyutta ve damlacıksız elde edildiği gözlemlenmiştir.
- Saf PVC, Grafen katkılı PVC, ÇDKNT katkılı PVC nanofiberlerin homojen bir boyutta ve damlacıksız elde edildiği, PAN nanofiberlere oranla daha ince yapıda olduğu saptanmıştır.
- Saf TPU, Grafen katkılı TPU, ÇDKNT katkılı TPU nanofiberlerin ise fiber tabakalarının elastik bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu yapısal özelliğinden kaynaklı homojen bir dağılım göstermediği düşünülmektedir. SEM görüntülerinde damlacıklı yapıların olduğu saptanmıştır. PVC ve PAN fiberleri birbirinden bağımsız, örgüsel bir görüntü verdiği halde TPU fiberlerinin SEM görüntüleri örümcek ağı formatında ve birbirine yapışık haldedir.

Çekme testi sonucunda kompozit malzemelerin SEM görüntülerinin incelenmesi ile kompozit malzemelerin ara yüzeyindeki fiberlerin kopmuş halleri, fiber sıyrılmalar sonucu oluşan boşluklar net bir şekilde gözlemlenebilmektedir.

Elde edilen verilerden yola çıkarak düşük hızlı darbe testleri için ise aşağıdaki maddelerden bahsetmek mümkündür;

- Numunelerin hiçbirinde delinme oluşmamış, bu sebepten nüfuziyet hasarı meydana gelmemiştir.
- Toplam impuls değerlerine bakıldığında; katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerin toplam impuls değerleri grafen ve ÇDKNT katkılı olanlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek toplam impuls değeri 6228,24 (N.s) ile Saf PAN takviyeli kompozit malzemededir.
- Absorbe edilen enerji miktarlarına bakıldığında; PAN takviyeli kompozit malzemede katkısız olanın grafen ve ÇDKNT katkılı olanlara göre daha yüksek olduğu, PVC takviyeli kompozit malzemede ÇDKNT takviyesinin saf ve grafen takviyeli olanlara göre daha yüksek olduğu, TPU takviyeli kompozit malzemede ise grafen takviyeli olanın saf ve ÇDKNT takviyeli olanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek Absorbe edilen enerji miktarları 2,624 J ile cam epoksi takviyeli kompozit malzemededir. Sonrasında ise 1,745 J ile saf PAN takviyeli kompozit malzeme en yüksek absorbe edilen enerji miktarına sahiptir.
- İade edilen enerji değerleri karşılaştırıldığında; PAN takviyeli kompozit malzemede ÇDKNT katkılı olanın saf ve grafen katkılı olanlara göre daha yüksek olduğu, PVC takviyeli kompozit malzemede grafen takviyesinin saf ve ÇDKNT takviyeli olanlara göre daha yüksek olduğu, TPU takviyeli kompozit malzemede ise katkısız olanın grafen ve ÇDKNT takviyeli olanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek iade edilen enerji değeri 2,402 J ile saf TPU takviyeli kompozit malzeme, en düşüğü ise 0,175 J ile cam epoksiden sonra 1,054 J değeri ile saf PAN takviyeli kompozit malzemedir.
- Temas rijitlikleri karşılaştırıldığında; PAN, PVC ve TPU takviyeli kompozit malzemelerde ÇDKNT katkılı olanlarının saf ve grafen katkılı olanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her bir polimer takviyeli kompozit malzeme için saf olanların temas rijitiği katkılılara oranla en düşük değerlere sahiptir. En yüksek temas rijitliği değeri 177596 N/Sec ile ÇDKNT takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemede, en düşüğü ise - 227,36 N/Sec değeri ile saf PAN takviyeli kompozit malzemededir.
- Eğilme rijitlikleri karşılaştırılması sonucunda; temas rijitliğinde olduğu gibi ÇDKNT katkılı olan kompozit malzemelerin değerleri diğerlerine oranla daha yüksek iken katkısız olanlar ise en düşük değerlere sahiptir. En yüksek eğilme rijitliği 181672 N/m

değeri ile ÇDKNT takviyeli PVC takviyeli kompozit malzemede, en düşüğü ise -227,68 N/m değeri ile saf PAN takviyeli kompozit malzemededir.

- Tepe kuvvet değerleri incelendiğinde ise; PAN ve PVC takviyeli kompozit malzemelerde grafen katkılı olanların saf ve ÇDKNT katkılı olanlara göre daha yüksek olduğu, TPU takviyeli kompozit malzemede ise katkısız olanın grafen ve ÇDKNT takviyeli olanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek tepe kuvvet değeri 1391,65 N ile katkısız TPU takviyeli kompozit malzemedeyken en düşük değer ise 838,3 N değeri ile saf PVC takviyeli kompozit malzemededir.
- Son olarak tepe deplasman değerleri incelendiğinde ise; en yüksek değerlerin katkısız polimer takviyeli kompozit malzemelerde olduğu saptanmıştır. En yüksek tepe deplasman değeri 0,0125 m ile cam epoksida sonrasında ise 0,0112 m ile saf pan takviyeli kompozit malzemededir. En düşük tepe deplasman değeri ise ÇDKNT takviyeli PAN takviyeli kompozit malzemededir.
- Kuvvet-zaman grafikleri incelendiğinde; %1'lik grafen katkısı ile PVC takviyeli kompozit malzemenin % 35,92 oranında, %1'lik ÇDKNT takviyesi ile de % 10,50 oranında hasara uğramadan önce kuvvet dayanımınlarında artış olduğu tespit edilmiştir. PAN takviyeli kompozit malzemelerde de %1'lik grafen takviyesi ile %20,56 oranında, %1'lik ÇDKNT takviyesi ile de % 4,63 oranında artış olduğu saptanmıştır. TPU takviyeli kompozit malzemede ise diğerlerinin tersine %1'lik grafen takviyesi ile % 23,65 oranında, %1'lik ÇDKNT takviyesi ile de % 26,67 oranında kuvvet dayanımında azalma olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen verilerden yola çıkarak fiberlere uygulanan çekme testleri için ise aşağıdaki maddelerden bahsetmek mümkündür;

- Saf fiberlerde en yüksek ortalama gerilme değeri 8,99 MPa ile PAN fiber tabakadadır. En düşük ortalama maksimum gerilme değeri ise 4,64 MPa ile PVC fiber tabakadadır.
- %1 grafen katkılı fiber tabakalarda ise en yüksek ortalama maksimum gerilme değeri 39,20 MPa ile PAN fiber tabakada, en düşük değer ise 1,60 MPa değeri ile TPU fiber tabakadadır.
- %1 ÇDKNT katkılı fiber tabakalara bakıldığında en yüksek ortalama maksimum gerilme değeri 10,69 MPa ile PAN fiber tabakada, en düşük ise 5,07 MPa değeri ile PVC fiber tabakadadır.

- %1 grafen katkısı, PAN fiber tabakada % 336,04 oranında, PVC fiber tabakada ise % 134,90 oranında ortalama maksimum gerilme değerlerinde artış yaparken, TPU fiber tabakada ise % 70,59 oranında ortalama maksimum gerilme değerinde azalmaya sebep olmuştur.
- %1 ÇDKNT takviyesi ise, PAN fiber tabakada % 18,91 PVC fiber tabakada % 9,27 TPU fiber tabakada ise % 44,30 oranında ortalama maksimum gerilme değerlerinde artış sağlamıştır.
- Bu sonuçlara göre elektrospin yöntemi ile elde edilen fiberler de TPU polimeri için ÇDKNT takviyesi, PAN ve PVC polimerleri için ise grafen takviyesinin çekme dayanımı için önemli derece de artış sağlayabildiği söylenebilir.

Polimer takviyeli kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları yorumlanacak olursa;

- Saf polimer takviyeli kompozit malzemelerin çekme testi sonucu maksimum gerilme değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değere 97,15 MPa değeri ile PAN takviyeli kompozit malzemesi, en düşük değere ise 88,52 MPa değeri ile TPU takviyeli kompozit malzemesi sahiptir.
- %1 grafen takviyesi sonucunda da polimer takviyeli kompozit malzemeler arasında yine en yüksek değere 93,82 MPa değeri ile PAN takviyeli kompozit malzeme sahipken en düşük değere ise yine 56,08 MPa değeri ile TPU takviyeli kompozit malzeme sahip olmaktadır.
- %1 ÇDKNT takviyesi sonucunda ise polimer takviyeli kompozit malzemeler arasında en yüksek gerilme değeri 86,25 MPa değeriyle PVC takviyeli kompozit malzemede iken en düşük gerilme değeri ise 66,81 MPa değeri ile TPU takviyeli kompozit malzemededir.
- %1 grafen takviyesi ile PAN takviyeli kompozit malzeme % 3,42 TPU takviyeli kompozit malzeme ise % 24,53 oranında gerilme değerlerinde azalma olurken, PVC takviyeli kompozit malzeme de ise % 13,41 oranında artış gerçekleşmiştir.
- %1 ÇDKNT takviyesi ile PAN takviyeli kompozit malzemede % 25,88 TPU takviyeli kompozit malzemede ise % 24,53 oranında azalma olurken, grafen takviyesinde olduğu gibi PVC takviyeli kompozit malzemede % 17,81 oranında gerilme değerinde artış olmuştur.
- Bu sonuçlara göre; TPU ve PAN takviyeli kompozit malzemelerin gerilme değerlerine nanopartikül takviyesinin artı önde bir etkisi olmadığı; bunun yanında PVC

takviyeli kompozit malzemeye ise hem grafenin hem de ÇDKNT'ün katkılandırılmasıyla gerilme değerlerinde artı yönde bir etkinin söz konusu olduğu söylenebilir.

Malzemelerin DSC testi sonucundaki değerleri incelendiğinde;

- %1 ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme 95 °C ile en yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. En düşük camsı geçiş sıcaklığı değerleri ile 34 °C, 30 °C ve 30 °C ile sırasıyla %1 ÇDKNT takviyeli TPU, %1 grafen takviyeli TPU ve saf TPU takviyeli kompozit malzemelere aittir.
- PAN takviyeli kompozit malzeme için %1 ÇDKNT takviyesinin camsı geçiş sıcaklığını katkısızza göre % 37,5 arttırdığı, %1 grafen takviyesinin ise % 72,5 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.
- %1 ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemenin camsı geçiş sıcaklığı, saf PVC takviyeli kompozit malzemeye göre % 86,27 artarken, %1 grafen katkısı ile % 84,31 oranında artış sağlanmaktadır.
- TPU takviyeli kompozit malzemelerde ise %1 ÇDKNT takviyesinin camsı geçiş sıcaklığını yalnızca % 13,33 oranında arttırdığı, %1 grafen takviyesinin ise herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.
- Katkısız PAN takviyeli kompozit malzemenin en uzun pik uzunluğuna sahip olması bu malzemede ısı ile gerçekleşen ekzotermik reaksiyon hızının diğer malzemelere çok daha yavaş olduğu anlamına gelmektedir.

Üretilen kompozit malzemelerin TGA sonuçları incelendiğinde ise;

- 550 °C'de maksimum kütle kaybına % 85'lik bir değer ile katkısız PVC takviyeli kompozit malzemenin, aynı sıcaklıktaki minimum kütle kaybına ise %68'lik değeri ile katkısız TPU takviyeli kompozit malzemenin sahip olduğu tespit edilmiştir.
- %1 grafen katkısının 550 °C'de PAN takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını % 5,19 TPU takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını ise % 8,82 oranında arttırırken, PVC takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını ise % 2,35 oranında azalttığı tespit edilmiştir.
- %1 ÇDKNT katkısının ise 550 °C'de PAN takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını %1,30, TPU takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını da % 7,35 oranında arttırdığı, PVC takviyeli kompozit malzemenin kütle kaybını ise % 4,71 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

FT-IR sonuçları değerlendirilecek olursa;

- Katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme ile nanopartikül katkılı PAN takviyeli kompozit malzemelerin arasında pikin derinliği dışında bir fark bulunmamaktadır. ÇDKNT ve grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemelerin arasında derinlik olarak da bir fark yoktur. Eş değer pikler vermişlerdir. ÇDKNT ve grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemeler ile katkısız PAN takviyeli kompozit malzeme arasında oluşan pik derinlik farkı malzemelerin yapılarında gerçekleşen bağ kuvvetlerindeki artışın bir sonucudur.
- Katkısız TPU takviyeli kompozit malzeme ile nanopartikül katkılı TPU takviyeli kompozit malzemelerin arasında da PAN takviyeli kompozit malzemelerde olduğu gibi pikin derinliği haricinde herhangi bir değişiklik bulunmamaktadır. ÇDKNT ve grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemelerin arasında derinlik olarak da bir fark yoktur. Üst üste gelen pikler vermişlerdir. ÇDKNT ve grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzemeler ile katkısız TPU takviyeli kompozit malzeme arasında gerçekleşen pik derinlik farkı malzemelerin yapılarında gerçekleşen bağ kuvvetlerindeki artışın bir göstergesidir.
- PVC takviyeli kompozit malzemelerde ise FT-IR grafikleri incelendiğinde katkısız, grafen katkılı ve ÇDKNT katkılı PVC takviyeli kompozit malzemelerin her biri arasında pik derinlik farkı olduğu gözlemlenmiştir.
- Tüm malzemelerde oluşan karakteristik pikler yapılarındaki bağları gösteren karakteristik pik dalga boylarını vermektedir. $4000-1600\text{ cm}^{-1}$ arasında hemen hemen aynı pikleri vermişlerdir. 1600 cm^{-1} 'den daha düşük dalga boyunda ise malzemelerin yapılarındaki aromatik halkalardaki, amin gruplarındaki, eter gruplarındaki ve hidrokarbonlar arasında oluşan bağ kuvvetlerindeki artış sebebiyle pik derinliklerinde değişiklikler oluşmuştur.

Üretilen 4mm kalınlığındaki polimer takviyeli kompozit plakaların arkasına yerleştirilen eş boyutlu metal plaka ile kompozit malzeme olmadan metal plakanın ölçülmüş radar sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçları incelendiğinde;

- Neredeyse tüm malzemelerin metal plaka ile karşılaştırmalı sonuçlarında 10 GHz'den sonrasında benzer pikler görülmüştür. 10 GHz'den yüksek frekanslarda malzemelerin Radom özellikte olduğu söylenebilir.

- Katkısız ve nanopartikül katkılı PVC takviyeli kompozit malzemeler çoğu frekans aralığında metal plaka ile eş değer pikler vermesinden dolayı Radom özellik sergilediği söylenebilir.
- Grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin 10 GHz'den düşük frekanslarda radar absorpsiyonu özelliği gözlemlenmektedir. Özellikle 5,75 GHz frekans değerinde %18,12'lik absorpsiyon değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- ÇDKNT katkılı PAN takviyeli kompozit malzemenin ise grafen katkılı PAN takviyeli kompozit malzemede olduğu gibi 10 GHz'den düşük frekanslarda birçok noktada radar absorpsiyonu özelliği gözlemlenmektedir. En yüksek radar absorpsiyon değeri ise 6,10 GHz frekansında %15,97 olarak tespit edilmiştir.
- Grafen katkılı TPU takviyeli kompozit malzeme, tüm kompozit malzemeler arasında en yüksek radar absorpsiyon değerine sahip olanıdır. Birçok noktada radar absorpsiyonu gözlemlenmektedir. En yüksek değeri 3,30 GHz frekans değerinde %19,28'lik radar absorpsiyonu olarak tespit edilmiştir.
- Genel anlamda ÇDKNT ve Grafen katkısının radar absorpsiyonunu artırıcı yönde bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Özet olarak; yapılan çalışma neticesinde elde edilen tüm veriler göz önünde tutulduğunda polimerlerden elektrospin yöntemi ile elde edilen nanoliflere grafen ve ÇDKNT takviyesinin, mekanik dayanımı artırıcı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak grafen ve ÇDKNT takviyesinin radar absorpsiyonu üzerinde de olumlu etkileri tespit edilmiştir. TPU fiber tabakaları elastikiyeti yüksek yapılı olmaları sebebiyle TPU fiber takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımları diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. Katkılandırılan grafen ve ÇDKNT nanopartikülleri yapıyı gevrek hale getirmiştir. PVC ve PAN malzemeleri ise grafen ve ÇDKNT takviyesiyle dayanımı artmıştır. Çekme testinde grafen takviyeli PAN takviyeli kompozit malzeme öne çıkarken düşük hızlı darbe testinde ise grafen katkılı PVC takviyeli kompozit malzeme öne çıkmaktadır.

6.2. Öneriler

Yapılan çalışmaya ek olarak;

- Katkılandırılan nanopartiküllerin katkı oranları değiştirilerek üretim ve testler tekrarlanabilir.

- Kompozit malzeme sentezinde kullanılan epoksi reçine, endüstride kullanılan farklı tipteki epoksi reçinelerle değiştirilerek yapıştırma malzemesinin kompozit malzemeye etkisi incelenebilir.
- Kompozit malzeme üretim yöntemleri değiştirilerek birbiri ile karşılaştırılabilir.
- Elektrospin işlemi esnasında önemli olan parametreler değiştirilerek elde edilen fiberlerdeki değişimler tespit edilerek bunların kompozit malzemeler içerisinde kullanımı sonucu bir farklılık yaratıp yaratmadığı araştırılabilir.
- Kullanılan polimerlere ek başka özellikteki polimerler kullanılıp bu polimerlerin kompozit malzeme içerisindeki etkileri araştırılabilir.
- Farklı polimerlerden elde edilen fiberlerden oluşan hibrit bir kompozit malzeme sentezi gerçekleştirilerek bu malzemenin mekanik testleri incelenebilir.
- Polimerlere takviye edilecek ÇDKNT veya grafene farklı özellikler katabilmek amacıyla istenebilecek özelliğe uygun bileşikler katkılanarak elde edilecek fiberlerle üretilen kompozit malzemelerin mekanik, kimyasal ve radar testleri yapılarak sonuçlar incelenebilir.
- Radar absorpsiyonu özelliğinin artırılabilmesi açısından sadece fiberlere değil epoksiye de farklı oranlarda farklı nanopartiküller eklenmesiyle ölçümler tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abrigo, M., McArthur, S. L., & Kingshott, P. (2014). Electrospun nanofibers as dressings for chronic wound care: advances, challenges, and future prospects. *Macromolecular Bioscience*, 14(6), 772-792.
- Adrian, P. P., & Gheorghe, B. M. (2010). Manufacturing process and applications of composite materials. *Annals of the Oradea Univ., Fascicle of Management and Technological Engineering*, 9.
- Akın Akıncı, (2015). http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49007/29778/1._polimer_malzemelere_giri%C5%9F.pdf. Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.
- Akyüz, Ö. F. (1999). Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş. *Pagay*.
- Allod, (2018). https://www.allod.com/tr/thermoplastische-elastomere_tr.html Erişim tarihi: 29 Aralık 2018.
- Ankara Üniversitesi, (2019). <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=10738>. Erişim tarihi: 25 Nisan 2019.
- Anton Lebedev, (2018). <https://tr.123rf.com>. Erişim tarihi: 29 Aralık 2018.
- Aricasoy, O. (2006). Kompozit Sektörü Raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Arif ALTINTAŞ, (2013). Organik Kimya Ders Notları, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1066/mod_resource/content/1/7.%20Polimerler.pdf. Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.
- Arseven, M. (2011). Polikristalin bakır folyo üzerinde grafen sentezi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Asadi, A., & Kalaitzidou, K. (2018). Process-structure-property relationship in polymer nanocomposites. In *Experimental Characterization, Predictive Mechanical and Thermal Modeling of Nanostructures and Their Polymer Composites* (pp. 25-100).
- Bal, H. (2009). Thermal and mechanical properties of continuous fiber reinforced thermoplastics. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- Balasubramanian, M. (2013). Composite materials and processing. (1. Bs.), 648 s., eBook ISBN: 9780429066467. CRC press.
- Baptista, R., Mendão, A., Rodrigues, F., Figueiredo-Pina, C. G., Guedes, M., & Marat-Mendes, R. (2016). Effect of high graphite filler contents on the mechanical and tribological failure behavior of epoxy matrix composites. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 85, 113-124.
- Barham, P. J. (1986). Strong polymer fibres. *Physics in Technology*, 17(4), 167.
- Bayat, D. (2010). Grafen tabanlı nano yapılarda safsızlık etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Bayraktar, Ö. (2016). Ön gerilimli karbon elyaf takviyeli kompozit üretimi için sistem tasarımı, imalatı ve kompozit malzeme üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Baysal, B. (1994). Polimer Kimyası, ODTÜ Basım İşliği, Ankara.
- Bedeloğlu, A., & Taş, M. (2016). Grafen ve grafen üretim yöntemleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 16, 544-554.
- Benli, B. (2009). Nanoteknoloji ve antik çağlara uzanan killi nanoyapılar. *Journal of Clay Science and Technology*, 3, 143-162.
- Beşergil, B. (2007). Hampetrolden Petrokimyasallara El Kitabı. (1. Bs). 780 s. Gazi Kitapevi, Ankara.
- Beşergil, B. (2008). Polimer Kimyası. (1. Bs). 490 s. Gazi Kitapevi, Ankara.
- Beşergil, B., (2016). <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/fulleren-fullerene.html> Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28(3), 325-347.
- Bilsen Beşergil, B. (2016). Kompozitler Temel İlkeler Test Metotları. ISBN: 9786053443919, (1. Bs), 728 s. Gazi Kitapevi, Ankara.

- Biron, M. (2013). *Thermosets and Composites: Material Selection, Applications, Manufacturing and Cost Analysis*. Elsevier.
- Bora, P. J., Azeem, I., Vinoy, K. J., Ramamurthy, P. C., & Madras, G. (2018). Morphology Controllable Microwave Absorption Property of Polyvinylbutyral (PVB)-MnO₂ Nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 132, 188-196.
- Bora, P. J., Lakhani, G., Ramamurthy, P. C., & Madras, G. (2016). Outstanding electromagnetic interference shielding effectiveness of polyvinylbutyral–polyaniline nanocomposite film. *RSC Advances*, 6(82), 79058-79065.
- Brugo, T., Minak, G., Zucchelli, A., Yan, X. T., Belcari, J., Saghafi, H., & Palazzetti, R. (2017). Study on Mode I fatigue behaviour of Nylon 6, 6 nanoreinforced CFRP laminates. *Composite Structures*, 164, 51-57.
- Bulut, M. (2017). Mechanical characterization of Basalt/epoxy composite laminates containing graphene nanopellets. *Composites Part B: Engineering*, 122, 71-78.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2000). *Fundamentals of materials science and engineering* (Vol. 471660817). London, UK:: Wiley.
- Cam Elyaf Sanayii A.Ş.. (2004). CTP Teknolojisi. 15-47. Gebze, Kocaeli.
- Celep, Ş. (2007). *Nanoteknoloji ve tekstilde uygulama alanları*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Cesim Ataş, (2009). <http://tekstilteknik.blogspot.com/p/kompozit-uretim-yontemleri.html> Erişim tarihi: 23 Aralık 2018.
- Chehreh Chelgani, S., Rudolph, M., Kratzsch, R., Sandmann, D., & Gutzmer, J. (2016). A review of graphite beneficiation techniques. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 37(1), 58-68.
- Chen, M., Li, Y. F., & Besenbacher, F. (2014). Electrospun Nanofibers-Mediated On-Demand Drug Release. *Advanced healthcare materials*, 3(11), 1721-1732.
- Christy, A., Purohit, R., Rana, R. S., Singh, S. K., & Rana, S. (2017). Development and analysis of epoxy/nano SiO₂ polymer matrix composite fabricated by ultrasonic vibration assisted processing. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2748-2754.

- Çıracı, S., Özbay, E., Gülseren, O., Demir, H. V., Bayındır, M., Oral, A., ... & Dana, A. (2005). Türkiye’de Nanoteknoloji. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi.
- Cividanes, L. S., Simonetti, E. A., Moraes, M. B., Fernandes, F. W., & Thim, G. P. (2014). Influence of carbon nanotubes on epoxy resin cure reaction using different techniques: a comprehensive review. *Polymer Engineering & Science*, 54(11), 2461-2469.
- Cramariuc, B., Cramariuc, R., Scarlet, R., Manea, L. R., Lupu, I. G., & Cramariuc, O. (2013). Fiber diameter in electrospinning process. *Journal of Electrostatics*, 71(3), 189-198.
- Cuhadaroglu, A. D., & Kara, E. (2018). Grafit: Bir Genel Değerlendirme. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 8(1), 14-33.
- Dalton, P. D., Lleixà Calvet, J., Mourran, A., Klee, D., & Möller, M. (2006). Melt electrospinning of poly-(ethylene glycol-block- ϵ -caprolactone). *Biotechnology Journal: Healthcare Nutrition Technology*, 1(9), 998-1006.
- De Vrieze, S., Van Camp, T., Nelvig, A., Hagström, B., Westbroek, P., & De Clerck, K. (2009). The effect of temperature and humidity on electrospinning. *Journal of materials science*, 44(5), 1357.
- Demir, A., & Behery, H. M. (1997). Synthetic filament yarn: texturing technology (pp. 25-32). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Dinç, H. (2013). Polivinil borat sentezin; elektrospin yöntemiyle nanofiber hazırlanması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Dinlenç, B. (2009). PVC yer kaplamalarının değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Doğan, N., (2013). Karbon Nanotüplerin Isıl Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Doğan, Ö. H. (2014). Grafit Oksitin Elektrokimyasal İndirgenmesi ile Grafen ve Metal-Grafen Kompozit Sentezi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara.

- Dokuz Eylül Üniversitesi, (2019). http://web.deu.edu.tr/metalurjimalzeme/pdf/MMZ3015_MalzemekarakterizasyonuII/ftir.pdf Erişim tarihi: 24 Nisan 2019.
- Dostkimya, (2017). <https://www.dostkimya.com/tr/urunler/epoksi-sistemler/-epoksi-hexion-mgs-1160-sistemi> Erişim tarihi: 24 Nisan 2019.
- Drexler, K. E. (1992). Nanosystems. Molecular machinery, manufacturing and computation.
- Eichner, E., Heinrich, S., & Schneider, G. A. (2018). Influence of particle shape and size on mechanical properties in copper-polymer composites. Powder technology, 339, 39-45.
- Ekşi, O. (2007). Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Ersoy, M. S. (2002). Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Esentürk, İ. (2018). Elektroegirme Yöntemi İle Hazırlanan Nanoliflerin Deriye Uygulanan İlaç Taşıyıcı Sistemler Olarak Değerlendirilmeleri. Doktora Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Evcin, A. (2017). Nanolif Üretimi ve Uygulamaları.
- Faik KESER, (2016). <https://www.derstekstil.name.tr/component/jce/?view=popup&tmpl=component&img=images/kimyasalcekim/05kim.jpg&title> Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.
- Fan, W., Li, J. L., Zheng, Y. Y., Liu, T. J., Tian, X., & Sun, R. J. (2016). Influence of thermo-oxidative aging on the thermal conductivity of carbon fiber fabric reinforced epoxy composites. Polymer degradation and stability, 123, 162-169.
- Farsani, R. E., Raissi, S., Shokuhfar, A., & Sedghi, A. (2009). FT-IR study of stabilized PAN fibers for fabrication of carbon fibers. World Acad. Sci. Eng. Technol, 50, 430-433.
- Feynman, R.P. (1959) <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html> Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.

- George, G., & Anandhan, S. (2015). Comparison of structural, spectral and magnetic properties of NiO nanofibers obtained by sol–gel electrospinning from two different polymeric binders. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32, 40-48.
- Goswami, B. C., Martindale, J. G., & Scardino, F. L. (1977). *Textile yarns; Technology, structure, and applications*.
- Gündüz, T. (2005). *İnstrümental Analiz*. (9 Bs), ISBN: 975-7313-43-2. Gazi Kitapevi, Ankara.
- Gupta, P., Elkins, C., Long, T. E., & Wilkes, G. L. (2005). Electrospinning of linear homopolymers of poly (methyl methacrylate): exploring relationships between fiber formation, viscosity, molecular weight and concentration in a good solvent. *Polymer*, 46(13), 4799-4810.
- Hatiboglu, B. (2006). *Mechanical Properties of Individual Polymeric Micro and Nano Fibers using Atomic Force Microscopy (AFM)*.
- Hepburn, C. (2012). *Polyurethane elastomers*. Springer Science & Business Media.
- Hermanson, G. T. (2013). *Bioconjugate techniques*. (Third edition), Chapter 16 - Buckyballs, Fullerenes, and Carbon Nanotubes, Pages 741-755, Academic press.
- Herrero-Latorre, C., Álvarez-Méndez, J., Barciela-García, J., García-Martín, S., & Peña-Creciente, R. M. (2015). Characterization of carbon nanotubes and analytical methods for their determination in environmental and biological samples: A review. *Analytica chimica acta*, 853, 77-94.
- Heunis, T. D. J., & Dicks, L. M. T. (2010). Nanofibers offer alternative ways to the treatment of skin infections. *BioMed Research International*.
- Hierold, C., Jungen, A., Stampfer, C., & Helbling, T. (2007). Nano electromechanical sensors based on carbon nanotubes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 136(1), 51-61.
- Hoa, S. V. (2009). *Principles of the manufacturing of composite materials*. DEStech Publications, Inc.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *nature*, 354(6348), 56.

- Iijima, S., & Ichihashi, T. (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *nature*, 363(6430), 603.
- İlhan, R. (2018). Cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kai, D., Liow, S. S., & Loh, X. J. (2014). Biodegradable polymers for electrospinning: towards biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 45, 659-670.
- Karaduman, I. (2013). Grafen Yapıların Karbon Oksit Ortamında Elektriksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kaya, A. İ. (2017). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan Ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kestrel, (2000). <https://www.thingiverse.com/thing:3131427> Erişim tarihi: 29 Aralık 2018.
- Kiper, A.G. (2018). Elektrosinning yöntemi ile doğal selülozdan nanofiber elde edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Koç E., Demiryürek O., (2004). Sentetik Lif Üretim Esasları Ve Tekstilde Ekstrüzyon İşlemi. *Tekstil Teknoloji*, 9, 100-118.
- Koski, A., Yim, K., & Shivkumar, S. (2004). Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning. *Materials Letters*, 58(3-4), 493-497.
- KosseKompozit, (2017). <http://www.kossecomposite.com/sistemkurma.html> Erişim tarihi: 23 Aralık 2018.
- Kozanoğlu, G. S. (2006). Elektrosinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kuchibhatla, S. V., Karakoti, A. S., Bera, D., & Seal, S. (2007). One dimensional nanostructured materials. *Progress in materials science*, 52(5), 699-913.

- Kuester, S., Demarquette, N. R., Ferreira Jr, J. C., Soares, B. G., & Barra, G. M. (2017). Hybrid nanocomposites of thermoplastic elastomer and carbon nanoadditives for electromagnetic shielding. *European Polymer Journal*, 88, 328-339.
- Kut, D., & Güneşoğlu, C. (2005). Nanoteknoloji ve tekstil sektöründeki uygulamaları. *Tekstil&Teknik Dergisi*, 224-230.
- Kwiecińska, B., & Petersen, H. I. (2004). Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification—ICCP system. *International Journal of Coal Geology*, 57(2), 99-116.
- Lauke, B. (2015). Effect of particle size distribution on fracture toughness of polymer composites considering plastic void growth after particle debonding. *Mechanics Research Communications*, 66, 1-6.
- Li, Z., & Wang, C. (2013). Effects of working parameters on electrospinning. In *One-dimensional nanostructures* (pp. 15-28). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Li, Z., Haigh, A., Soutis, C., & Gibson, A. (2019). X-band microwave characterisation and analysis of carbon fibre-reinforced polymer composites. *Composite Structures*, 208, 224-232.
- Liew, K. M., Wong, C. H., & Tan, M. J. (2005). Buckling properties of carbon nanotube bundles. *Applied Physics Letters*, 87(4), 041901.
- Liu, W. W., Chai, S. P., Mohamed, A. R., & Hashim, U. (2014). Synthesis and characterization of graphene and carbon nanotubes: a review on the past and recent developments. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1171-1185.
- Liu, Y., Yin, J., Liu, X., Zhao, X., Chen, M., Li, J., Zhao, H., Zhu, C., & Su, B. (2019). Fabrication of polymer composite films with carbon composite nanofibers doped MWNTs-OH for multilevel memory device application. *Composites Part B: Engineering*, 156, 252-258.
- Maleki, M., Latifi, M., Amani-Tehran, M., & Mathur, S. (2013). Electrospun core-shell nanofibers for drug encapsulation and sustained release. *Polymer Engineering & Science*, 53(8), 1770-1779.

- Menceloğlu, Y. Z., & Menciloglu, Y. Z. (2008). Uluslararası rekabet stratejileri: nanoteknoloji ve Türkiye. Yayın No: TÜSİAD-T/2008-11/474.
- Meyers, M. A., Chawla, K. K. (2008). *Mechanical Behavior of Materials* 2e. United Kingdom: Cambridge university press, 765-775.
- Mirmohammadi, S. A., Sadjadi, S., & Bahri-Laleh, N. (2018). Electrical and Electromagnetic Properties of CNT/Polymer Composites. In *Carbon Nanotube-Reinforced Polymers* (pp. 233-258). Elsevier.
- Nakhowong, R. (2015). Fabrication and characterization of MnTiO₃ nanofibers by sol–gel assisted electrospinning. *Materials Letters*, 161, 468-470.
- Namsaeng, J., Punyodom, W., & Worajittiphon, P. (2019). Synergistic effect of welding electrospun fibers and MWCNT reinforcement on strength enhancement of PAN–PVC non-woven mats for water filtration. *Chemical Engineering Science*, 193, 230-242.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D. A., Zhang, Y., Dubonos, S. V., ... & Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *science*, 306(5696), 666-669.
- Pantano, A. (2018). Mechanical Properties of CNT/Polymer. In *Carbon Nanotube-Reinforced Polymers* (pp. 201-232). Elsevier.
- Papa, I., Ricciardi, M. R., Antonucci, V., Lopresto, V., & Langella, A. (2016). Impact performance of GFRP laminates with modified epoxy resin. *Procedia engineering*, 167, 160-167.
- Park, S., & Ruoff, R. S. (2009). Chemical methods for the production of graphenes. *Nature nanotechnology*, 4(4), 217.
- Peck, D., Kandachar, P., & Tempelman, E. (2015). Critical materials from a product design perspective. *Materials & Design* (1980-2015), 65, 147-159.
- Pelipenko, J., Kocbek, P., Govedarica, B., Rošic, R., Baumgartner, S., & Kristl, J. (2013). The topography of electrospun nanofibers and its impact on the growth and mobility of keratinocytes. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, 84(2), 401-411.

- Peters, S. T. (1998). Introduction, composite basics and road map. In Handbook of composites (pp. 1-20). Springer, Boston, MA.
- Petrokimyasallar. (2017) <http://www.polmetpetrokimya.com.tr/bilgi-bankasi/ana-petrokimyasallar-nelerdir> Erişim tarihi: 15 Kasım 2018.
- Pierson, H. O. (1999). Handbook of chemical vapor deposition: principles, technology and applications. William Andrew.
- Pillay, V., Dott, C., Choonara, Y. E., Tyagi, C., Tomar, L., Kumar, P., ... & Ndesendo, V. M. (2013). A review of the effect of processing variables on the fabrication of electrospun nanofibers for drug delivery applications. Journal of Nanomaterials.
- Poliya, (1999). <https://www.poliya.com/tr/fital-sarma> Erişim tarihi: 23 Aralık 2018.
- Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. Mechanics of Materials, 14(4), 269-281.
- Rangkupan, R. (2002). Electrospinning . Doktora Tezi, The Graduate Faculty Of The University Of Akron.
- Ratna, D. (2009). Handbook of Thermoset Resins; Smithers, Rapra. Technology: London, UK.
- Reina, A., Jia, X., Ho, J., Nezich, D., Son, H., Bulovic, V., ... & Kong*, J. (2009). Layer area, few-layer graphene films on arbitrary substrates by chemical vapor deposition. Nano letters, 9(8), 3087-3087.
- Rim, N. G., Shin, C. S., & Shin, H. (2013). Current approaches to electrospun nanofibers for tissue engineering. Biomedical materials, 8(1), 014102.
- Rošic, R., Pelipenko, J., Kocbek, P., Baumgartner, S., Bešter-Rogač, M., & Kristl, J. (2012). The role of rheology of polymer solutions in predicting nanofiber formation by electrospinning. European Polymer Journal, 48(8), 1374-1384.
- Sabancı, Ş. (2005). Fiber takviyeli polimer takviyeli kompozitlerin enjeksiyon yöntemiyle üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Saçak, M. (2005). Polimer Teknolojisi. 114-278, Gazi Kitabevi, Ankara.

- Saghafi, H., Brugo, T., Minak, G., & Zucchelli, A. (2015). Improvement the impact damage resistance of composite materials by interleaving Polycaprolactone nanofibers. *Engineering Solid Mechanics*, 3(1), 21-26.
- Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş. Gazi Yayınevi, Ankara.
- Saville, P. (2005). Review of radar absorbing materials (No. DRDC-TM-2005-003). Defence research and development atlantic dartmouth (Canada).
- Schwartz, M. M. (1984). Composite materials handbook. McGraw-Hill.
- Seeram, R., Teik-cheng, L., & Kazutoshi, F. (2005). An introduction to electrospinning and nanofibers. World scientific.
- Shin, Y. M., Hohman, M. M., Brenner, M. P., & Rutledge, G. C. (2001). Experimental characterization of electrospinning: the electrically forced jet and instabilities. *Polymer*, 42(25), 09955-09967.
- Şimşek, M. (2018). Elektroeğirme Yöntemi ile Fibröz Doku İskelelerinin Üretimi. *Izmir Democracy University Natural and Applied Sciences Journal*, 1(1), 31-38.
- Singh, S. K., Singh, S., Kumar, A., & Jain, A. (2017). Thermo-mechanical behavior of TiO₂ dispersed epoxy composites. *Engineering Fracture Mechanics*, 184, 241-248.
- Strong, A. B. (2014). Understanding Epoxies. Ders Notu, Brigham Young University.
- Tepe, A. (2007). Nanoteknolojide nano ölçekteki yapıların yerel olmayan elastisite çerçevesinde incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tiyek, İ., Yazıcı, M., Alma, M. H., Dönmez, U., Yıldırım, B., Uruş, T. S. S., ... & Karteri, İ. (2016). Nanolif Yapılı Poli (Akrilonitril-Vinil Asetat)/Grafen Oksit Yapıların Karakterizasyonu. *Cilt: 23*, 102.
- Umeco. (2012). Introduction to Advanced Composites and Prepreg Technology, 2-14.
- Üstün, A. (2011). Hava filtrasyonu için nanolif üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

- Üstündağ, G.Ç. (2009). Elektrosponing yöntemi ile biyomedikal kullanıma yönelik nanolif yüzey üretimi ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Uygur, G. (2010). Grafen benzeri tabaka eldesi için sıvı fazda grafit ayrıştırması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Uysal, S. (2012a). Kritik Hammaddeler: Grafit. Madencilik.
- Weyer, S., Merzlyakov, M., & Schick, C. (2001). Application of an extended Tool–Narayanaswamy–Moynihan model: Part 1. Description of vitrification and complex heat capacity measured by temperature-modulated DSC. *Thermochimica Acta*, 377(1-2), 85-96.
- Wikipedia, (2018). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon> Erişim tarihi: 23 Ocak 2019.
- Xin, H., Liu, Y., Mosallam, A., Zhang, Y., & Wang, C. (2016). Hygrothermal aging effects on flexural behavior of pultruded glass fiber reinforced polymer laminates in bridge applications. *Construction and Building Materials*, 127, 237-247.
- Yang, G., Yan, W., Wang, J., & Yang, H. (2014). Fabrication and characterization of CoTiO₃ nanofibers by sol–gel assisted electrospinning. *Materials Letters*, 122, 117-120.
- Yaşar, H. (2001). Plastikler Dünyası. Yayın No: 142/2. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 6-33.
- Yavuz, Ç. (2017). Grafen/Karbon nanotüp takviyeli sol - jel zno kompozit malzemesinin üretimi, elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Yesgat, A. L., & Kitey, R. (2016). Effect of filler geometry on fracture mechanisms in glass particle filled epoxy composites. *Engineering Fracture Mechanics*, 160, 22-41.
- Yetim, A. (2011). Karbon nano tüpler. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Yılmaz, M. (2003). Fullerenlerin yapısına Si ve Ge katkılanması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

- Yöney, H. (2007). El yatırma yöntemi ile elyaf takviyeli kompozit yapıların üretilmesi ve özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Yurtseven, R. (2014). Uçucu kül içeren poliüretan esaslı kompozit malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Zarei, H., Brugo, T., Belcari, J., Bisadi, H., Minak, G., & Zucchelli, A. (2017). Low velocity impact damage assessment of GLARE fiber-metal laminates interleaved by Nylon 6, 6 nanofiber mats. *Composite Structures*, 167, 123-131.
- Zhang, L., Deng, H., Jing, Y., Tao, L., & Fu, Q. (2018). An effective compatibilizer for tin fluorophosphate glass/polymer composites obtained from “one pot” KF-RAFT polymerization. *Composites Science and Technology*, 168, 336-345.
- Zhao, H., Guo, Y. (2014). Composites. Bachelor's thesis, Textile and Chemical Engineering, Tampere University of Applied Sciences, Finland.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZKAN, Vildan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.01.1985, Kars
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (326) 613 56 00 - 2710
 e-mail : vildan.ozkan@iste.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2019
Yüksek lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi / Kimya	2013
Lisans	Selçuk Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2008
Lise	Bursa Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	İskenderun Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2015	Mustafa Kemal Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Özkan V., Yapıcı A., Karaaslan M., Akgöl O. (2019). Investigation of Electromagnetic Characteristics of MWCNTs/Graphene Doped Epoxy Layered with PVC

- Nanofiber/E-glass Compozites. Bulletin of Materials Science. (Hakemlerde).
- Özkan V., Yapici A., Karaaslan M., Akgöl O. (2019). Investigation of Electromagnetic Properties Of Glass-Fiber Reinforced Epoxy Composites Containing Pan Nanofibers With Mwcnt/Graphene Additive. Fresenius Environmental Bulletin (Yayın No: 4827003)
- Özkan V., Aydın Z., Özkan A. (2018). Comparison of Hydrothermal Method and Ultrasonic Method in Zeolite Synthesis and Investigation of Catalytic Activities of Synthesized Zeolites. Natural and Engineering Sciences an International Journey (Yayın No: 4290626)
- Medetalibeyoğlu H., Manap S., Aktaş Y. Ö., Beytur M., Kardaş F., Akyıldırım O., Özkan V., Yüksek H., Yola M.L., Atar N. (2018). Fabrication of Pt/Pd Nanoparticles/Polyoxometalate/Ionic Liquid Nanohybrid for Electrocatalytic Oxidation of Methanol. Journal of The Electrochemical Society, 165(5), 338-341., Doi: 10.1149/2.1041805jes (Yayın No: 4263082)
- Özkan A., Özkan V., Sungur Ş., Birses H. (2017). Heavy Metal Pollution Around International Hatay Airport. Natural and Engineering Sciences an International Journal, 2(1), 18-24. (Yayın No: 3939192)
- Yapici A., Özkan V., Yıldız M., Erdal M.O., Gemi L., Yazman Ş. (2016). The Effect of Nylon 6.6 Nanofiber Layers on Mechanical Properties of Epoxy. International Journal of Engineering and Science (Yayın No: 3618686)
- Okur S., Kuş M., Özel F., Aybek V., Yılmaz M. (2010). Humidity Adsorption Kinetics of Calix 4 arene derivatives measured using QCM. TALANTA, 145(1), 93-97. (Yayın No: 616821)

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler

- Özkan A., Kaplan M.B., Özkan V., Eker Ç., Turan S.E. (2017). Rheological Properties of Ulexite Added Drilling Fluids. International Conference on Engineering Technologies, 85 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3939652)
- Özkan A., Kaplan M.B., Özkan V. (2017). Investigation of The Effect of Borax on The Rheological and Chemical Properties of Drilling Mud. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17), 108-108. (Özet Bildiri/Sözlü

Sunum)(Yayın No:3772523)

Özkan A., Sungur Ş., Özkan V. (2017). A Relationship Between Physico-Chemical Properties of the Soil and Selenium Speciation. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3734805)

Özkan A., Sungur Ş., Özkan V. (2017). Productivity Parameters of Agricultural Lands of Hatay Province. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3499128)

Özkan A., Özkan V., Turan S.E., Kaplan M.B. (2017). Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3455811)

Özkan V., Yildiz M., Yapici A. (2017). The Reinforcing Effect Of Nylon 6,6 Nanofibrous Mats On Gfrp Modified With Nanoparticles Subjected To Low Velocity Impact. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3563109)

Özkan A., Özkan V., Sungur Ş. (2017). Productivity Parameters of Agricultural Lands of Hatay Province. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3734830)

Özkan V., Aydın Z., Özkan A., Sungur Ş. (2017). Synthesis and Characterization of Zeolite ZSM-5 and Its Derivatives. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3734873)

Özkan A., Sungur Ş., Özkan V. (2017). A Relationship Between Physico-Chemical Properties of The Soil and Selenium Speciation. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE) (Özet Bildiri/Sözlü

Sunum)(Yayın No:3499116)

Yildiz M., Özkan V., Yapici A., Sinan Ş.Ö. (2017). An investigation on the Low Velocity Impact damage of GFRP composite materials interleaved with Nylon 6,6 nanofiber mats. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3473027)

Özkan A., Kaplan M.B., Özkan V., Turan S.E. (2017). Effect of Nano Zeolite Addition in Drilling Fluid. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3455439)

Yapici A., Özkan V., Yildiz M., Erdal M.O., Gemi L., Yazman Ş. (2016). The Nylon 6.6 Nanofiber Layers' Effect on Mechanical Properties of Epoxy. 12th Nanoscience and Nanotechnology Conference (NanoTR-12) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3618677)

Özkan A., Sungur Ş., Özkan V., Birses H. (2016). Determination of Heavy Metal Concentrations in Agricultural Lands of Amik Plain with MP-AES. International Conference on Natural Science and Engineering, (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:3618690)

Ustabaş S., Aybek V., Özkan A., Demirel M., Aydın Z. (2013). Determination of Catechin In Differently Brewed Tea. 6th on Analytical Chemistry Black Sea Basin Conference (/)(Yayın No:623410)

Özkan V., Ustabaş S., Özkan A., Demirel M., Aydın Z. (2013). The Effects Of Various Drying Conditions and Total Phenolic Content of Apple Slices. 6th on Analytical Chemistry Black Sea Basin Conference (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:623629)

Aybek V., Aydın Z. (2012). Catalytic Cracking Of Waste Oils By Using Catalysts. 6th International Ege Energy Symposium & Exhibition (/)(Yayın No:619520)

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Özkan A., Kaplan M.B., Özkan V., Turan S.E. (2018). Effect of Micro-Sized Colemanite on the Rheological Properties of the Water Based Drilling Fluid. Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 33(4), 83-88. (Kontrol No: 4650548)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Özkan V., Özkan A. (2015). Antakya - Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinin Ağır Metal Kirliliği Yönünde İncelenmesi. Hatay Çevre Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:3618661)

Özkan A., Özkan V. (2015). Hatay Havaalanı Çevresindeki Tarım Arazilerinin Ağır Metal Kirliliği Yönünden İncelenmesi. Hatay Çevre Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:3618667)

Aydın Z., Aybek V., Mukannasgil S., Ustabas S. (2012). Farklı Katalizörler Kullanılarak Atık Yağların Katalitik Krakingi. 6. Ulusal Analitik Kimya Kongresi (/)(Yayın No:622910)

Hobiler

Seyahat etmek, Kitap okumak, Yürüyüş yapmak, Sinemaya gitmek.

DİZİN

A

absorpsiyon · xi, xv, 88, 141, 145,
149, 156, 157
ASTM D638 · xxii, 73, 74, 77, 86,
115

Ç

ÇDKNT · xi, xv, xxii, xxiii, xxiv, xxv,
xxvi, xvi, xvii, 18, 19, 20, 76,
78, 89, 91, 92, 95, 98, 99, 103,
104, 106, 107, 108, 109, 111,
116, 117, 119, 121, 124, 125,
127, 129, 131, 132, 134, 135,
136, 137, 138, 139, 140, 144,
145, 147, 148, 149, 150, 151,
152, 153, 154, 155, 156, 157,
158
çekme · xi, xvi, xvii, 28, 33, 50,
58, 59, 61, 62, 63, 71, 73, 78,
86, 115, 120, 121, 123, 124,
125, 126, 127, 151, 153, 154

D

darbe · xi, xv, xvii, xv, 1, 49, 62,
63, 78, 83, 84, 86, 100, 101,
107, 151, 152, 157
Dimetil Formamid · xv, 67
DSC · xi, xii, xvi, xvii, xxiv, 127,
128, 129, 130, 131, 151, 154,
170

E

elektrospın · xi, xv, 29, 34, 37, 38,
62, 64, 74, 75, 89, 115, 151,
154, 157, 162
Elektrospın · xx, 33, 34, 35, 38,
39, 75, 115, 157
elle yatırma yöntemi · xi, 54, 77,
120, 151
Elle yatırma yöntemi · xxi, 51, 52,
53
Epoksi · 46, 48, 72, 80, 82

F

Fiber · xv, xvi, 43, 44, 89, 115,
151, 159, 162, 168
frekans · 142, 145, 150, 156, 157
FT-IR · xi, xii, 60, 155, 156, 163

G

Grafen · xiv, xv, xix, xxii, xxiii,
xxiv, xxv, xvii, 13, 15, 16, 17,
78, 92, 96, 99, 103, 104, 107,
110, 116, 118, 119, 123, 125,
126, 129, 130, 132, 133, 135,
137, 139, 148, 149, 151, 156,
157, 160, 162, 164, 169, 170
grafit · xix, 12, 13, 14, 15, 16, 21,
61, 169

K

karbon nanotüp · xix, 2, 13, 17,
18, 64

kompozit · xi, 1, 2, 9, 20, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 45, 50, 52, 54,
57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65,
70, 77, 78, 79, 83, 86, 87, 100,
101, 102, 103, 104, 106, 107,
111, 115, 120, 121, 127, 128,
132, 134, 135, 136, 137, 138,
139, 140, 141, 144, 145, 148,
149, 150, 151, 152, 153, 154,
155, 156, 157, 158

köpek kemiği · xv, 73, 77, 120

N

Nano teknoloji · 2
nanofiber · xi, xii, xx, xv, xvi, 29,
30, 31, 33, 37, 60, 62, 65, 74,
75, 76, 77, 90, 91, 162, 165,
168, 171
nanopartikül · xi, xvii, xviii, 63,
144, 145, 149, 154, 155, 156

P

PAN · xi, xii, xv, xxii, xxiii, xxiv,
xxv, xv, xvi, xvii, 9, 70, 71, 76,
78, 80, 81, 82, 89, 90, 91, 92,
93, 97, 101, 102, 103, 104,
106, 108, 111, 115, 116, 119,
120, 121, 123, 124, 130, 131,
132, 133, 134, 138, 139, 140,
143, 144, 145, 148, 150, 151,
152, 153, 154, 155, 156, 157,
163, 166
petrol · 2, 4, 15, 65
Polimer · xiv, 1, 2, 3, 23, 29, 33,
36, 44, 102, 103, 104, 106,

107, 109, 110, 115, 120, 121,
122, 128, 129, 130, 131, 154
polivinilklorür · xi, 2, 5, 9, 65
PVC · xi, xii, xv, xvii, xxi, xxii, xxiii,
xxiv, xxv, xxvi, xv, xvi, xvii, 9,
50, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 76,
78, 80, 82, 89, 93, 94, 95, 96,
97, 101, 102, 103, 105, 106,
108, 117, 118, 121, 124, 125,
128, 130, 131, 132, 134, 135,
136, 138, 140, 145, 146, 147,
148, 150, 151, 152, 153, 154,
155, 156, 157, 162, 167

R

Radar · xi, xii, xv, xvi, xv, 87, 88,
141, 158

S

SEM · xi, xii, xv, xvi, xx, xv, xvi,
xvii, 7, 37, 60, 89, 90, 91, 92,
93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 123,
124, 125, 126, 127, 151

T

Tetrahidrofuran · xxi, xv, 66, 67,
70
TGA · xi, xii, xvi, xvii, 132, 135,
136, 137, 138, 151, 155
TPU · xi, xii, xv, xviii, xxii, xxiii,
xxiv, xxv, xxvi, xv, xvi, xvii, 68,
69, 70, 71, 76, 77, 78, 81, 82,
83, 89, 97, 98, 99, 100, 101,
102, 103, 105, 106, 109, 111,
118, 119, 121, 126, 127, 129,
130, 131, 132, 136, 137, 138,
140, 147, 148, 149, 150, 151,
152, 153, 154, 155, 156, 157



TEKNOVERSİTE



teknoversite AYRICALIĞINDASINIZ

İSTE

