

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

MALZEME BİLİMİ VE NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ XPS VE EPS KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Damla KARAAĞAÇ

**ARALIK 2019
UŞAK**

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

MALZEME BİLİMİ VE NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ XPS VE EPS KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Damla KARAAĞAÇ

UŞAK 2019

Damla KARAAĞAÇ tarafından hazırlanan “Nanopartikül Takviyeli XPS ve EPS Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

Tez Danışmanı, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Lokman YÜNLÜ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özer PAMUK

Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih:...../...../.....

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Damla KARAAĞAÇ

NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ XPS VE EPS KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Damla KARAAĞAÇ

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Günümüzde nanopartikül takviyeli kompozitlerin endüstriyel kullanımı giderek artmaktadır. Kompozitlerin kullanıldığı alanlardan biri de yalıtım malzemeleridir. Eklenen farklı takviyelerle bu malzemelerin özellikleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada farklı ağırlık oranlarında eklenen karbonnanotüp ve grafen takviyeleri ile polistirenden kompozitler üretilmiştir. Saf polistirene % 0,1, 0,2 ve 0,3 oranlarında nano takviyeler eklenmiş ve plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle malzemeler üretilmiştir. Malzemelerin üretim aşamasında kristal polistirenler eritilip nano takviyelerle birleştirilip kalıplara dökülerek üretilmiş ve sağlanmıştır. Birleştirme esnasında malzemelerin homojen dağılımı için enjeksiyon cihazında 80 Rpm hızında 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Üretilen malzemeler plaka şeklinde ve 50×130 boyutlarındadır. Daha sonra kompozit malzemelere mikroyapı karakterizasyonu için SEM analizi, FTIR ve AFM, mekanik ve ısı özelliklerinin belirlenmesi için çekme ve TGA analizi yapılmıştır. Malzemelerin molekül yapıları incelendiğinde ise iki takviye malzemesinin de saf polistirenin mikroyapısında herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Çekme testlerinde grafen katkılı kompozitler malzemenin yüzde uzamasını ortalama %1,3 arttırmıştır. Kopma dayanımında ise saf polistirenin maksimum kopma dayanımı değerini karbonnanotüp katkılı malzemeler

yaklaşık %50 oranında düşürmüştür. Yani malzeme sertleşmiştir. Polistiren matris içerisine takviye edilen grafen partikülleri tane sınırları boyunca gerilme yığılmasına neden olduğundan, saf polistirene göre maksimum kopma dayanımı değerinde yaklaşık %30 oranında azalmaya neden olmuştur. Sonuç olarak; yapılan üretim ve deneyler sonucunda, grafen katkılı kompozitler karbonnanotüp katkılı kompozitlere göre malzeme özelliklerinde daha belirgin iyileşmeler sağlamıştır.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : nanokompozit, karbonnanotüp, grafen, plastik enjeksiyon

Sayfa Adedi : 71

Tez Yöneticisi : Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

**PRODUCTION AND MECHANICAL PROPERTIES OF NANOPARTICLES
REINFORCED XPS AND EPS COMPOSITES**

(M.Sc. Thesis)

Damla KARAAĞAÇ

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED OF SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Nowadays, the industrial use of nanoparticle-reinforced composites is steadily increasing. One of the areas where composites are used is insulation materials. The properties of these materials are improved with different supplements added. In this study, polystyrene composites were produced with added carbonnanotube and graphene additives at different weight ratios. Nano reinforcements were added to pure polystyrene in 0,1%, 0,2% and 0,3% and plastic injection materials were produced. During the production phase of the materials, Crystal polystyrenes are melted and combined with nano reinforcements and poured into moulds. During the merge, a homogeneous distribution of the materials for 80 At Rpm it has been stirred up for 10 minutes. The materials produced are plate-shaped 50×130 mm in size. SEM analysis for microstructure characterization of composite materials, FTIR and AFM, tensile and TGA analysis for determination of mechanical and thermal properties were performed. When the molecular structures of the materials were examined, it was observed that both reinforcing materials did not cause any change in the microstructure of pure polystyrene. In tensile tests, graphene-doped composites increased the percent elongation of the material by an average of 1,3 %. In break strength, the maximum break strength value of pure polystyrene was reduced by about 50 % by carbonnanotube doped materials. So the material is hardened. Since graphene particles reinforced into the polystyrene Matrix caused stress build-up along the grain boundaries, it resulted in a reduction in the maximum break strength value relative to pure polystyrene by

about 30 %. Consequently, as a result of production and experiments, graphene-doped composites achieved more significant improvements in material properties than carbonnanotube-doped composites.

Science Code :

Key Words : nanocomposite, carbonnanotube, graphene, plastic injection

Page Number : 71

Adviser : Assist. Prof. Dr. Kadir GÜNDOĞAN



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması sırasında maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen eşime ve aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 POLİMERLER	2
1.1.1. Polimerlerin Gruplandırılması	4
1.1.1.1. Polimerlerin Kimyasal Yapılarına Göre Gruplandırılması	4
1.1.1.1.1. Organik Polimerler	4
1.1.1.1.2. İnorganik Polimerler	4
1.1.1.2. Polimerlerin Bileşiklerin Kaynağına Göre Gruplandırılması	5
1.1.1.2.1. Doğal Polimerler	5
1.1.1.2.2. Sentetik Polimerler	5
1.1.1.2.3. Yarı Sentetik Polimerler	6
1.1.1.3. Polimerlerin Zincir Şekline Göre Gruplandırılması	7
1.1.1.3.1. Düz Zincirli Polimerler	7
1.1.1.3.2. Dallanmış Polimerler	7
1.1.1.3.3. Çapraz Bağlı Polimerler	8
1.1.2. Polistiren	8
1.1.2.1. Polistiren Sentezi	10
1.1.2.2. Polistiren Özellikleri	11
1.2 POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER	12
1.2.1. Termoset Matrisler	13
1.2.1.1. Epoksi Reçine Matrisler	13
1.2.1.2. Polyester Matrisler	14
1.2.1.3. Vinylester Reçine Matrisler	15

1.2.2 Termoplastik Matrisler	15
1.2.2.1. Termoplastik Üretim Yöntemleri.....	16
1.2.2.1.1 Enjeksiyon Yöntemi	16
1.3 TAKVIYE PARTİKÜLLER	18
1.3.1 Grafen	18
1.3.1.1 Kullanım alanları	21
1.3.2 Karbon nanotüpler	21
1.3.2.1 Nanotüplerin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri.....	22
1.3.2.1.1 Yapısal Özellikler.....	22
1.3.2.1.2 Elektriksel Özellikler.....	22
1.3.2.1.3 Mekaniksel Özellikler	22
1.3.2.2 Karbon Nanotüplerin Çeşitleri.....	24
1.3.2.2.1 Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (SWCNT'ler).....	24
1.3.2.2.2 Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT'ler)	25
1.3.2.3 Karbon Nanotüplerin Özellikleri	26
1.3.2.4 Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları.....	27
1.4 LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	28
2. MATERYAL VE METOT	32
2.1. Materyal.....	32
2.1.1. Kullanılan Malzemeler.....	32
2.1.2. Deneysel Malzemeler.....	32
2.2. Deneysel Çalışmalar	34
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
3.1. SEM Analizi	35
3.2. AFM Analizi.....	40
3.3. FTIR Analizi	44
3.4. TGA Analizi	49
3.5. Çekme Testi	55
3.6. Sertlik Deneyi	59
4. GENEL SONUÇLAR.....	61
5. KAYNAKÇA.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1 Kompozit malzemeler	1
Şekil 1.1 Polietilen ve polipropilen kimyasal formülü	4
Şekil 1.2 Sodyum silikat polimerinin kimyasal yapısı	4
Şekil 1.3 Polivinil klorür kimyasal yapısı (PVC)	6
Şekil 1.4 Politetrafloroetilen (Teflon) kimyasal yapısı	6
Şekil 1.5 Düz zincirli polimer yapısı	7
Şekil 1.6 Dallanmış zincirli polimer yapısı	7
Şekil 1.7 Çapraz bağlı polimer yapısı	8
Şekil 1.8 Polistiren sentezi	10
Şekil 1.9 Benzoil peroksitten radikal grup oluşumunun reaksiyon şematik gösterimi	11
Şekil 1.10 Plastik Enjeksiyon Cihazı	17
Şekil 1.11 Karbon Esaslı Malzemeler	19
Şekil 1.12 Grafenin bazı özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması	19
Şekil 2.13 2000-2014 Yılları arasında grafen konusu hakkında yapılmış toplam yayın sayısı	20
Şekil 1.14 SWCNT'lerin şematik yapıları: (a) Zikzak, (b) Koltuk ve (c) İki farklı kiralite veya sarmallık	25
Şekil 1.15 Çok duvarlı karbon nanotüp görseli	26
Şekil 3.1 Saf PS SEM görüntüsü	35
Şekil 3.2 % 0,1 Grafen takviyeli SEM görüntüsü	36
Şekil 3.3 % 0,2 Grafen takviyeli SEM görüntüsü	36
Şekil 3.4 %0,3 Grafen takviyeli SEM görüntüsü	37
Şekil 3.5 % 0,1 CNT takviyeli SEM görüntüsü	38
Şekil 3.6 % 0,2 CNT takviyeli SEM görüntüsü	38
Şekil 3.7 % 0,3 CNT takviyeli SEM görüntüsü	39
Şekil 3.8 Saf PS AFM görüntüsü	40
Şekil 3.9 %0,1 CNT takviyeli PS görüntüsü	40
Şekil 3.10 %0,2 CNT takviyeli PS görüntüsü	41
Şekil 3.11 %0,3 CNT takviyeli PS görüntüsü	41

Şekil 3.12	%0,1 Grafen takviyeli PS görüntüsü	42
Şekil 3.13	%0,2 Grafen takviyeli PS görüntüsü	42
Şekil 3.14	%0,3 Grafen takviyeli PS görüntüsü	43
Şekil 3.15	Saf Polistiren FTIR Analiz Sonucu	45
Şekil 3.16	% 0,1 Grafen takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	45
Şekil 3.17	% 0,2 Grafen takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	46
Şekil 3.18	% 0,3 Grafen takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	46
Şekil 3.19	% 0,1 CNT takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	47
Şekil 3.20	% 0,2 CNT takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	48
Şekil 3.21	% 0,3 CNT takviyeli nanokompozit FTIR Sonucu	48
Şekil 3.22	Saf polistiren TGA sonuçları.....	49
Şekil 3.23	%0,1 Grafen TGA sonuçları.....	50
Şekil 3.24	%0,2 Grafen TGA sonuçları.....	50
Şekil 3.25	% 0,3 Grafen TGA sonuçları.....	51
Şekil 3.26	% 0,1 CNT TGA sonuçları.....	52
Şekil 3.27	% 0,2 CNT TGA sonuçları.....	52
Şekil 3.28	%0,3 CNT TGA sonuçları.....	53
Şekil 3.29	% 0,1 Grafen takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	55
Şekil 3.30	% 0,1 CNT takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	55
Şekil 3.31	% 0,2 grafen katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları	56
Şekil 3.32	% 0,2 CNT takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	56
Şekil 3.33	% 0,3 grafen katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları	57
Şekil 3.34	% 0,3 CNT katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları	57
Şekil 3.35	Saf PS katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları.....	58

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1 Epoksi reçine matris özellikleri	14
Çizelge 1.2 Çeşitli termoplastiklerin camsı geçiş sıcaklık değerleri	16
Çizelge 1.3 CNT'lerin mekaniksel özellikleri ve bazı malzemelerle karşılaştırılması	23
Çizelge 1.4 Karbon nanotüp ve türevlerinin özellikleri	27
Çizelge 2.1 Kristalize PS fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	33
Çizelge 3.2 CNT fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	33
Çizelge 3.3 Grafen fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	33
Çizelge 3.1 Saf PS ve takviyeli kompozitlerin roughness değerleri	44
Çizelge 3.2 TGA bozunma sıcaklıkları	54

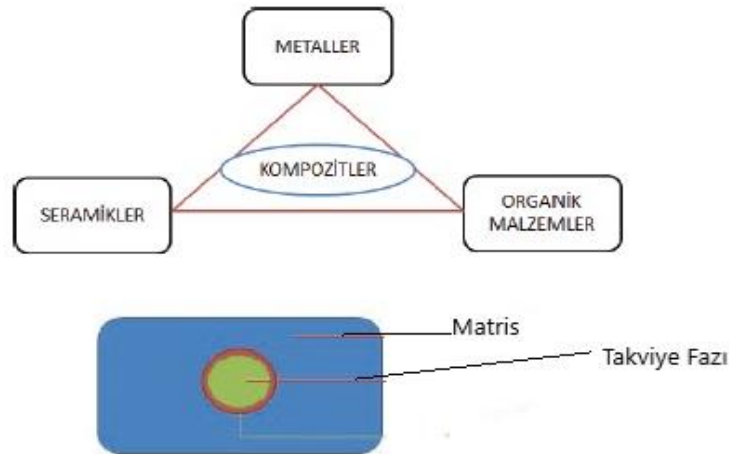
KISALTMALAR LİSTESİ

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

Kısaltmalar	Açıklama
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
AFM	Atomic Force Microscopy (Atomik Kuvvet Mikroskobu)
TGA	Thermogravimetric analysis (Termogravimetrik Analiz)
PS	Polistiren
CNT	Karbonnanotüp
SWCNT	Tek Duvarlı Karbonnanotüp
MWCNT	Çok Duvarlı Karbonnanotüp

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan endüstrileşme ve küreselleşmeye bağlı olarak, bilindik tekniklerle hazırlanan cihaz ve malzemelerden istenilen performanslar yetersiz gelmektedir. Dolayısı ile karlılığı yüksek, işlevsel ve performansı yüksek, teknolojik malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar son dönemde önemli hale gelmiştir. Son yıllarda endüstri alanında nanoteknolojinin sıkça kullanımı yeni malzeme üretimine olanak sağlamıştır. Kompozit malzemeler bunlardan biridir [1]. Kompozit malzemeler, uzun yıllardan beri mevcuttur. Mısırdaki M.Ö. 2700 lü yıllarda arkeologlar lamine tahta tabaka buldular. Ortadoğu'da eğilme dayanımını arttırmak amacıyla ok yayları üst üste konularak kompozit malzeme yapmışlardır. Bina yapımında çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç de bir kompozit malzemedir (Şekil 1.1) [2]. Modern kompozit malzemeler özellikle II. Dünya Savaşı sırasında başlamış ve askeri kullanım amaçları için geliştirilmiştir [3].



Şekil 1.1 Kompozit malzemeler [3]

Kompozit malzemeler endüstrinin birçok alanında uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle son 20 yıldan beri sivil ve askeri alanlarda kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Modern malzemelerin üretiminde cam, boron, karbon ve aramid elyaflar daha sonraları da silisyum karbür ve alüminyum oksit elyaflar kullanılmaya başlanmıştır [4].

Polimer Matris içerikleri modifiye matris reçineleri, termoplastikler, termosetlerden meydana gelmektedir. Temel taşıyıcı elemanlar olmasa da matrislerin de ciddi fonksiyonları vardır. Bunlar; elyafların istenen yön ve konumda olmasını sağlarken, matrislerden elyaflara elektrik iletir. Basınçtan kaynaklı çökmelere karşı yanal destek sağlayıp, malzemeyi olumsuz kimyasal etkilerden korur. Polimer matris malzemeleri termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılır. Termoset reçineler, polyester, epoksi, fenolik, poliimid, vinil esterdir. Termoplastik reçineler ise polieter keton, polisülfon, polieterimid, polietersülfiddir. Epoksi reçineler ısı ile birlikte sertleşerek yüksek performans gösteren polimer bir matristir. Sertleşme esnasında bir miktar büzüşme görülerek iç gerilim en aza iner ve avantaj oluşturur. Epoksi reçineler geniş kullanım alanlarına sahip olup otomotiv, havacılık, yapı endüstrisinde kullanılır. Yüksek mekanik özellik ve iyi yapışma mukavemeti özelliği gösterir. Adını bağlanmış iki karbon atomuna bağlı bir oksijen atomundan oluşmuş epoksit fonksiyonel grubundan almıştır. Termoset matrislerin özelliklerinde epoksi reçinenin yanında sertleştirici malzemenin miktarı ve türü de etkindir. Bu sistemde sertleşme hızını birkaç etken etki eder. Bunlar; sertleştirici malzemenin türü, yoğunluğu ve polimerizasyon kimyasıdır. Epoksi reçineler 5 °C ile 150 °C arasındaki sıcaklıklarda rahatlıkla kürleşir [5].

1.1. POLİMERLER

Gelişen teknoloji ile birlikte insanlar yeni malzemeler kullanmaya başlamış ve bunları Taş devri, Tunç devri gibi devirlere ayırmışlardır. 20. Yüzyılın sonuna doğru plastik çağı diğer bir deyişle polimer çağı yaygınlaşmıştır. Oysa DNA, proteinler gibi biyolojik polimerler insanların kökeninden gelmektedir. Uzun zincirli moleküllerin keşfedilmesi ile sentetik polimerler gelişmeye başlamıştır. Aslında 1920'lerde makromoleküllerin küçük moleküllerin kümeleşmesinden başka birsey olmasının anlaşılması ile kolloid teorisinin yerini polimerler almıştır. Son 20 yılda fiberler, plastikler, naylonlar ve elastomerler gibi sentetik polimerlerin türü hızlı bir şekilde gelişmiştir. 20. Yüzyılın kalanında yeni

polimerlerde ve uygulamalarda inanılmaz gelişmeler görüldü. Günümüzde sağlık sektörü, gıda ambalajları, uçak bileşenleri, kişisel bilgisayarlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Polimerlerin ön plana çıkmalarının en önemli özelliklerinden biride diğer malzemelere göre üstün fiziksel ve kimyasal özelliği olmasıdır. Polimerlerin çoğu karbon omurgasına dayanmakla birlikte, inorganik omurgalar (örn: silikonlar) malzeme özelliklerinin uyarlanmasına farklı bir boyut ekler [6].

Polimer - (en az beş) tekrarlanan kimyasal maddelerden oluşan büyük bir molekül ipteki boncuklar gibi bir araya gelmesi ile oluşur. Polimerler genellikle beş ve beşten fazla monomer içerirler. Polimerler DNA ve selüloz gibi doğal olabileceği gibi naylon ve polietilen gibide sentetik olabilir. Mevcut en önemli araştırma problemlerinin çoğu polimerleri içerir. Canlı organizmalar temel olarak polimerize edilmiş amino asitlerden (proteinler) nükleik asitlerden (RNA ve DNA) ve diğer biyopolimerlerden oluşur [6].

Polimerler kolay şekil alabilen, düşük maliyetli, hafif, üstün mekanik özelliklere sahip ve korozyona karşı dirençli malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı polimerlerin makina, kimya, tıp, biyokimya gibi birçok alanda ve endüstriyel uygulamalarda önemleri büyüktür.

Polimerler uzun zamandan beri insanoğlunun yaşamında kullanılan malzemelerdir. Günümüzde de yine birçok alanda çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Bu alanlardan bazıları boru ve elektrik kabloları üretimi, araba ve uçakların yedek parça üretimidir. Ayrıca polimerik malzemeler, viskoelastik özelliğinden dolayı hem bir akışkan sıvı gibi akma hem de katı bir malzeme gibi rijit davranış göstermektedir [7].

Polimer malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde etkileyen parametrelerden biri polimerleşme derecesi ve molekül kütesidir [8].

Monomerler polimerleşme reaksiyonuna girmeden farklı fazdayken reaksiyon sonrası faz değiştirebilir. Örneğin; en basit yapıda sentetik polimer olan polietilenin monomeri olan etilen norma koşullar altında gaz halindeyken, polimerleşme reaksiyonu sonrası sıvı halde elde edilir. Polimerlerde molekül kütleleri arttıkça maddeler yapı olarak yumuşak ve mumsu olurken; sert, katı ve istenen özellikte polimerler elde edebilmek için polimerleşme derecelerinin yüksek seviyede olması gereklidir.

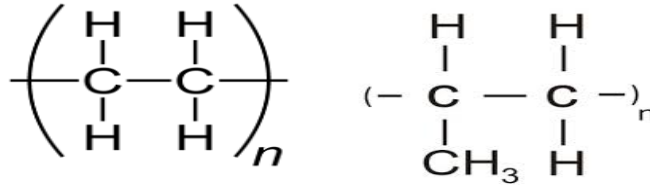
1.1.1. Polimerlerin Gruplandırılması

1.1.1.1. Polimerlerin Kimyasal Yapılarına Göre Gruplandırılması

Polimerler zincirlerini oluşturan atomların türüne göre organik ve inorganik polimer olarak ikiye ayrılır.

1.1.1.1.1. Organik Polimerler

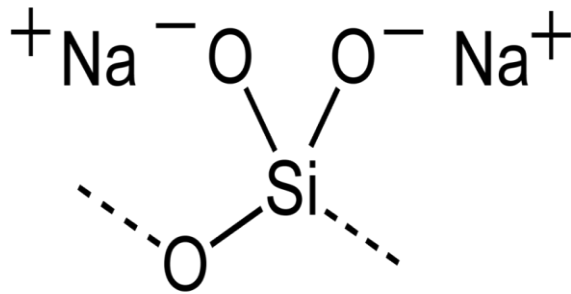
Polimerin yapısında hidrojen atomunun yanı sıra karbon da bulunur. Karbon atomu polimerin ana zincirini oluşturur. Hem doğal hem de sentetik polimerlerin birçoğu organik polimerlerden oluşmuştur. Polietilen, poliesterler, poliamidler, polipropilen, doğal kauçuk, proteinler, selüloz gibi polimerleri organik polimerlere örnek olarak verebiliriz. Şekil 2.1' de bazı organik polimerlerin kimyasal yapıları görülmektedir [9].



Şekil 1.2 Polietilen ve polipropilen kimyasal formülü [10]

1.1.1.1.2. İnorganik Polimerler

Polimerlerin birçoğunun ana zinciri karbon atomu olmasına rağmen inorganik polimerlerde karbon atomunun yerini silisyum, fosfor, sülfür gibi başka atomlar almıştır [11].



Şekil 1.3 Sodyum silikat polimerinin kimyasal yapısı [9]

1.1.1.2. Polimerlerin Bileşiklerin Kaynağına Göre Gruplandırılması

Polimerler bileşenlerinin kaynağına göre yarı sentetik, sentetik ve doğal olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

1.1.1.2.1. Doğal Polimerler

Doğada bulunan canlı varlıkların yapılarında da bulunan polimerlerdir. Bu polimerlerden de çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır.

Kauçuk: Eski çağlardan beri en çok kullanılan doğal polimerlerdir ve kauçuk ağacından elde edilir. Lateks denilen madde salgılar. Dolayısı ile kauçuk yapışkan bir malzemedir ve çok kullanışlı değildir. Kauçuk kükürtle ısıtılarak vulkanize yöntemiyle işlenir. Eklenen kükürt oranına göre farklı malzemeler elde edilir [12].

Proteinler: Proteinler olmadan hayat düşünülemez. Tüm canlı organizmaların yapısında bulunmaktadır. Doğal polimerler örnek olarak saç, tırnak, yün örnek olarak verilebilir. Canlı bünyesinde bulunan deoksiribonükleik asit (DNA) ve ribonükleik asit (RNA) da doğal polimerlere örnektir.

1.1.1.2.2. Sentetik Polimerler

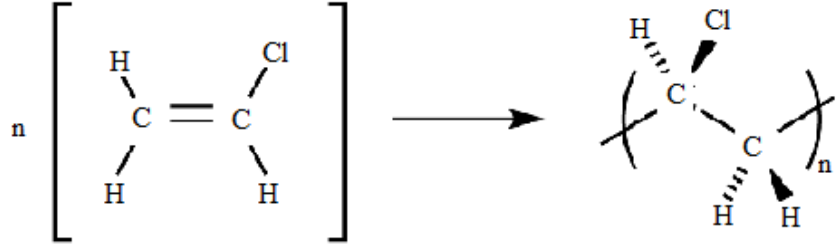
Günümüzde sıklıkla endüstride kullanılan polimerler sentetik polimerlerdir. Doğal hammadelerin birtakım fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilmesi ile elde edilir. Yeni özellikler sahip polimerler elde edilir. Genellikle endüstri alanında kullanılan polimerlerdir [13].

Polietilen: Etilen gazının sentezi ile elde edilir. En çok tercih edilen endüstriyel polimerdir. Etilen 1500-3500 atm. basınç altında 270 °C ye kadar ısıtıldığında yapısında bulunan pi bağları açılarak reaksiyona girer. Yüksek yoğunluklu polietilen araba yakıt depolarında ve boru imalatında kullanılır.

Düşük yoğunluklu polietilen ise esnek ve yumuşak bir yapıya sahiptir. Yiyecek paketleri, plastik oyuncak yapımı gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

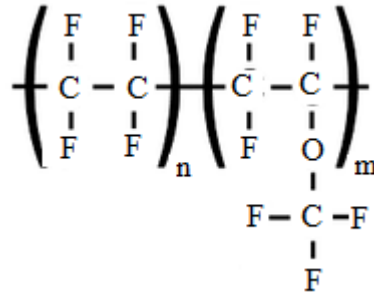
Polivinil klorür: : Etilen içeriğindeki hidrojen atomu ile Cl atomu ile yer değiştirmesi sonucu oluşur. Vinil klorürün polimerleşmesiyle polivinil klorür (PVC) oluşur.

PVC polimeri kimyasal direnci yüksek olan bir polimer türüdür. Dolayısı ile asidik ve bazik çözeltilerinden etkilenmez. PVC birçok iyi özelliğinden ötürü endüstriyel alanda yaygın kullanımı vardır.



Şekil 1.4 Polivinil klorür kimyasal yapısı (PVC) [14]

Politetrafloroetilen (Teflon): Etilen içeriğindeki hidrojen atomlarının yerini, Flor atomlarının alması ile tetrafloroetilen oluşur. Tetrafloroetilen polimerleşme reaksiyonuna girerek politetrafloroetileni oluşturur ve bir diğer ismi ile teflon olarak isimlendirilir. Teflon yapışmaz. Bu üstün özelliğinden dolayı tava ve tencerelerin yapımında kullanılır [14].



Şekil 1.5 Politetrafloroetilen (Teflon) kimyasal yapısı [14]

1.1.1.2.3. Yarı Sentetik Polimerler

Doğal polimerlerin yapısında gerçekleşen değişimler sonucu elde edilen polimerlere yarı-sentetik polimerler denir. Örneğin selüloz selülozun nitrolanmasıyla elde edilmiştir. Polimerler genellikle içlerine katkı maddesi katılarak son ürün haline getirilir [15].

1.1.1.3. Polimerlerin Zincir Şekline Göre Gruplandırılması

Birçok monomer molekülünün bir araya gelmesi gelmesi ile polimerler oluşur. Bunlar bir araya gelerek zincir oluştururlar. Polimer zincir şekillerine göre; düz, dallanmış ve çapraz bağlı olarak üçe ayrılır.

1.1.1.3.1. Düz Zincirli Polimerler

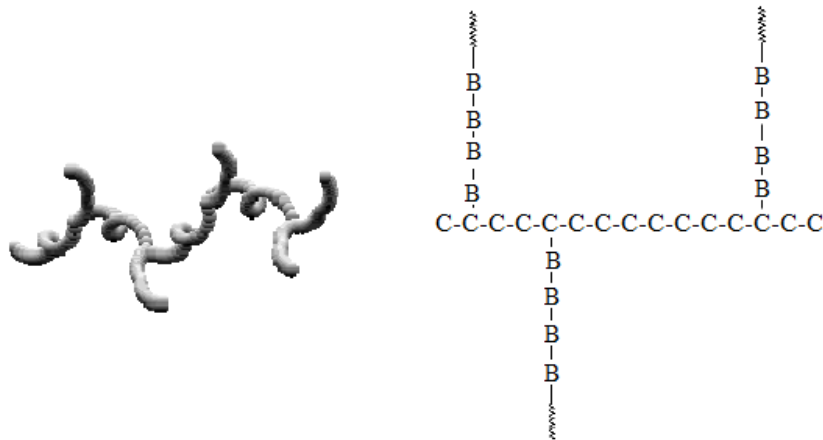
Tek bir zincir üzerine sıralanmış polimerlerdir. Ana zincirleri baş bir zincire bağlı değildir. Düz zincirli polimerler uygun çözücü içinde çözülür ve eritilip yeniden şekil verilebilir [16].



Şekil 1.6 Düz zincirli polimer yapısı [16].

1.1.1.3.2. Dallanmış Polimerler

Dallanmış zincirli polimerler yapısal olarak kendi kimyasal yapılarına benzer başka zincirlerin ana zincirlerine kovalent bağ ile bağlanmasıyla oluşur. Görünümü dal şekline benzer. Dal şeklindeki bu zincirler polimerizasyon sırasında birden fazla ikincil tepkimenin oluşması sonucu meydana gelir. Bu dalların uzunlukları reaksiyona göre değişerek aynı veya farklı olabilir [17].

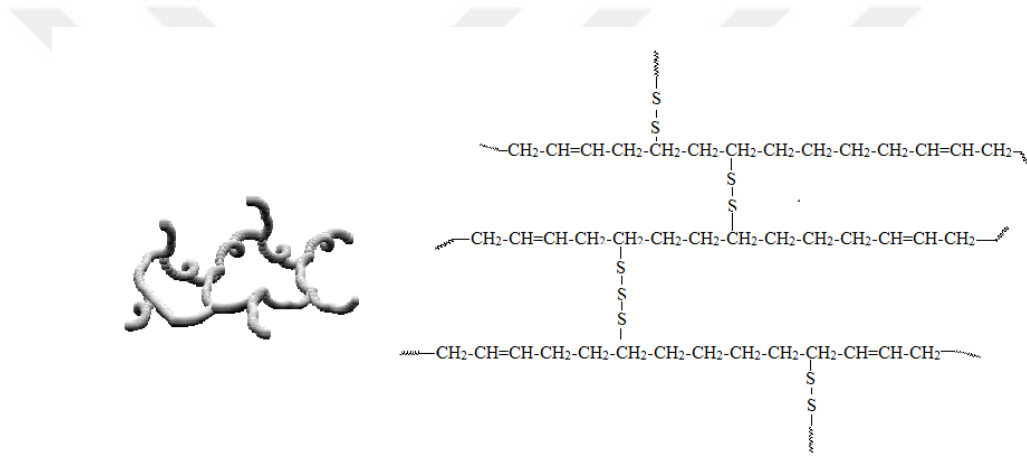


Şekil 1.7 Dallanmış zincirli polimer yapısı [17].

1.1.1.3.3. Çapraz Bağlı Polimerler

Çapraz bağlı polimer yapısında birden fazla ana zincir vardır ve bu zincirler birbirine bağlanmış şekildedir. Farklı uzunluklardaki zincir parçaları birbirine kovalent bağlar ile bağlıdır ve bu yüzden tek bir molekül gibi davranırlar.

Çapraz bağlı polimerler çözünmezler, ancak uygun çözücüler eşliğinde bir miktar şişerler. Şişme derecesi çapraz bağların yoğunluğuna bağlıdır. Çapraz bağlar arttıkça polimerin şişme miktarı azalır. Çapraz bağların fazla olduğu polimerler çözücüden hiçbir şekilde etkilenmez. Bu çapraz bağlardan dolayı polimer zincirleri hareketliliklerini kaybeder. Erime ya da akma zor olacağı için bu polimerlerin şekillendirilmesi güçtür.



Şekil 1.8 Çapraz bağlı polimer yapısı [8]

1.1.2. Polistiren

Polistiren (PS), 1839'da Eduard Simon tarafından keşfedilmiştir ve en eski ticari polimerlerden biri olarak bilinen bu polimer 1931'de BASF ve 1938'de Dow tarafından hazırlanır. Bazı özellikleri ilk olarak Staudinger tarafından analiz edilmiştir [18].

Polistiren Poliolefinler ve polivinil klorürden sonra, günümüzde en sık kullanılan termoplastik malzemedendir.

Polistiren homopolimeri (veya genel amaçlı polistiren) ucuz, amorf, aromatik, kristal berraklığında ve camsı polimerdir. İyi parlaklığa, sertlik ve işlenebilirliğe sahiptir.

Polistiren 75 °C civarında yumuşar ve 100 °C civarında sıvı hale gelir ve bu nedenle elde edilmesi kolaydır. Bununla birlikte, bazen kristalize polistiren adı verilen genel amaçlı PS, aynı zamanda oldukça kırılğan bir malzemedir. Düşük erime noktasına, zayıf kimyasal dirence, oksijene ve su buharına karşı zayıf bariyer özelliklerine, zayıf darbe direncine, zayıf çizilme direncine, düşük esnekliğe sahiptir. Yüksek performanslı ve mühendislik ürünlerindeki kullanımını önemli ölçüde sınırlayan elektrostatik birikim vb. bu da yüksek performans ve mühendislik ürünlerinde kullanımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Bahsedilen dezavantajların üstesinden gelmek için, polistiren değiştirilmiş ve bugün kopolimerleri ve harmanları en çok yönlü polimer malzemelerden biri haline gelmiştir. Örneğin, PS'nin yorulmaması, geliştirilmiş darbe dayanımı ve bariyer özellikleri gösteren, ancak şeffaflığı azaltan yüksek etkili polistiren (HIPS) geliştirilmiştir. Kauçuğun varlığı esneklik sağlar ve yumuşama noktasını düşürür. Bununla birlikte, stiren maleik anhidrit (SMA), geliştirilmiş termal performans, akrilonitril, stiren-akrilonitril (SAN) kopolimerleri ya da akrilonitril-butadien-stiren (ABS) ve akrilonitril-stiren-akrilat ile stiren kopolimerizasyonu ile (ASA) kopolimerleri elde edilmiştir ve kopolimerizasyon ile mükemmel kimyasal ve çizilme direnci ve gelişmiş gaz bariyeri özellikleri geliştirilmiştir. Stiren-akrilonitril kopolimerleri, bu PS ürünleri sınıfının en önemli temsilcisidir.

Ayrıca, metalosen polimerizasyon katalizör teknolojisinin kullanımı, geleneksel PS'den tamamen farklı özelliklere sahip olan yarı-kristalli-nikodiotaktik polistirenin (SPS) geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Sindiyotaktik PS, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama ile işlemlerinden geçirilebilecek yüksek erime noktasına 270 °C ve sonuç olarak yüksek ısı direncine ve ayrıca yüksek kristalleşmeye sahiptir. Ayrıca, geniş stiren polimer ailesi, hücresel bir mikroyapıya sahiptir. Köpük PS, dallanmış PS, hidrojen PS, süper PS (stiren-difeniletilen kopolimerler), etilen-stiren kopolimerleri, yönlendirilmiş polistiren levha, çekilmiş polistiren gibi çeşitleri vardır.

Oldukça ilginç performans profili nedeniyle, PS uzmanlık alanı ile ticari polimerler arasında sıralanabilir. PS ve PS ürünlerinin yüksek pazar pazarının temel faktörlerinden biri, birim ağırlık başına düşen düşük PS, mükemmel maliyet / performans oranı sayesinde daha pahalı polimerlerin yerini alma olasılığıdır.

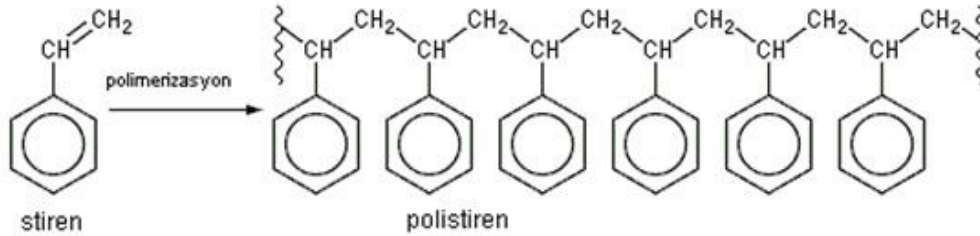
Oldukça ilginç performans profili nedeniyle, PS uzmanlık alanı ile ticari polimerler arasında sıralanabilir. r. PS pazarının 2016 yılına kadar 34 milyon olması bekleniyor [8].

Polistiren bina ve inşaat sektöründe % 70, ambalaj sektöründe % 25, elektronik, medikal malzeme gibi çeşitli sektörlerde % 5 lik pazar payına sahiptir. Şuanda bilim ve teknolojinin her alanında kullanılan nanokompozitlerin en önemli güçlerinden biri polistirendir. Nanoteknolojinin temel amacı nano boyut aralarında yeni ve oldukça iyi malzeme geliştirilmesidir. Polimer nanokompozitler parçacıkların doğal özelliklerini korurken, yüksek stabilite ve işlenebilirlik sağlar. Gelişen teknolojiye nanopatikülerle sağlanan iyileşmeleri geleneksel malzemelerle sağlamak mümkün değildir. Ek olarak, ortaya çıkan hibrit materyaller, polimer matrisindeki nano-boyutlu nesnelerin yerel düzenlemelerini veya organizasyonundan türetilen, her bir bileşenin özelliklerinden tamamen gözlenemeyen bazı orijinal özellikleri gösterebilir.

Bu nedenle bu malzemeler son zamanlarda araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür [19].

1.1.2.1. Polistiren Sentezi

Polistiren, Şekil 2.8' de gösterildiği gibi monomer-stiren polimerizasyonu ile üretilir.



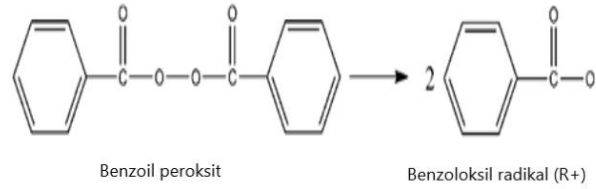
Şekil 1.9 Polistiren sentezi [20]

Genel amaçlı PS, düz bir polietilen zincirine yandan bağlanmış ve fenil grupları da olan bir zincir gibidir. Fenil gruplarının aynı tarafta olduğu polistirene izotaktik polistiren denir ve ticari olarak kullanılmaz. İzotaktik PS yaklaşık olarak 245 °C erime noktası olan yarı kristal polimeri olmasına rağmen enjeksiyon kalıplama yapmak için kristalizasyon oranı çok yavaştır.

Fenil gruplarının polimer zincirinin alternatif taraflarına yerleştirildiği SPS, izotaktik PS'inkinden daha hızlı kristalleşme oranına sahiptir. Hidrokarbon zincirinin her iki tarafına

farklı şekillerde dağılmış fenil grupları olan ve hiç kristallenmeyen PS ticari olarak çok önemlidir.

Stiriananın C-C çift bağı elektronlama veya elektron çekme merkezi olarak hareket ettiğinden, stirenin düşük polaritesi ve büyümekte olan polistiren türlerinin rezonans stabilizasyonu, PS'nin sentezi ve radikal serbest grupları, anyon ve katyon polimerizasyon yöntemi ile metal kullanılarak yapılabilir. Bir örnek olarak, benzoil peroksitleri başlatıcıyı kullanarak stirenin serbest radikal polimerizasyonunun mekanizması, Şekil 2.9'da sunulmaktadır. Polimerizasyonu başlatmak için peroksitler, redoks sistemleri ve azo bileşenleri kullanılabilir. Kimyasal bir başlatıcı uygulamadan stiren reaksiyonu termal olarak başlatılabilir.



Şekil 1.10 Benzoil peroksitten radikal grup oluşumunun reaksiyon şematik gösterimi

1.1.2.2. Polistiren Özellikleri

PS adil boyutsal kararlılık, adil yoğunluk, işleme çeşitliliği, belirli sınıflar için gıdayla temas etme olanakları vb. için oldukça tercih edilmektedir. Fenil gruplarının varlığı, nispeten yüksek camısı geçiş sıcaklığından (T_g) ve yüksek kırılma indeks değerine (yaklaşık 1,57 ile 1,6) sahiptir.

Ayrıca, polimer yapılarında mevcut olan fenil grupları zincirinin dönmesi ve etkileri polimeri sert ve kırılğan hale getirir. Polistiren, polietilen ve polipropilen yoğunluğundan daha yüksek olan 1,05 g / cm³ yoğunluğa sahiptir. PS amorf olduğu için keskin bir erime noktasına sahip değildir.

Bu, malzemenin kademeli olarak yumuşatılmasında çok çeşitli sıcaklıklarda gözlenir. PS T_g değeri 74 °C ile 105 °C arasındadır ve T_g PS'nin altında sert ve kırılğandır.

Polistiren nispeten düşük sıcaklıklarda yumuşar ve 100 °C'de veya basınç altında bir sıvı gibi akar, bu da şekillendirilebilir veya ekstrüde edilmesini kolaylaştırır.

PS'nin mekanik özellikleri genel olarak stabildir. Genel amaçlı PS doğal olarak oldukça saydamdır ve bu nedenle, belirli sınıflar, özellikle uygun optik uygulamalar için tasarlanmıştır. Işık geçirgenliği % 80'den % 98'e kadardır ve bazen 0,65 kadar düşük olabilir. Polistiren, zayıf nemlendirici özelliklerine sahiptir ve zayıf bir gaz bariyeridir.

Güçlü asitlere (güçlü oksitleyici asitler hariç) ve alkalilere, bazlara, bitkisel yağlara, alkollere, alifatik aminlere, içeceklere, çeşnilere ve çeşitli gıda maddelerine, poliglükollere ve sayısız farmasötik maddelere karşı dirençlidir. Polistiren hidroliz tedavisine direnç gösterir.

Polistirenler, yüksek enerjili radyasyona karşı iyi davranış sergilerken, PS'nin yangına karşı direnci doğal olarak zayıftır ve PS, tutuşturma kaynağı çıkarıldıktan sonra bile kolayca alev yaratabilir. Islak bir ortamda bile PS, iyi yalıtıcıdır ve yüksek dielektrik direncine sahiptir [21,26].

1.2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Son 25-30 yıl içerisinde polimer malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalar ve önemli gelişmeler sayesinde endüstriyel ve günlük hayatımızda çok tercih edilen malzemeler haline gelmiştir. Polimer malzemeler ekonomik olmaları ve işlevselliklerinden dolayı birçok uygulamada ön plana çıkmaktadır. Esneklik, hafiflik, sağlamlık, çevre şartlarına dayanıklılık, sertlik, darbeye direnç gibi özellikler malzemede aranan özelliklerdir. Tüm bu özelliklere yalnız bir malzemede rastlamak oldukça zordur [4,26].

Birçok mühendislik uygulamalarında polimer kompozitler hafiflik, mekanik dayanım gibi üstün özellikleri sayesinde metalin yerini almıştır. Bunun dışında polimer kompozitler insan dokusu ile uyum sağlayabildikleri için yapay doku ve organlarda, basınç ile elektrik üretebilen piezo özellikli sistemlerin yapısında kullanılmaktadır. Polimer kompozitler, dolgulu kompozitler ve elyaf kompozitler olarak ikiye ayrılır. Özellikle yüksek performansları yüzünden elyaf içeren kompozitler daha çok tercih edilmektedir.

1.2.1. Termoset Matrisler

İlk termoset plastik Dr. Leo Baekeland tarafından 1800'lü yıllarda geliştirilmiştir [27]. En sık kullanılan ticari malzemeleridir. Akışkan halde buldukları için ısıtılabilir ve sonucunda kimyasal reaksiyona girerek sağlamlaşırlar. Termosetlerin polimerizasyonu yapılarından dolayı tekrar eski haline dönüşüme imkan vermemektedir. Sıcaklık dayanımları yüksektir. Polyester, epoksi, vinylester reçineler termoset matris malzemelerin üretiminde kullanılan malzeme çeşitleridir. Termosetler ilk anda sıvı haldedirler, sıcaklık artışı ve kimyasal tepkimeler sonucu sertleşerek dayanım kazanırlar. Termoset matrislerin çoğu sertleşmemeleri için dondurularak depolanır. Termoset matrisler dondurucudan çıkartıldıktan 1-2 hafta sonra sertleşmeye başlar ve şekil verilmesi güçleştiği için kullanılamaz. Dondurulmuş halde ise kullanım süreleri 7- 8 ay rasında değişir. Termoset matrislerin kimyasal direnci yüksektir ve doğaüstü hava şartlarında dahi kullanım süreleri uzundur. Polyester matrisleri yüksek dayanım gerektirmeyen durumlarda çok sık kullanılır. Gelişmiş kompozitlerin imalatında sıklıkla epoksi reçinesi kullanılmaktadır [28].

1.2.1.1. Epoksi Reçine Matrisler

Epoksi reçine matrisler epoksit içeren iki veya daha fazla bişenden meydana gelir. Polifenol ve epikloridin bazik ortamda tepkimesi ile oluşur. Akışkan ve açık renklidirler. Epoksilere yapılan işlemler ile artan sıcaklıklara dayanımları 170-200 °C' ye kadar artırılabilir. Amorf ve saydam olmaları başlıca özellikleridir. Tüm polimerler düşük sıcaklıklarda saydamlaşırlar ve yüksek sıcaklıklara çıkıldığında kauçuklaşırlar. Bu geçişin gerçekleştiği sıcaklık aralığına "Camsı geçiş sıcaklığı " adı verilir. En yüksek sıcaklıkta çalışabilme sıcaklığının ölçüsüdür ve 100 ° C' ye kadar artırılabilir.150-250 °C arasında uygulanacak bir kür ile 150-250 °C arasında maksimum çalışma sıcaklığı sağlanabilir. Kür işlemleri uygun katalizörlerin kullanılması ile hızlandırılabilir.

Çizelge 1.1 Epoksi reçine matris özellikleri [29]

Özellikler	Epoksi			Polyester	Fenolik
	Oda Sıc. Kürlenmiş	Yük. Sıc. Kürlenmiş	Gelişmiş	Polyester	Fenolik
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1,1-1,3	1,2-1,4	1,3	1,2	1,2-13
Elastik Modül (GPa)	2-3	2,5-3,0	3,5	2-3	5-11
Çekme Mukavemeti (MPa)	50-70	70-90	60	50-60	50-60
Kop. Uzaması (%)	2-6	2-5	2	2-3	1,2
Mak. İşlem Sıc. (°C)	70-100	100-180	180	60-80	100-125

Kopma mukavemetinin yüksek olması epoksilerin en büyük avantajlarından biridir. Özellikle elyaf gibi yapılarla yüksek bağ mukavemeti vardır. Aşınma dirençleri yüksektir. Uçucu olmadıkları için kimyasal dirençleri de yüksektir. Polyesterle karşılaştırıldığında pahalı olması ve polyestere oranla daha yüksek viskoziteye sahip olması dezavantajları arasında gösterilebilir.

1.2.1.2. Polyester Matrisler

Polyester, bileşenin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu ile oluşur. Yapılan kür işlemi sayesinde kopma gerilmesi artırılabilir. Polyester matrislerin avantajları; düşük viskoziteye sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Dolayısıyla imalatı kolay ve işlenebilirliği yüksektir. Reaksiyon sırasında meydana gelen yüksek ısı zayıf matris/polimer bağı olmasına neden olur. Bu da polyester matrislerin dezavantajları arasındadır. Çok seyreltik alkali reaksiyonlarda da zayıf kimyasal dirençleri zayıftır.

1.2.1.3. Vinylester Reçine Matrisler

Polyester matrislere benzer özellik gösterirler. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında çok iyi bir bağ mukavemeti vardır. Fenolik reçine matrisler formaldehitle fenolün alkali şartlar altında yoğunlaşarak polimerizasyon olur. Polimerizasyon asidik ortamda yapılır. Fenolik reçinelerin en büyük avantajı yüksek sıcaklık dirençleridir. En önemli dezavantajları ise diğer matris malzemelerine göre mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır.

1.2.2. Termoplastik Matrisler

Termoplastikler termosetlere kıyasla daha fazla polimeri kapsar. Fakat bu polimerlerden matris kullanımına uygun olanların sayısı düşüktür. Termoplastik polimerler ısı altında yumuşayarak şekillendirilebilir hal alırlar ve uygulama alanları çok daha fazladır. Üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan bu polimerlerin avantajları arasında kırılma tokluğu, tekrar şekillendirilebilmesi, raf ömrü uzun olması, geri dönüşüm yüzdesinin yüksek olması bulunur [30].

Kompozit malzemelerde termoplastik polimerlerin kullanımı çok yaygın değildir. Yüksek maliyet, belirli sıcaklıklarda düşük işlenebilirlik gibi dezavantajları da mevcuttur. Termoplastik matrisler kompozit malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Bazı termoplastikleri şekillendirilmek için çözücülere gerek duyulmaktadır.

Çeşitli alanlarda hammadde şeklinde yararlanılan termoplastikler uçak, otomobil gibi ulaşım araçlarında gösterdiği performans dolayısıyla tercih sebebidirler. Genellikle ekstrüzyon ve enjekte sistemleri ile yapılan termoplastiklerin imalatında preslenebilir takviyeli termoplastik katkı olarakta üretilmektedirler. Bu işlemle yapılan termoplastikler soğuk işlemle sıkıştırma ve geri kazanıma uygun olduğu için araba ve uçak sanayisinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2 Çeşitli termoplastiklerin camsı geçiş sıcaklık değerleri [31]

Polimer	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
Polietilen	-70 – -60	105 – 130
Polipropilen	-20 – +5	160
Poli (metil metakrilat)	85 – 110	130 – 140
Polistiren	70 – 100	240*
Poli (eter eter ketone)	145	340
Poli (laktik asit)	50 – 80	170 – 180
Poli (vinil klorür)	75 – 105	100– 260

1.2.2.1. Termoplastik Üretim Yöntemleri

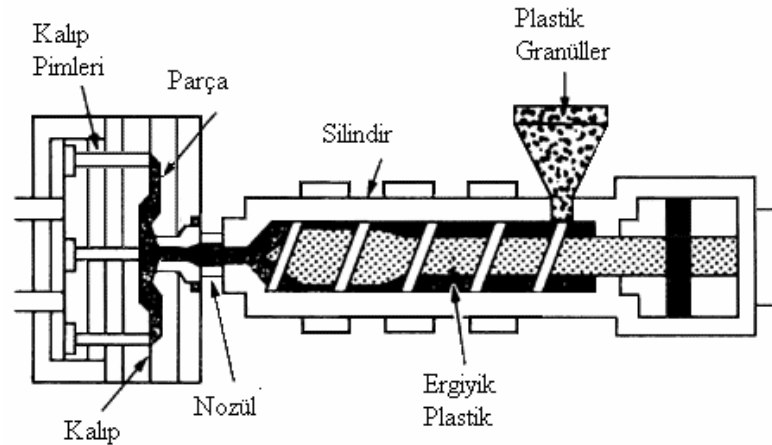
1.2.2.1.1. Enjeksiyon Yöntemi

Çevrede karşılaştığımız ve kullandığımız plastik malzemelerin birçoğu enjeksiyon metodu ile üretilmektedir. Günlük hayatta kullanılan buzdolabı, bilgisayar, ev aletleri ve çok çeşitli malzemelerin üretim tekniği bu metoda dayanmaktadır. Seri üretim bandında yapılan yüksek çaplı üretimlerde, her parça işlevine uygun olarak özel kalıplama tekniğiyle yapılmış kalıplardan oluşmaktadır. Malzemenin kalıplanabilmesi için eriyik halde olması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan aletlerde maddeyi eriten bir kısım bulunur, madde bir huni aparatı yardımı ile makinanın haznesine ilave edilir. Enjeksiyon cihazında eritmek üzere kullanılan malzemeler genellikle termoplastiklerdir. Polimerler uzun zincirler şeklinde bulunur. Günümüzde endüstriyel amaçlı kullanılan polimerler kimyasal tepkimelerle elde edilir. Termoplastik polimerler geri kazanımı yüksektir ve birçok kez eritilerek tekrar kullanılabilir. Üretilmek istenen malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre polimer ve takviye malzemesi belirlenir. Elde edilen nihani polimer kompozitin üzerinde hangi tür plastikten üretildiğini belirten kısaltma bulunur. Üretilen akışkan halde plastiğin istenilen kalıbın şeklini alabilmesi için belli bir basınçla dökülmesi gerekir. Sıvı haldeki plastik cihazın vidası yardımı ile itilerek kalıba dökülür. Genellikle enjeksiyon işleminde 30-50 MPa basınç ile üretim yapılır. Plastik enjeksiyon kalıbını tasarlamak bir ön hazırlık gerektirir. Enjeksiyon cihaz kalını basınçla dayanıklı ve sağlam

olmalıdır, dolayısı ile yapımında çelik kullanılır. Kalıp malzemenin sertleşip akabileceği ve homojen bir biçimde dağılıp soğuyabileceği iki bölümden meydana gelir. Bu şekilde elde edilen malzemeler genellikle homojen ve şekilleri düzgündür. Kalıplamanın daha düzgün olabilmesi için yağlama tekniği de kullanılır. Çok hacimli üretim uygulamalarında malzemenin eritilip kalıba dökülmesi için itici güç kolları mevcuttur. Üretilmek istenen malzemenin boyutuna göre sistemem özel soğutucu ekipmanlar da eklenebilir. Ancak tüm bu işlemler kalıbın maliyetini artırır [32].

Polimerin döküm işlemi için kullandığı yol (sprue), kalıba aktığı kısmise yolluk (runner) olarak adlandırılır. Enjeksiyon işleminin bitiminde üretilen malzeme yolluk dediğimiz kısımdan alınabilir. Üretilen kalıptan birçok kez ürün çıkartılır ve bu şekilde seri üretim yapılmış olur.

Çeşitli kalıplama teknikleri aracılığı ile üretilen takviyeli termoplastikler, cam elyaf takviyeli termoplastiklere göre hacimsel olarak yüksek oranda kullanılan bir tekniktir. Çeşitli termoplastik malzemelere eklenen takviyelerle elektriksel, mekaniksel ve kimyasal özellikleri değiştirilebilir. Bu proses klasik plastik kalıplama tekniğine benzer ancak eklenen takviyelerden dolayı sistemde besleyici depo ünitesi bulunmaktadır [34].



Şekil 1.11 Plastik Enjeksiyon Cihazı [33]

Enjeksiyonla kalıplama tekniğinde özellikle termoplastik malzemeler tercih edilir. Bu malzemeler sıcaklıkla eriyik hale gelir ve soğutulduğunda sertleşip fiziksel değişime uğrarlar [35]. Enjeksiyon yöntemi ile üretim endüstride özellikle termoplastikler üzerinde kullanılan çok etkili ve aynı zamanda ekonomik bir yöntemdir. Bu teknikle üretilen

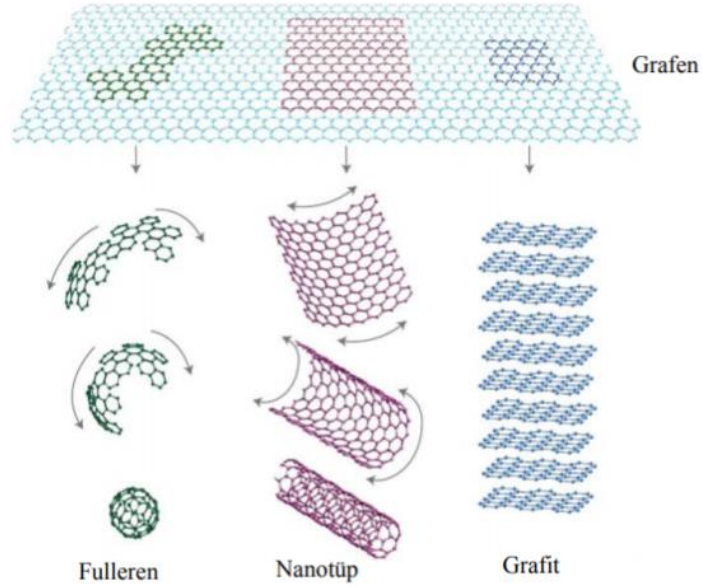
malzemeler genellikle homojendir ve düzenlidirler. Bu yüzden soğutulduktan sonra üzerine zımparalama gibi işlemler gerekmez. Termoset matrislerin üretimine göre, kalıplama işleminin kısa olmasından dolayı seri ve hızlı üretim yapmak mümkündür. Termoplastik malzemelerin geri kazanımı yüksektir ve atık yapmazlar [36].

1.3.TAKVİYE PARTİKÜLLER

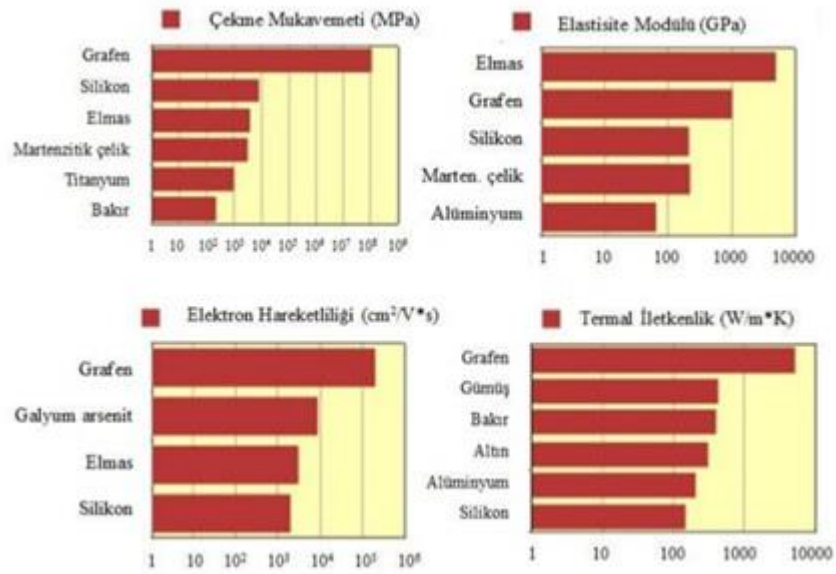
1.3.1. Grafen

Grafen, 2004 yılında Andre Geim ve Konstantin Sergeevich Novoselov isimli araştırmacılar tarafından bulunmuştur. Grafen karbon atomunun bir türevidir ve petek görünümünde tek katmanlı bir yapıya sahiptir. Grafen altı adet karbon atomunun birleşmesi ile meydana gelen iki boyutlu bir nano malzemedir. Grafen türevi olan karbon nanotüp ve fullerenden daha farklı özelliklere sahiptir. (Şekil 2.11). Optimum tek katmanlı grafen yüzey alanı $2600 \text{ m}^2 / \text{gr}$, kalınlığı 1-2 nm, termal iletkenlik katsayısı 4840-5300 $\text{W}/(\text{m}^\circ\text{K})$, yoğunluğu $2.25 \text{ g}/\text{cm}^3$, elastisite modülü 1 TPa^2 dır [37-38]. Grafen doğada bulunun iki boyutlu tek malzeme özelliğini oluşturmasının yanında çok üstün özelliklere sahiptir. Teknolojide kullanılan birçok partiküle göre grafenin elektron hızı çok üstün düzeydedir. Bunun dışında grafenin bilinen çok daha üstün özellikleri de mevcuttur. Günümüzde bilinen en ince yapıya sahip bir partikül olup karbon bağlarının gücü sayesinde çok güçlü bir malzemedir. Grafenin elastisite modülü bilinen en güçlü malzemelerden olan çelikten bile neredeyse 100 kat fazladır ve ısıyı elmasdan daha iyi iletir. Şekil 2.12’de grafenin bazı özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırması verilmiştir. Bunların yanısıra grafen esnek bir malzeme olup diğer malzemelerin içine kolay bir şekilde dağılmaktadır. Bu üstün özelliklerinden dolayı grafen geleceğin malzemesi olarak görülmekte ve birçok uygulamada tercih edilmektedir [39]. Önümüzdeki dönemlerde grafenin endüstriyel boyutta daha çok tercih edileceği tahmin edilmektedir. Süper kapasitörler de grafenin önemli uygulama alanlarından biridir. Özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji üzerine çalışmalar yoğunlaşmış olup, süper kapasitörler tıpkı yeniden şarj edilebilir piller gibi enerji depolayabilen sistemlerdir. Grafenden biyokimya alanında da yoğun şekilde yararlanılmaktadır. Vücut sıvısı içinde stabil olduğu için biyomalzeme grafenden biyomalzeme yapımı gittikçe artacaktır. Grafen takviye malzemesi olarak kullanılmakta olup birçok üstün özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Örneğin, polimere yapılan grafen takviyesi ile termal iletkenliği artırılabilir. Bunların dışında birçok alanda

grafenin katkısı üzerine çalışılmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde de grafenden yüksek mukavemet özelliğinden dolayı yararlanılır. Farklı alaşım takviyeleri ile uçak sanayi, otomotiv, tren gibi sektörlerde kullanılan kompozitler üretilebilir [40].

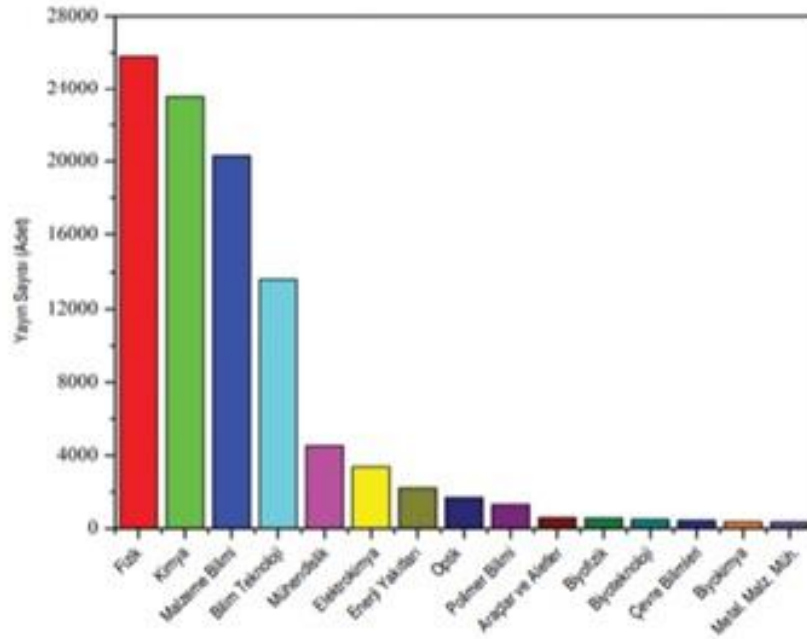


Şekil 1.12 Karbon Esaslı Malzemeler [37]



Şekil 1.13 Grafenin bazı özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması [38]

Grafen alanındaki çalışmalar ve yayınlar özellikle 2004 yıllarında hız kazanmıştır. Araştırmalara bakıldığında son dönemde grafen üzerine yoğun bir çalışma görülmektedir. 2000-2014 yılları arasında grafen hakkında yayınlanmış yayınlar Şekil 2.13'te verilmiştir. 2000 yılında bu alandaki toplam yayın sayısı 242 iken; 2005 yılında 444, 2010 yılında 1671 ve 2014 yılında ise 9544'e yükselmiştir. Bu sonuç bizlere grafenin üstün özelliklerinin keşfedilmesi ile birçok mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda her geçen gün hakkında yapılan çalışmanın arttığını gösterir. Grafen' in uygulama ve kullanım alanı çok geniştir. Grafen hakkında en çok fizik, kimya, malzeme bilimi, bilim ve teknoloji, mühendislik uygulamalarında yayın ve uygulamalar yapılmıştır. (Şekil 2.13). Yapılan araştırmalara göre grafen hakkında en fazla yayın sayısının olduğu ülke; Çin, ABD, Güney Kore, Japonya, Almanya şeklinde sıralanabilir. Grafen hakkında dünyada yapılan toplam yayın sayısı 2000-2014 yılları arasında 55,099 olarak kaydedilmiştir [37]. Son dönemlerde grafen takviyeli kompozitler hava sanayi, otomotiv sektörü gibi endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Grafenin hafif olması, yüksek mukavemete sahip olması ve aşınma direncinin yüksek olması önemli avantajları arasındadır [41].



Şekil 1.14 2000-2014 Yılları arasında grafen konusu hakkında yapılmış toplam yayın sayısı [42]

1.3.1.1. Kullanım alanları

Elektik iletiminin çok iyi olmasından dolayı grafen bilgisayarlar ve transistör gibi hızla ihtiyaç duyulan teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır. Grafen esnek, güçlü ve şeffaftır. Grafen fizik biliminde kuantum elektrodinamik testi için kullanılır. Günümüz teknolojisinde birçok alanda kullanılır. Özellikle dokunmatik ekranlar ve televizyonlarda elektrik iletkenliği yüksek olduğu için tercih edilir. Dolayısı ile ekranın tamamı elektriği ileten bir malzeme ile kaplanmalıdır. Bu zamana kadar yapılan kaplamalar indiyum kalay oksit ile yapılmıştır. Ancak malzeme rezervinin düşük olması ve kırılma katsayısının yüksek olması sebebi ile araştırmacılar yeni bir kaplama malzemesine ihtiyaç duymuştur. Rice Üniversitesi'nde yapılan çalışmalar sonucunda araştırmacılar daha sağlam ve ince film olan grafen film oluşturmayı başarmışlardır [43].

1.3.2. Karbon nanotüpler

Karbon nanotüpler, silindirik tüplerden oluşup fulleren yapıdadır. Karbon nanotüpler 1952 li yıllarda 60 ve üstü karbon atomunun kümeleşmesi ile farkedilmiştir. Bu yapıların başka bir molekül veya atomla birleşmesi ile fulleren oluşur. Karbon nanotüp'ün keşfinden sonra üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Tüpe benzer şekildeki molekülleri ark buharlaşma sırasında elektron mikroskopuzamını Sumia Iijima bulmuştur. Bunun sonrasında Thomas Ebbeson ve Pulickel Ajayan farklı ark-buharlaşma şartları altında büyük miktarlarda nanotüp üretilebileceğini göstermiştir. Ancak standart ark-buharlaşma yöntemi ile çok tabakalı tüpler elde edilebilmiştir. Daha sonrasında grafit elektroduna kobalt gibi metaller eklenerek tek tabakalı tüpler üretilmiştir [44].

1993' lü yıllarda tek katmanlı karbon nanotüplerin keşfi ile büyük gelişmeler görülmüştür. Tek katmanlı nanotüpler üzerine yapılan çalışmalarla nanotüp deneylerinin önü açılmış oldu. Karbon nanotüpler lazer buharlaşma tekniği ile 1200 °C fırınlarda üretilmiştir. Tek katmanlı karbon nanotüpleri katalizör ile artırılabilir iken çok katmanlı karbon nanotüplerin büyütülmesi için katalizör gerekmez. Karbon nanotüpler tesadüfen keşfedilmesine rağmen son yıllarda araştırmalarda yoğun talep görmektedir. Özellikle üstün kimyasal, fiziksel özellikleri birçok uygulamada araştırmacıların ilgisini çekmektedir [45].

1.3.2.1. Nanotüplerin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri

1.3.2.1.1. Yapısal Özellikler

Karbon nanotüplerin mikroyapı incelemelerinde çözünürlüğü yüksek mikroskoplar kullanılır. Mikroskop altında incelenen yapıda karbon nanotüplerin hegzagonal yapıya sahip olduğu ve bu yapıda kristal grafitler barındırdığı görülmüştür.

Karbonnanotüplerin ısıl hareketi sürekli ve yapı içerisindeki atomlar sürekli hareket halindedir. Bu atomlar nano boyuttadır. Mikroskop tarafından yayılan elektronlar karbon nanotüplerin yapısına zarar verebilir. Karbonnanotüplerin birim hücreleri ikişer atom içerir ve bu atomların yapısı altıgen şeklindedir. Nanotüp birim hücresi altıgenden N kere büyük ise, ters uzayda birim hücre altıgenden $1/N$ oranında küçüktür [46].

1.3.2.1.2. Elektriksel Özellikler

Karbonnanotüpler sahip oldukları fiziksel özelliklerinden dolayı yarımetaldirler. Karbonnanotüpün yapımında rulo haline getirilen grafit levha tabakaları kullanılır. Bu esnada karbon atomları ve elektronlar radyal düzlemde bir araya gelir.

Karbonnanotüplerde yaşanan eksikliklerden elektrik iletkenliği iyi olmayabilir. Elektrik aksamı arasındaki ilişki elektrik iletiminde etkilidir. Elektrik iletim testi küçük hacimlerde çok katmanlı tüpler üzerinde ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmelidir. 1994' lü yıllarda mikroskop ile yapılan çalışmalarda nanotüplerin özellikleri üzerine önemli ilerleme olmuştur. Yapılan bu çalışmalar nanotüplerin hem metalik hem de yarı iletken olabileceği hakkında bilgi verdi. Elektrik iletkenliği çok katmanlı ve tek katmanlı nanotüpler hakkında önemli bir özelliktir. Çok katmanlı nanotüplerin dış yüzeyleri oldukça hassastır. Tek katmanlı nanotüp için gerekli enerji ölçüldüğünde, 3 μm uzunluğunda ve 1nm çapında nanotüplerde elektronlar arasındaki coulomb elektrik enerjisi itmesini yenebilmek için 2.6 meV'lik enerjiye ihtiyaç vardır. Günümüzde halen araştırmacılar nanotüpler üzerindeki enerji yasaları hakkında çalışıyorlar [47].

1.3.2.1.3. Mekaniksel Özellikler

Karbon nanotüplerin diğer en önemli özelliklerinden biri ise mekaniksel davranışlarıdır. Diğer karbon türevleri bakarak nanotüplerin de yüksek esneklik modülü özelliğine sahip

olması beklenir. Özellikle tek katmanlı nanotüplerin uygulama alanları göz önüne alındığında çok sağlam ve esneme paylarının yüksek olması istenmektedir. North Caroline Üniversitesinde yapılan araştırmaya göre, nanotüpün kırılmadan uzama yüzdesi yüksektir. Karbonun diğer türevlerinin aksine tek katmanlı nanotüpler önemli oranda esnektirler ve kolaylıkla şekil verilebilirler. Yapılan incelemelerde nanotüpün işlem sonrası eski şeklini aldığını bulmuşlardır. Yani karbon nanotüpler diğer türevlerinin birçok özelliğine sahip olup ayrıca daha esnek ve kırılmaya dayanıklıdır. Bu özellikler nanotüpler ile ilgili çalışmalarda avantaj sunmaktadır. Birçok uygulamada takviye partikül olarak kullanılabilir. Örneğin; polimer içine az miktarlarda eklenen nanotüpler plastiği iletken hale getirebilir. Günümüzde polimer zerine birçok endüstriyel alanda çalışılmakta olup otomotiv sektöründe nanotüpler sayesinde yüklü boyalar üretilebilir. Bu şekilde üretilen boyalar tasarruf sağladığı için ekonomiktir [48].

Çizelge 1.3 CNT'lerin mekaniksel özellikleri ve bazı malzemelerle karşılaştırılması [49]

Malzeme	Young Modülü (Tpa)	Çekme Mukavemeti (Gpa)	Kopma Uzaması (%)
TDNT	(1-5 aralığı)	13 – 53	-
Koltuk TDNT	0,92	126,2	23,1
Zigzag TDNT	0,94	94,5	15,6 – 17,5
Kiral TDNT	0,92	-	-
ÇTDN	0,8 – 0,9	150	-
Paslanmaz Çelik	0,2	0,65 – 1	15 – 50

Düz zincir şeklinde nanotüpleri halka nanotüplere çevirmek için yöntemler geliştirilmiştir. Genellikle halkalar 0,7 mikron çapta ve tek katmanlıdır Karbon nanotüpler arasında Van der Waals kuvvetleri etkilidir. Elektronlara takılan halkalar sayesinde elektrik iletimi incelenebilir. İletim için kullanılan nanotüpler çok küçük çaptadırlar. Özellikle nanotüpler düşük sıcaklıklarda iletken olup halka şekline geldiklerinde kuantum elektrik akışını gözlemleyebiliriz [50].

Boru şeklindeki olan CNT materyali 1991 yılında fullerinlerin ark boşalması buharlaştırılma yöntemiyle üretilmesi sırasında Iijima tarafından bulundu [51]. Çapları birkaç nanometreyken uzunlukları milimetre boyutunda olabilmektedir. En boy oranları milyonlarca kat olabilen yapıda malzemelerdir. Iijima tarafından bulunan ilk karbon nanotüpler, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) olarak adlandırıldı. İki yıl sonra yine Iijima ve arkadaşları tarafından tek duvarlı karbon nanotüpler (SWCNT) sentezlendi [50].

1.3.2.2. Karbon Nanotüplerin Çeşitleri

1.3.2.2.1. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (SWCNT'ler)

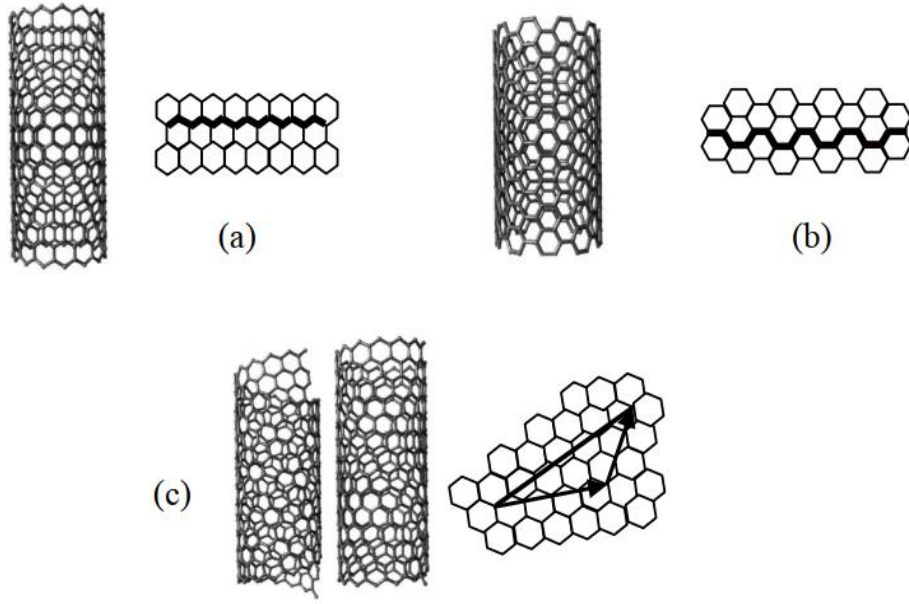
Tek duvarlı CNT' ler (SWNT) uzun bir zincir gibidir ve 1 nm çağındadır. Tek duvarlı CNT' nin yapısı grafit kalınlığında tek bir atom kalınlığı sarılarak anlaşılabilir [52].

“n ve m” tamsayıları grafen arasında petek kristal kafes iki yönleri boyunca birimi vektörlerin miktarını göstermektedir. Eğer m=0 olursa nano tüpler zigzag olarak adlandırılır, eğer n=m olursa koltuk karbon nano tüp olarak adlandırılır. İdeal bir karbon nanotüp çapı aşağıdaki formülle hesaplanır; n^2

$$d = \frac{a}{\pi} \sqrt{n^2 + nm + m^2} \quad a = 0,246 \text{ nm} \quad (2.1)$$

Tek duvarlı karbon nanotüpler nanotüplerin en önemli olanıdır. Nedeni n ve m değerlerinin değişmesiyle önemli ölçüde özelliklerinin değişmesidir. Özellikle, kendi bant aralığı sıfırdan yaklaşık 2 eV değişebilir ve elektriksel iletkenliği metal veya yarı iletken davranışı gösterebilir [53].

SWCNT yapıları, Şekil 2.14 'de görüldüğü gibi, zikzak bir yapı, koltuk yapısı ve şiral veya sarmal yapıya sahip olabilir. Ek olarak, SWCNT'ler 1-2 nm [50] ve çeşitli mikron uzunlukları arasında değişen çapları sergiler [55].

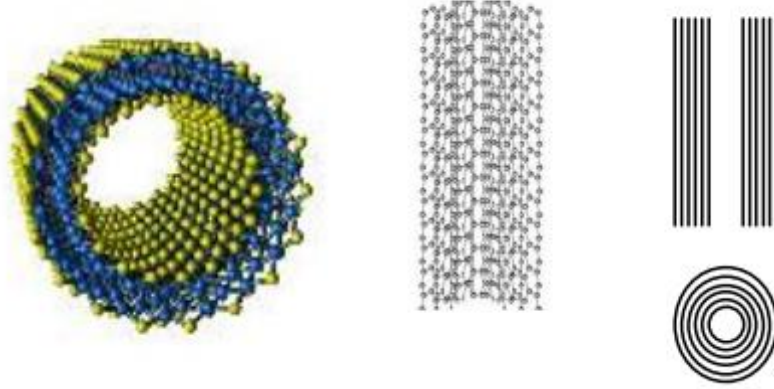


Şekil 1.15 SWCNT'lerin şematik yapıları: (a) Zikzak, (b) Koltuk ve (c) İki farklı kiralite veya sarmallık [56]

1.3.2.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT'ler)

MWCNT'ler, 2 ila 25 nm ve çeşitli mikron uzunlukları olan dış çaplara sahip içi boş bir çekirdek (Şekil 2.15) boyunca iki veya daha fazla eş merkezli silindirik grafen tabakalarından oluşan bir eş eksenli diziden oluşur. Grafen tabakalarının tek tek silindirik katmanları, van der Waals kuvvetleri ile etkileşime girer. Bununla birlikte, MWCNT'lerin her bir tabakasının eğriliği, zayıf van der Waals kuvvetlerine yol açar, böylece komşu MMNT katmanlarının (0,34 nm) ara katman aralığı, üç boyutlu kristal grafit (0,335 nm) 'den daha büyüktür. Ek olarak, her bir MWCNT katmanı farklı kiraliteler sergileyebilir [57].

CNT üretmek için üç ana yöntem vardır; ark-deşarji, lazer ablasyon ve kimyasal buhar biriktirme (CVD). CVD metodu, üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle ark-deşarj ve lazer ablasyonuna göre sanayi ölçeğinde MWCNT'ler üretmek için en yaygın yöntemdir [56].



Şekil 1.16 Çok duvarlı karbon nanotüp görseli [56,58]

1.3.2.3. Karbon Nanotüplerin Özellikleri

CNT'ler çok yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bireysel MWCNT'ler için 1 TPa'ya yaklaşan bir elastik modül ve 100 GPa'lık bir gerilme kuvvetine ulaşabilirler. Bu mukavemet, herhangi bir endüstriyel elyafından daha yüksektir. Bireysel CNT duvarları, kiralitesine bağlı olarak metalik veya yarı iletken olabilirler. MWCNT'ler normalde metaliktir ve 10^9 A cm⁻²'ye kadar akım kapasitesine sahiptir.

CNT'lerin bazı önemli ve benzersiz özellikleri şöyle sıralanabilir [47];

- Yaklaşık 1000 m² / g geniş yüzey alanına sahiptir.
- Çok yüksek sıcaklık kararlılığına sahiptirler (havada 800 °C'ye kadar).
- CNT'lerin kimyasal stabilitesi mükemmeldir.
- CNT'ler diyamanyetiktir ve belirgin bir anizotropi duyarlılığı göstermektedir.
- Tüplerin çapına ve simetrisine güçlü bir şekilde bağlı olan doğrusal olmayan optik özelliklere sahiptirler.
- CNT'lerin mekanik mukavemeti ve rijitliği bilinen herhangi bir malzemeyle karşılaştırıldığında istisnai bir durumdur. Young'ın SWNT modülü ~ 1 TPa iken,

MWNT'nin değeri ~1.28 T Pa'dır. CNT'ler için ~30 GPa'lık bir maxilim gerilme mukavemeti bildirilmiştir.

- CNT'ler mükemmel elektriksel özelliklere sahiptir. Özdirenç değeri $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 'dir.
- CNT'lerin termik iletkenliği ~ 2000 /m/ K'dir.

Çizelge 1.4 Karbon nanotüp ve türevlerinin özellikleri [59]

Özellik	Grafit	Elmas	Fulerin	SWCNT	MWCNT
Spesifik yer çekimi (g/cm ³)	1,9-2,3	3.5	1,7	0,8	1,8
Elektrik iletkenlik katsayısı (S/cm)	4000(p), 3,4 (c)	10^{-2} - 10^{-15}	10^{-5}	10^2 - 10^6	10^3 - 10^5
Termal iletkenlik (W/(Mk))	298 (p), 2,2 (c)	900-2320	0,4	6000	2000
Termal genişleme katsayısı (K^{-1})	-1×10^{-6} (p) $2,9 \times 10^{-5}$ (c)	$(1 \sim 3) \times 10^{-6}$	$6,2 \times 10^{-5}$	İhmal	İhmal
Havadaki termal kararlılık (OC)	450-650	<600	~600	600	600

1.3.2.4. Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları

CNT'ler, özellikle elektrik ve termal özelliklerde, diğer karbon malzemelerden daha avantajlıdır. Bu özellikler, kompozitler, enerji depolama, biyoteknoloji, kaplamalar ve filmler, lifler, aerojeller ve mikroelektronik [60] gibi çok çeşitli alanlarda geniş uygulama alanları için büyük bir potansiyel sahiptirler. CNT'ler küçük boyutları nedeniyle ele alınması zordur, bu yüzden genellikle kompozit malzemeler oluşturmak için kullanılırlar.

Son yıllarda birçok CNT / polimer kompozit araştırması ve geliştirmesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir [61]. CNT'ler kurşun geçirmez yelekler, uçak ve otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek performanslı kompozitler, [61] ince film transistörlerinin

uygulaması olan esnek elektronikler, organik EL ekranlar için esnek elektrotlar, şarj edilebilir piller için elektrotlar, kimyasal ve biyo sensörler, aktüatörler ve suni kaslar, hidrojen depolama cihazları, süper kapasitörler ve gerdirilebilir iletkenlerde kullanılan ultra güçlü materyaller gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir [47]. Ayrıca karbon nanotüp takviyeli kompozitler alev geciktirici performans, geliştirilmiş elektriksel iletkenlik ve elektrostatik şarj davranışı, optik yayıcı cihazlar ve hafif, yüksek mukavemetli kompozit malzemeler için incelenmiştir [62].

1.4.LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Jiong Shen, Xiangmin Han ve L. James Lee 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada, Polistiren köpükleri içine karbon nanolifleri hem çekirdekletirici hem de takviye olarak kullanmıştır. Karbon nanoliflerinin dâhil edilmesi ile PS köpüklerinin morfolojisi ve özellikleri üzerine önemli bir etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Karbon nanolifleri; hücre boyurunda bir düşüş ve hücre yoğunluğunda bir artış meydana getirmiştir. Sem sayesinde karbon nanoliflerin ve polimer kaplamanının kimlikleri belirlenir. Hücre çeperi etrafındaki koruyucu karbon nanolif ve önemli polimer lif etkileşimleri köpük mukavemetinin artmasına neden olmuştur. Çalışmada, karbon nanoliflerin köpüklenme işlemi sırasında çekirdeklenme etkisi gösterilmiştir. Sonuç olarak, karbon nanoliflerin dağılması köpük morfolojileri üzerinde doğrudan etkili olduğu ortaya çıkmıştır [63].

Tresa Sunitha George ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada, Polistiren ve yüksek yoğunluklu polietilen karışımının içine katmanlı bit tip alümina silikat olan düşük maliyetli nano kaolin kili karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımların gerilme dayanımı, grimle modülü vb. gibi mekaniz özellikleri incelenmiştir. Mekanik testler, gerilme özelliklerinin saf karışıma kıyasla nanofiller eklendikten sonra önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Kilin organik gruplar tarafından değiştirilmesi, daha iyi dolgu maddesi dağılımına ve matrisin ıslanmasına neden olmuştur. SEM kullanılarak gerilmiş kırık numunelerin karakterizasyonu incelenmiştir [64].

Tauseef Aiezed ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan araştırmada karıştırıcılar kullanılarak nano polistiren ve grafen bileşikleri elde edilmiştir. Grafen nano dolgu amddesinin ağırlıkça %0,5 oranında grafen pürüzsüzlüğü yaşandığında, mikro yapı üzerinde (i= 0-0,1-0,3-0,5-0,7-0,9) polistiren matrisinin termal ve elektriksel özellikleri

incelenmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), dört prob yöntemi, X ışın kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve evrensel test makinası (UTM) kullanılarak incelenmiştir. Nihai gerilme mukavemeti, (UTS), elastikiyet modülü ve kırılma noktasındaki uzama yüzdesi dâhil mekanik özelliklerdeki en yüksek artış, saf polistiren oranının sırası ile % 74, 75, 150 ve % 68,65 oranlarında olduğunda görülmüştür. Elektriksel iletkenlik ve elektriksel direnç değerlendirildiğinde saf polistirenin dolum yükünün % 0,9 ve % 121,26'da bir yoğunlaşma olduğu görülmüştür [65].

Chen ve arkadaşları çalışmalarında polimer tabakalı nanokompozitlerin endüstriyel kullanım için hazırlanmasını, karakterizasyonun ve malzeme özelliklerini, erime reolojisini ve üretimini araştırmışlardır. Bu malzemeler polimer bilim araştırmalarında oldukça talep gören malzemelerdir. Nanokompozitlerin hazırlanmasında hektorit ve montmorillonit en sıklıkla kullanılan tabakalı silikatlardır. Smektitler ise endüstriyel uygulamalarda kullanılan değerli bir mineral sınıfıdır. Çünkü yüksek kation değişim kapasitesi, yüzey alanı, yüzey reaktifliği ve yüksek emilim gibi özellikleri vardır. Hektorit ise yüksek viskoziteye sahiptir. Bozulmamış formlarında hidrofiliktirler ve bu özelliklerinden dolayı polimer matrisi içinde dağılımları çok zor olmaktadır. Chen ve arkadaşları bu özelliği yok etmek için ara katmanlardaki kationları quaternar amonyum veya fosfor kationlarıyla değiştirmişlerdir [66].

Zhang ve arkadaşları çalışmalarında Poliamide/MMT nanokompozitinin kristalizasyon davranışını ve kristal yapısını, X-ray ve taramalı kalorimetre ile belirlemiş ve ilginç davranışlar elde etmişlerdir. Malzeme, organofilik kil kullanılarak eritme yöntemi ile hazırlanmıştır. Organokil ise epoksi resin ve quaternar amonyumun ara yapısından elde edilmiştir. Bunun nedenini ise MMT tabaka dağılımı ile ilişkilendirmişlerdir. Kristallik derecesi soğuma hızıyla güçlü bir değişim göstermiştir. Tam tersine genel davranışlarda ise yüksek soğuma hızı, yüksek kristallik özelliği göstermiştir. Son olarak nanokompozitlerde, c-crystal fazının baskın olduğunu gözlemlemişlerdir [67].

Altın ve arkadaşları yaptıkları çalışmada PVC/OMMT nanokompozitlerini eritme kavitasyon metodu ile toplu işleme üretmişlerdir. PVC/OMMT nanokompozitlerini PVC'ü direk OMMT ile karıştırarak üretmişlerdir. Bütün kompozitlerin karakterizasyonu Xray ve TEM ile yapılmıştır. Kompozitlerin tarama sonuçlarında pul pul görünümün başarıyla meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Kompozitlerin çıplak çentik darbe

mukavemetini saf PVC' e kıyasla önemli ölçüde geliştirmişlerdir. PVC-OMMT kompozitleri PVC'den daha yüksek kopma mukavemeti, uzama gibi daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca darbe mukavemeti OMMT üzerinde ilginç gelişme göstermekte ve bu araştırmada en yüksek değeri vermektedir. OMMT' nin güçlü mekanik özellikler göstermesi için mutlaka kompozit içindeki oranı PVC' den aşağı olmalıdır [68].

Ming lu, Jianjun Zhau ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışmada, lateks formundaki çapraz bağlı polistiren (PS) partikülleri serbest radikal emülsiyon polimerizasyonu ile sentezlendi. Nano-PS dolgulu elastomer kompozitler enerji tasarrufu sağlayan lateks bileşiklendirme yöntemi ile hazırlandı. Sonuçlar, PS parçacıklarının dar bir boyut dağılımı ile 40-60 nm boyutunda bir şekil olduğunu ve PS nanopartiküllerinin caösi geçiş sıcaklığının çapraz bağlama yoğunluğu ile arttığını gösterdi. Mekanik özelliklerden elde edilen sonuçlar, stiren-bütadien kauçuğu (NBR) ve doğal kauçuğu (NR) doldurulduğunda çapraz bağlanmış PS nano parçacıklarının üçünün hepsinde mükemmel güçlendirme yetenekleri sergilediğini göztermiştir. Karbon karası dolgulu kompozitlere kıyasla, çapraz bağlı PS partikül dolgulu elastomer kompozitlere kıyasla, çapraz bağlı PS partikül dolgulu elastomer kompozitlerin diğer bir belirgin avantajının, son ürünlere eklendiğinde muazzam miktarda enerji tasarrufu sağlamaya yardımcı olabilecek şekilde yoğunluğunun düşük olmasıdır [69].

Ayman A. Aly, Moustafa M. Mahmoud, Adel A. Omar'ın 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada, Polistirene (PS) farklı oranlarda karbon nanopartikül eklenerek, üretilen nanokompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, nanopartikül katkılı kompozit üretildi. Üretilen kompozit malzemede mikrosertlik CNPs içeriği ile yaklaşık olarak % 0,2 oranında arttı. Bu durum CNPs maksimum kullanımının polistiren matrisi içinde iyi ıslanma ve homojen dağılma sağladığını göstermiştir. Çekme dayanımı karbon içeriği arttıkça arttı. Bu genel olarak mekanik özellikleri arttıran polistiren matrisindeki CNPs' nin güçlendirici etkisine bağlıdır. Ps- karbon nanopartikül kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri umut vericidir. Karbon nanopartikülleri ile doldurulmuş PS bazlı kompozitler, artan yük ile birlikte sürtünme katsayısı değişkenliği gösterir. Ağırlıkça % 0,5 CNPs içeren PS kompozitler 6N uygulanan yükte en küçük sürtünme katsayısını gösterirken, maksimum değerler her zaman 5N uygulanan yükte görülmüştür. Genel olarak, sürtünme katsayısı değerleri birçok pratik uygulamaya sahip

olacak kadar düşüktür. CNPs-PS kompozitleri özellikle ağırlıkça % 0,7 ve % 1, kritik bir değerden daha yüksek yüklerde meydana gelen muhtemel plastikleşme ve sertleştirilmiş CNPs ile doğrudan temas nedeniyle yüksek aşınma direnci göstermiştir. Deneysel gözlemlere dayanarak, karbon nanopartiküllerin yüzdesi arttıkça sertliğin arttığı ve sonuç olarak sürtünme katsayısının belirgin şekilde azaldığı bulunmuştur [70].

Supanat Phattareteera ve arkadaşlarının 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada, uyumlaştırıcı olarak stiren-ko- maleik anhidrit (SMA) ile ağlayıcı madde olarak yst-aminopriltrimetoksi silan kullanılarak zeolit arasındaki ara yüzey etkileşimi araştırıldı. Her biri ağırlıkça % 0,1, % 1,5, % 2,0 oranlarında polistiren ve zeolit çift vidalı ekstrüderde yüksek hızla karıştırıldı. Birleştirme ajanının ve bağdaştırıcı maddenin etkisi sırasıyla; FTIR, termal gravimetrik analizör, evrensel test makinası ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak PS/zeolit kompozitlerin kimyasal etkileşimi, termal, mekanik ve morfolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca yanıcılık ve dikey yanma testi de yapılmıştır. Zeolit ağırlıkça % 1,5 SMA uygulandığında iyi dağılmış ve üstün termal stabilite göstermiştir. PS ve zeolit arasındaki ara yüzey etkileşimi FTIR ve gerilme özellikleri ile gösterilebilir. Bağlayıcı olarak SMA kullanımı PS ve zeolit arasındaki ara yüzey yapışmasının, gerilme dayanımı bağlanma maddesi olarak silan kullanımına nispeten daha yüksek değerlere neden olduğunu göstermiştir. PSZ/ SMA PS ve PSZ/ Silan karışımından daha düşük yanma hızı göstermiştir [71].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen kristalize polistiren, takviye elemanı olarak ise çok duvarlı karbonnanotüp ve 30 µm parçacık boyutlu grafen nanopartikülü kullanılmıştır. Saf polistirene ağırlıkça %0,1, 0,2 ve 0,3 oranlarında nano takviyeler eklenmiş ve plastik enjeksiyon yöntemiyle malzemeler üretilmiştir. Malzemelerin üretim aşamasında kristal polistirenler eritilip nano takviyelerle birleştirilip kalıplara dökülerek üretilmiştir. Birleştirme esnasında malzemelerin homojen dağılımı için 80 Rpm hızında 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra önceden hazırlanmış 50x130 mm boyutlarında kalıplara dökülmüştür. Üretilen kompozit malzemelere öncelikle mikroyapı karakterizasyonu yani SEM ve AFM analizleri, mekanik özellikleri ise sertlik ve çekme deneyleri yapılarak incelenmiştir.

2.1.2. Deneysel Malzemeler

Çalışmamızda kullanılan kristalize polistiren İzmir Dinamik Isı firmasından temin edilmiştir. Çizelge 3.1’de kristalize polistiren fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılan karbonnanotüp ve grafen nanopartiküller nanografiden temin edilmiş olup, Çizelge 3.2’de ve Çizelge 3.3’de özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kristalize PS fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Polistiren
Yoğunluk	1,03-1,06 g/ml
Maksimum Sıcaklık Dayanımı	70°C
Erime Sıcaklığı	210-250 °C
Özgül ısı	1,34 kg/kg°C

Çizelge 2.2 CNT fiziksel ve kimyasal özellikleri

	CNT
Spesifik Yer Çekimi (g/cm ³)	0,8
Elektrik iletkenliği (s/cm)	10-10
Termal İletkenlik (W/Mk)	6000
Termal Genleşme Katsayısı (K ⁻¹)	ihmal
Havadaki termal Kararlılık (OC)	600

Çizelge 2.3 Grafen fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Grafen
Hibrit Şekli	Sp ²
Tabaka Sayısı	Tek Tabakalı
Kristal Yapısı	Hekzagonal
Boyut	İki
Saflık Derecesi (%)	99
Kütlesel Yoğunluk	0,3
Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	2,25

Kalınlık (nm)	1-2
Yüzey Alanı (m ² /g)	2600
Yüksek Sıcaklık Direnci	-75+200°C arasında özellikleri değişmiyor
Termal İletkenliği (WK ⁻¹ /m)	4840-5300
Elektron Hareketliliği cm ²	2,5×10 ⁵
Elastisite Modülü (TPa)	1

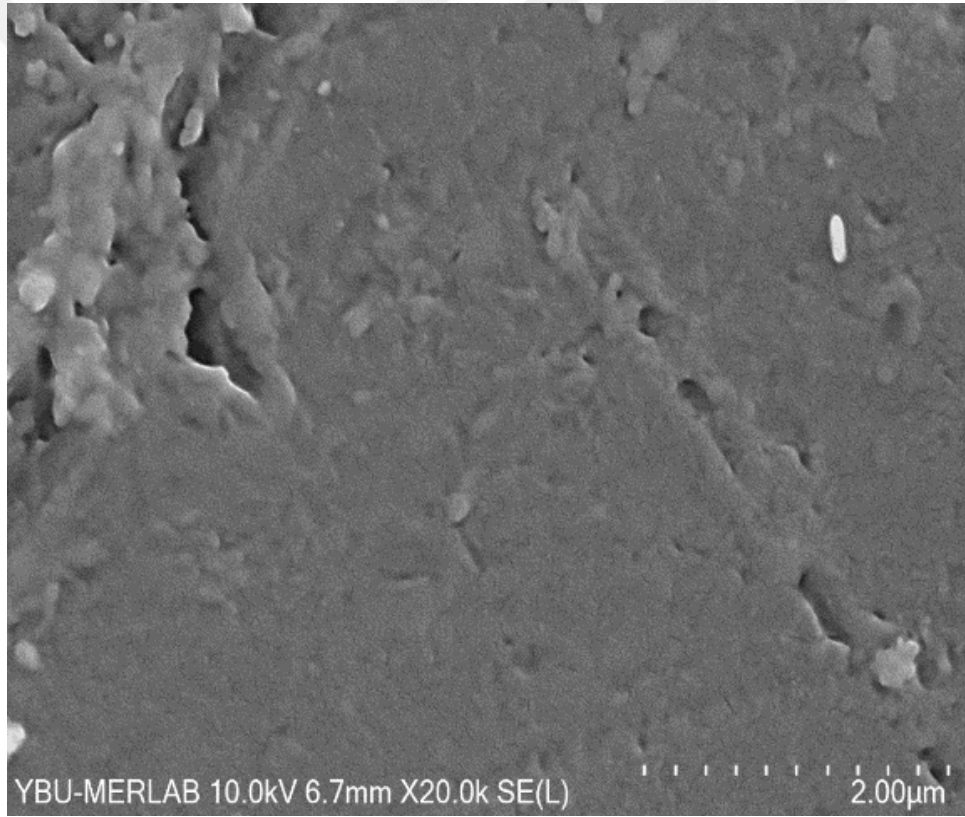
2.2.Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen kristalize polistiren, takviye elemanı olarak ise çok duvarlı karbonnanotüp ve 30 µm parçacık boyutlu grafen nanopartikülü kullanılmıştır. Saf polistirene ağırlıkça %0,1, 0,2 ve 0,3 oranlarında nano takviyeler eklenmiş ve plastik enjeksiyon yöntemiyle malzemeler üretilmiştir. Malzemelerin üretim aşamasında kristal polistirenler eritilip nano takviyelerle birleştirilip kalıplara dökülerek üretilmiştir. Birleştirme esnasında malzemelerin homojen dağılımı için 80 Rpm hızında 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra önceden hazırlanmış 50x130 boyutlarında kalıplara dökülmüştür. Üretilen kompozit malzemelere öncelikle mikroyapı karakterizasyonu yani SEM ve AFM analizleri, mekanik özellikleri ise sertlik ve çekme deneyleri yapılarak incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

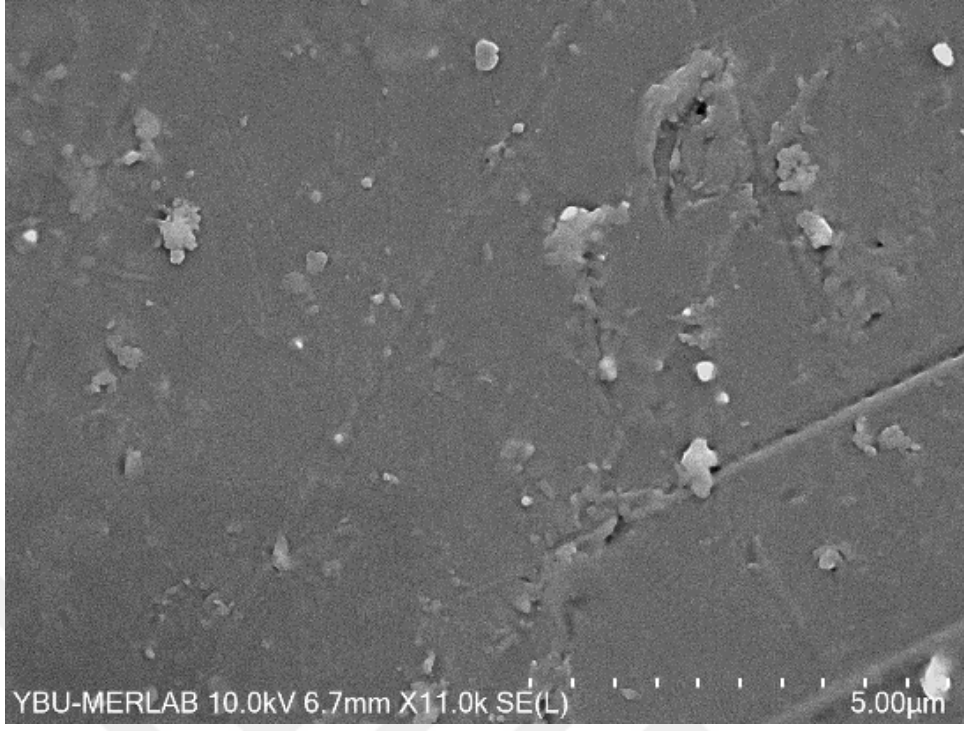
3.1.SEM Analizi

Kompozit malzemelerin yüzey görüntülerinin elde edilmesi için Yıldırım Beyazıt Üniversitesinde Hitachi SU5000 marka cihazla SEM analizleri yapılmıştır.

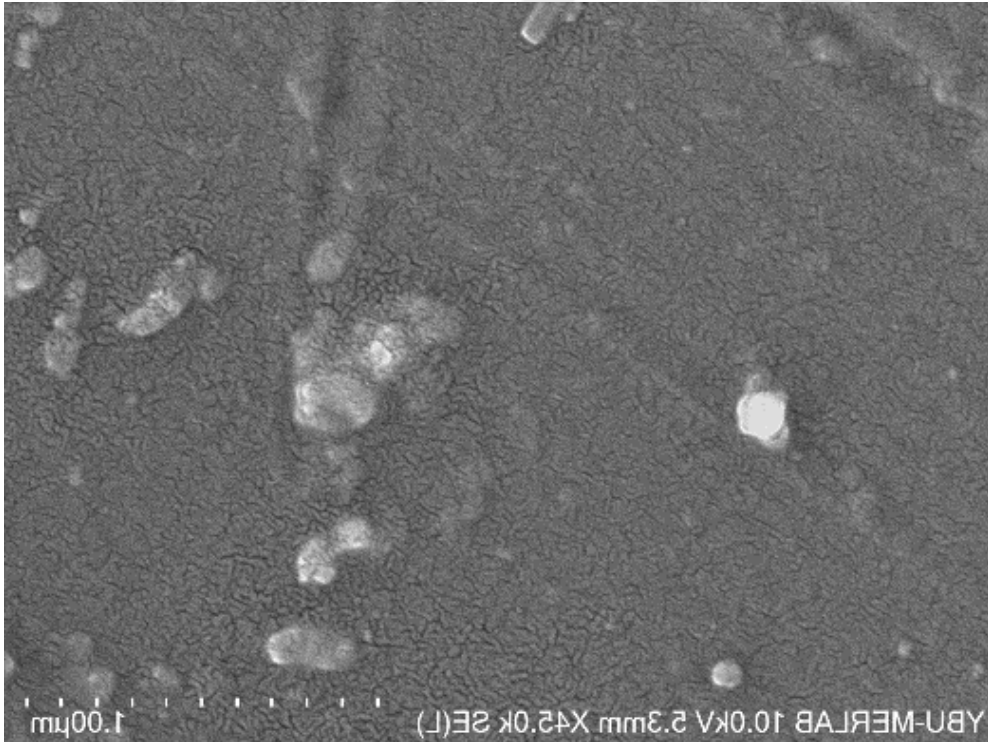


Şekil 3.1 Saf PS SEM görüntüsü

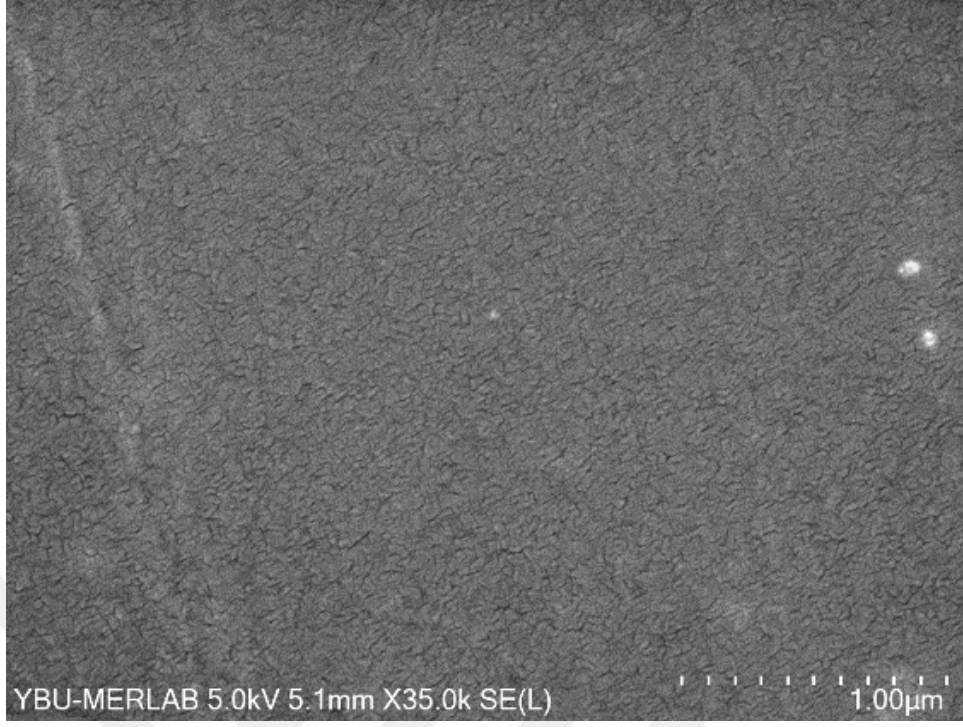
Saf polistiren in SEM görüntüleri incelendiğinde literatüre uyumlu bir görüntü olduğu ve homojen bir dağılım görülmüştür.



Şekil 3.2 % 0,1 Grafen takviyeli SEM görüntüsü



Şekil 3.3 % 0,2 Grafen takviyeli SEM görüntüsü

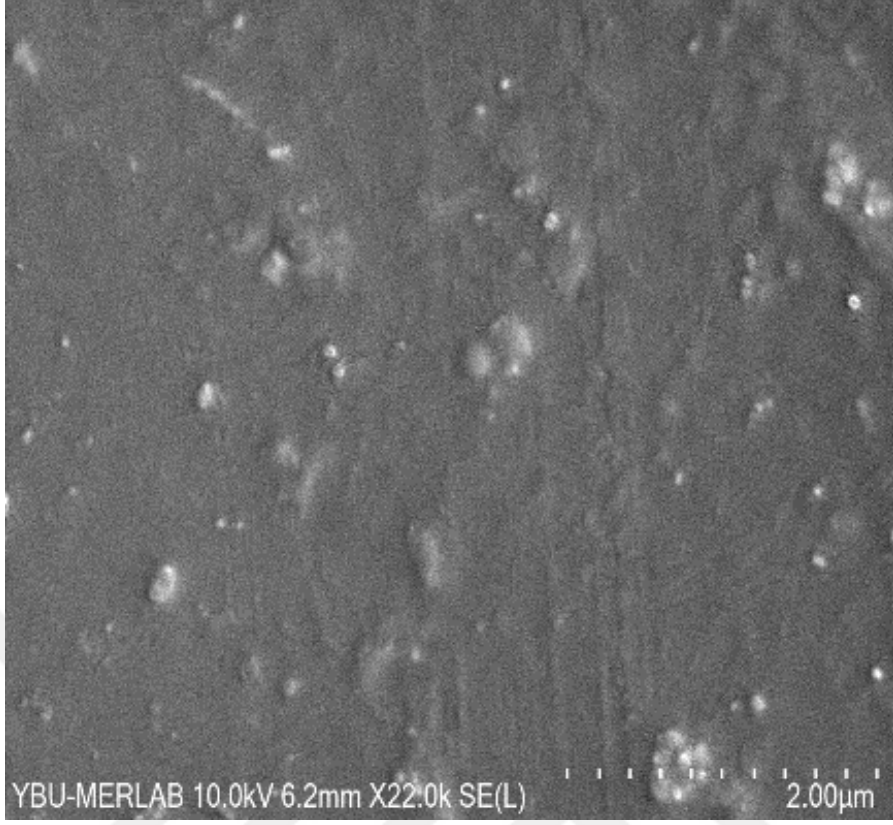


Şekil 3.4 %0,3 Grafen takviyeli SEM görüntüsü

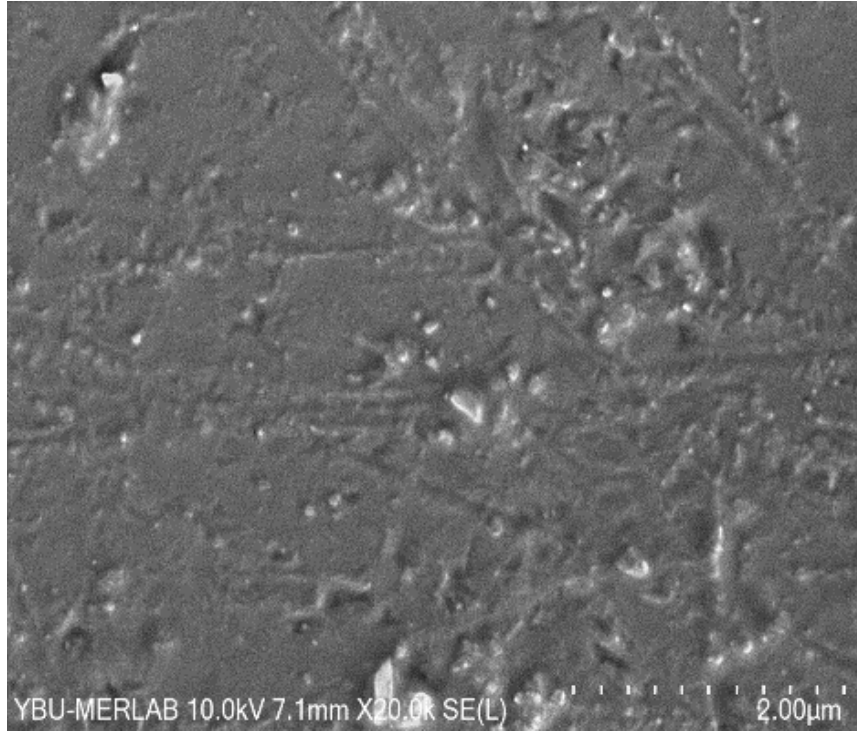
% 0,1 grafen katkıli kompozitlerin SEM görüntüsü incelendiğinde numune yüzeyinde bir toplanma görülmemiştir. Tüm yüzey alanına dağılmış çok sayıda küçük beyaz noktaların olduğu gözlemlenmiştir.

%0,2 grafen katkıli numunelerin yüzeyi incelendiğinde ise yüzey alanına dağılmış olan beyaz noktacıkların daha küçük ve daha fazla yayılmış oldukları görülmektedir. Buradaki yapı % 0,1 grafen katkıli kompozite göre daha katmanlı bir görüntü vermektedir.

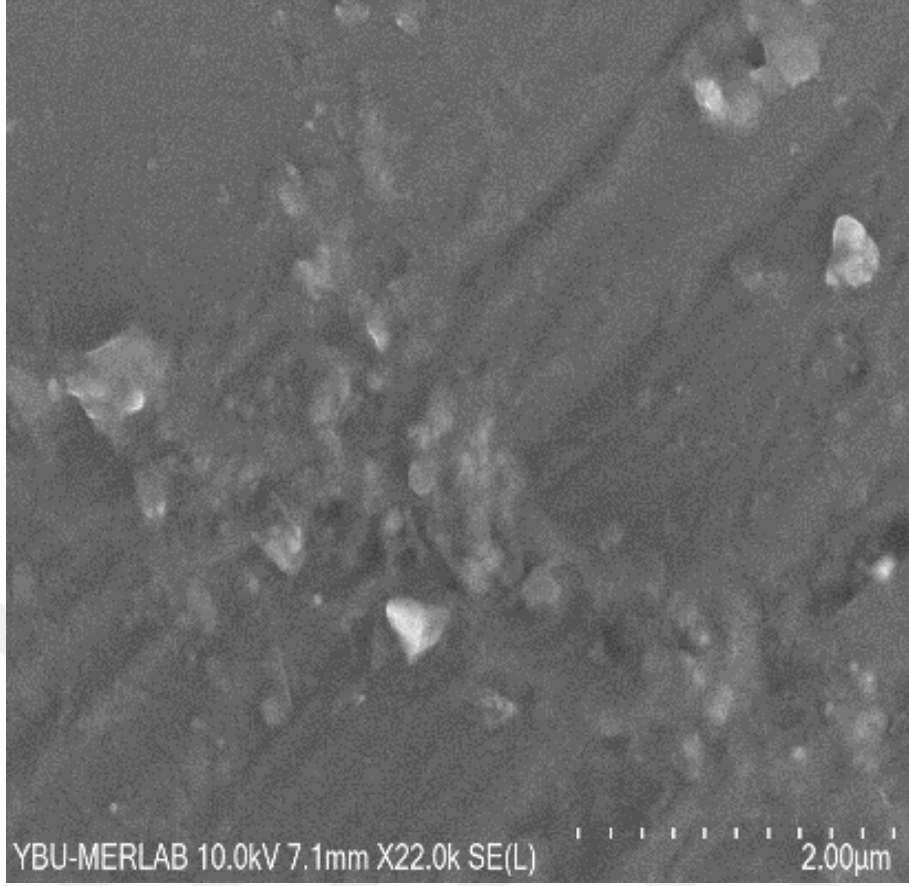
% 0,3 grafen katkıli kompozitlerin SEM görüntüsü incelendiğinde diğer iki görüntüye göre takviye malzemesinin oldukça homojen bir dağılım yaptığı açıkça görülmektedir. Ayrıca safsızlık yüzdesi en düşük bu ağırlık oranındaki kompozit malzemedir.



Şekil 3.5 % 0,1 CNT takviyeli SEM görüntüsü



Şekil 3.6 % 0,2 CNT takviyeli SEM görüntüsü



Şekil 3.7 % 0,3 CNT takviyeli SEM görüntüsü

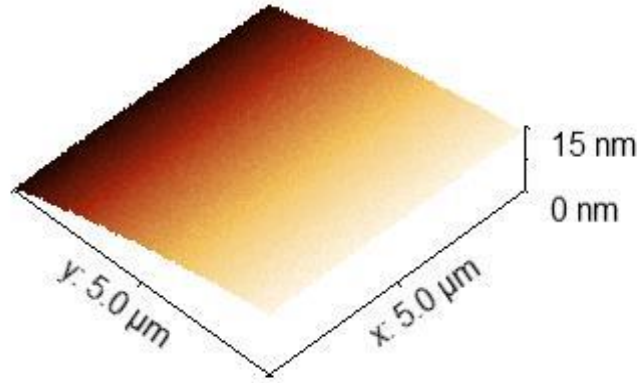
Çıkan görüntüler incelendiğinde kompozit yapının homojen olduğu görülmüştür. Üretim koşullarına bağlı olarak bir miktar safsızlık görülmektedir.

%0,2 karbonnanotüp katkılı kompozitin SEM görüntüsünde nanotaniciklerin yapı içerisindeki dağılımının homojen olduğuna karar verilmiştir. Nanotanicikler matris malzemeye uyum yakalamış ve uniform dağılım yapmıştır.

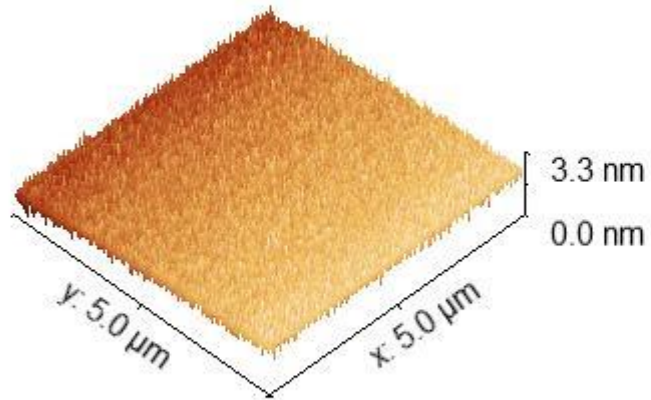
%0,3 katkılı kompozitlerde ise yapı içerisinde az miktarda safsızlıklar görülmektedir.

Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapı içerisindeki safsızlıkların çok az miktarda olduğu görülmüştür. Genel olarak takviye malzemeleri polimer matris içinde uyumla hareket ederek homojen dağılım yapmıştır. Kompozit malzeme oluşumu esnasında polimer ve takviye malzemeleri arasındaki yüzey etkileşimi malzemelerin homojen dağılımına etkisi olmuştur.

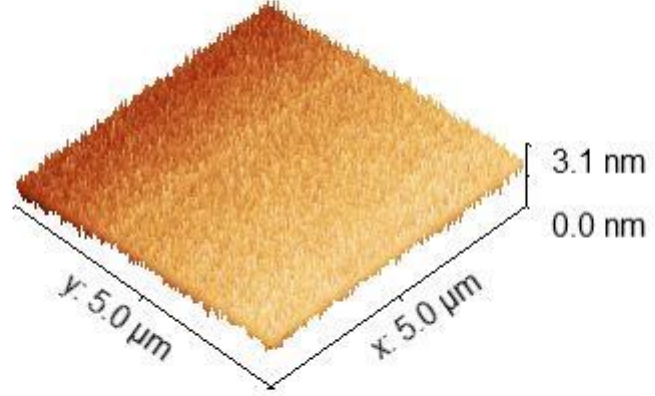
3.2.AFM Analizi



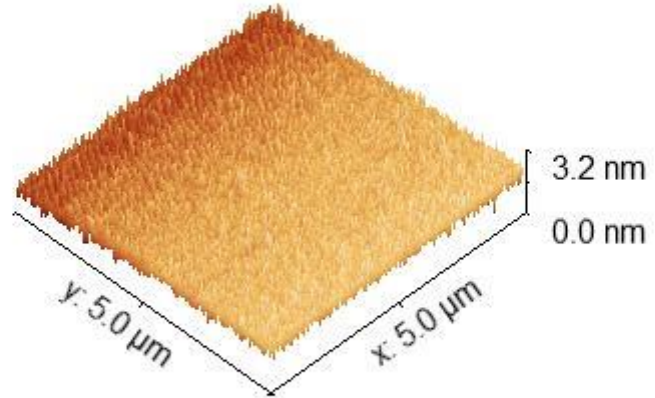
Şekil 3.8 Saf PS AFM görüntüsü



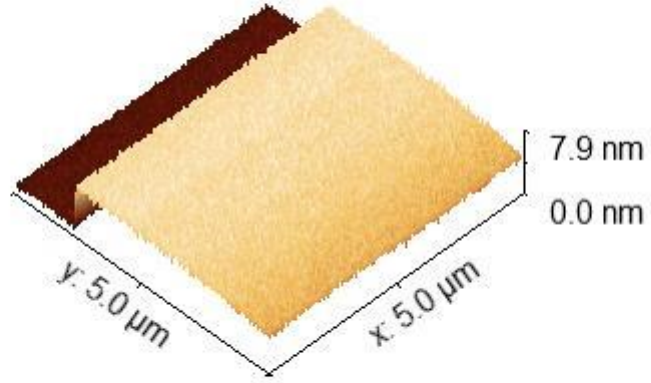
Şekil 3.9 %0,1 CNT takviyeli PS görüntüsü



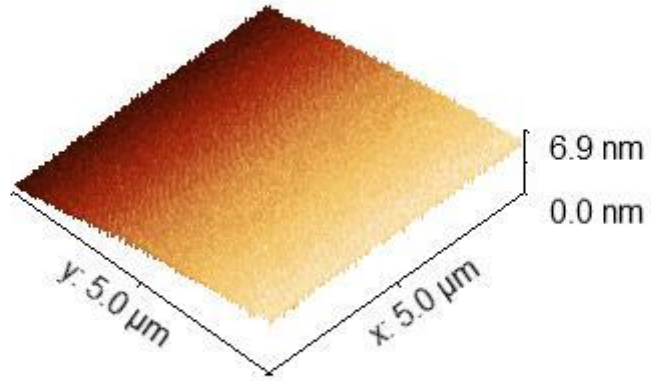
Şekil 3.10 %0,2 CNT takviyeli PS görüntüsü



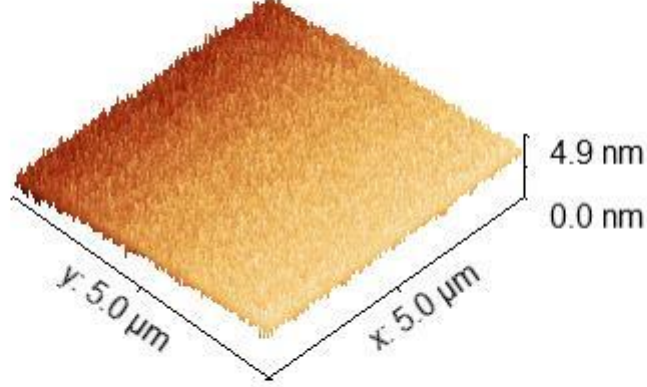
Şekil 3.11 %0,3 CNT takviyeli PS görüntüsü



Şekil 3.12 %0,1 Grafen takviyeli PS görüntüsü



Şekil 3.13 %0,2 Grafen takviyeli PS görüntüsü



Şekil 3.14 %0,3 Grafen takviyeli PS görüntüsü

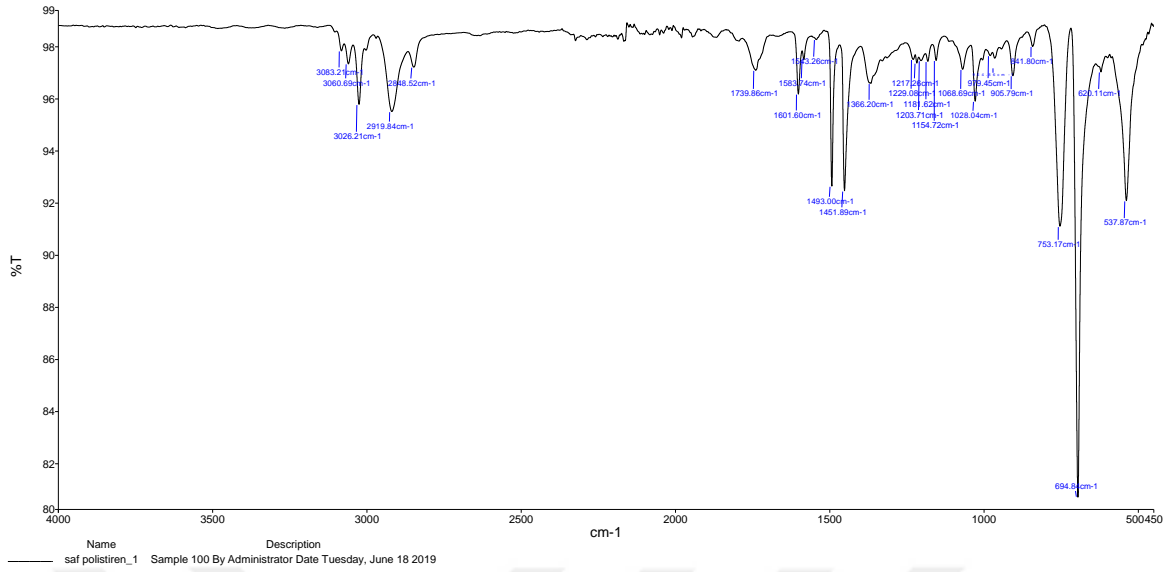
Saf polistiren ve % 0,1, 0,2, 0,3 grafen ve karbonnanotüp takviyeli kompozit malzemelerin morfolojik incelemeleri laboratuvarımızda bulunan TT-2 AFM mikroskobu ile yapılmıştır. Basınç yardımı ile disk haline getirilen kompozit numunelerinin alınan üç boyutlu görüntüleri 5 nm× 5nm lik bir alanı tasvir etmektedir. AFM analizi, yüzeyin fiziksel özellikleri ve topografisini yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntülenmesini sağlar. AFM üç boyutlu bir yüzey görüntüsü üzerinde incelemeye olanak sağlamakla birlikte yüzey pürüzlülüğü parametrelerini rakamsal olarak da verir. Buradaki RMS değerleri bize malzemenin yüzey pürüzlülüğü hakkında bilgi verir. RMS değeri düştükçe yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Bu çalışmada RMS değerlerinin saf polistiren' e göre takviye malzemeli kompozitlerde takviye yüzdesi arttıkça azaldığı görülmüştür. RMS değeri saf polistiren için 3,775 nm, % 0,1 takviyeli grafen kompoziti için 2,042 nm ve % 0,3 grafen takviyeli kompozit için 791,7 pm olarak okunmuştur. Buradan da görüldüğü üzere RMS değeri düştükçe, malzeme pürüzlülüğü azalmıştır. Yani her iki takviye oranı arttıkça malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü belirgin bir şekilde azalmaktadır. Ayrıca kompozit numunelerinin elde edilen üç boyutlu AFM görüntüleri daha önce elde ettiğimiz SEM görüntüleri ile örtüşmekte olup takviye malzemelerinin kompozit içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

Çizelge 3.1 Saf PS ve takviyeli kompozitlerin roughness değerleri

	RMS roughness (Sq)	RMS (grain-wise)	Mean roughness (Sa)
Saf Polistiren	3,775 nm	3,775 nm	3,252 nm
% 0,1 Grafen takviyeli kompozit	2,042 nm	2,042 nm	1,694 nm
%0,2 Grafen takviyeli kompozit	1,458 nm	1,458 nm	1,254 nm
%0,3 Grafen takviyeli kompozit	791,7 pm	791,7 pm	655,5 pm
%0,1 CNT takviyeli kompozit	457,1 pm	457,1 pm	369,7 pm
% 0,2 CNT takviyeli kompozit	446,0 pm	446,0 pm	364,2 pm
%0,3 CNT takviyeli kompozit	411,4 pm	411,4 pm	332,2 pm

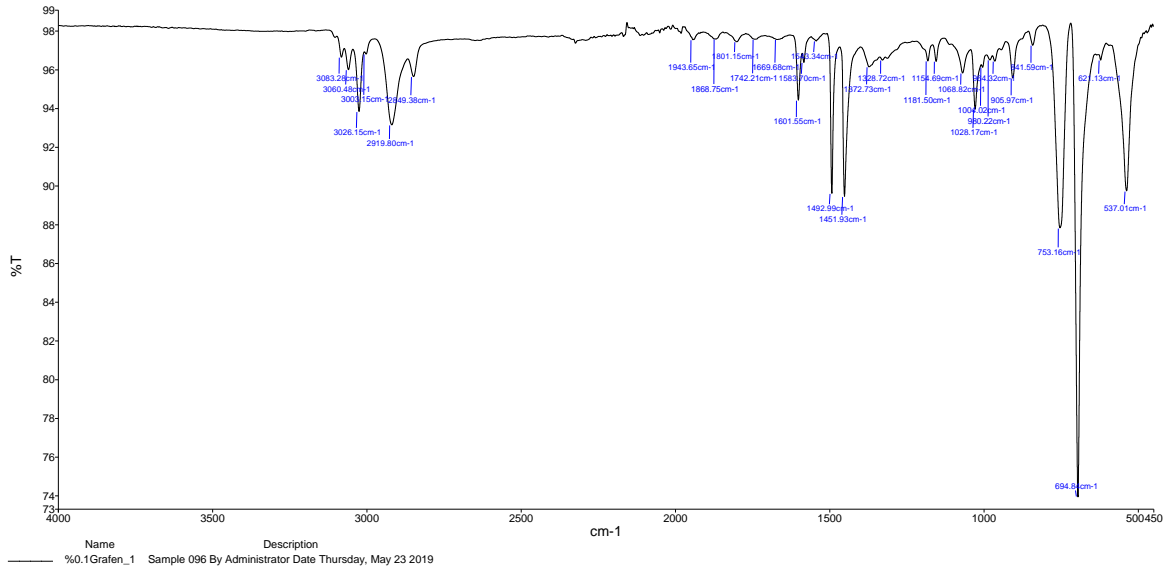
3.3.FTIR Analizi

Elektromanyetik ışımının organik maddeler tarafından soğutulması, moleküllerin içeriğindeki atom çeşitine, boyutuna bağlı olarak grafiksel yöntemler, organik maddenin kalitatif ve sayısal analizleri, yapılarının aydınlanması, safızlık kontrolü gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır [72]. FTIR çeşitli mikroorganizmaların kimyasal bileşimini karakterize etmek için kullanılacak hızlı, güvenilir, hassas ve ucuz bir tekniktir. Birçok FTIR çalışması grafiklerle desteklenerek spektral veri analizi yapılmaktadır [73]. Bu çalışmada elde ettiğimiz % 0,1, 0,2, 0,3 CNT, % 0,1, 0,2, 0,3 Grafen ve saf polistiren numunelere FTIR analizi yapılmıştır.



Şekil 3.15 Saf Polistiren FTIR Analiz Sonucu

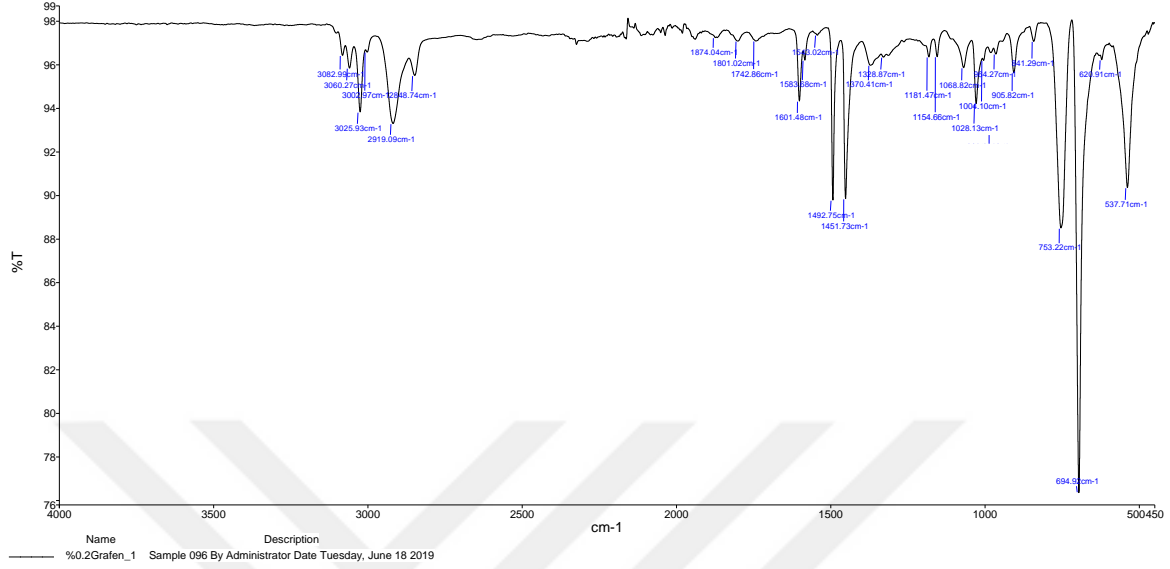
Saf polistiren $3026,21 \text{ cm}^{-1} - 2919,84 \text{ cm}^{-1}$ arası ödevli grup bölgesinde $-O-H$ bağları bulunmaktadır. $1739,86 \text{ cm}^{-1} - 1601,60 \text{ cm}^{-1}$ aralığında çift bağlar içerir. $1451,89 \text{ cm}^{-1}$ noktasındaki pikte tekli bağlar ($C-O$) görülür. En düşük pik noktası $694,84 \text{ cm}^{-1}$ noktasında görülür. $C-H$ bağlarının görüldüğü parmak izi bölgesidir.



Şekil 3.16 % 0,1 Grafen Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

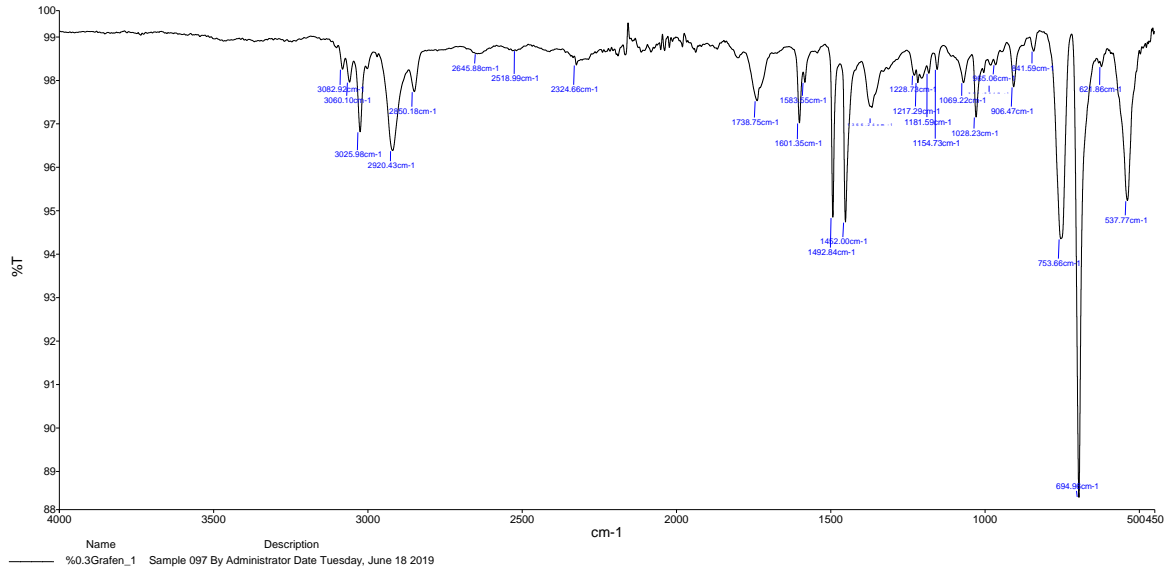
% 0.1 Grafen takviyeli nanokompozit numunemiz $29,1990 \text{ cm}^{-1}$ ' de ilk pikini yapmıştır. $-C-H$ bağlarının olduğu bölgedir. $1601,55 \text{ cm}^{-1}$ noktasında çift bağların $C=C$ bağlarının

görüldüğü noktadır. Aromatik ve alifatik bölgedir. $1451,93 \text{ cm}^{-1}$ yaptığı noktada C-O tekli bağları görülür. $694,84 \text{ cm}^{-1}$ noktasında en düşük pik görülür ve C-H bağları vardır.



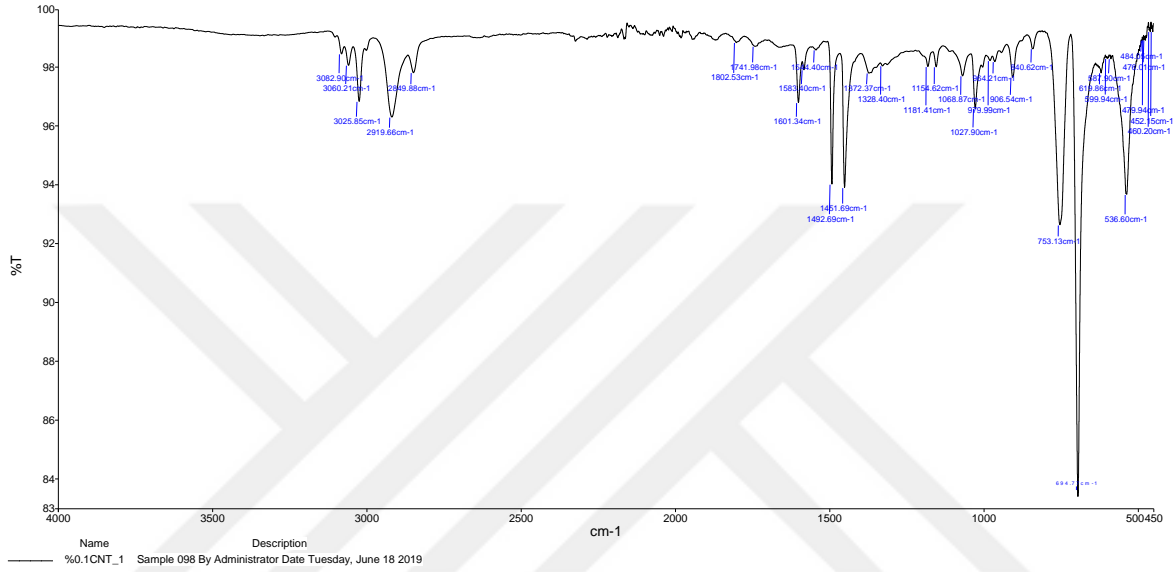
Şekil 3.17 % 0,2 Grafen Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

% 0.2 Grafen takviyeli nanokompozit numunemiz $2919,09 \text{ cm}^{-1}$ noktasında ilk pikini yapmıştır ve -C-H bağları görülür. $1451,73 \text{ cm}^{-1}$ noktasında C-O bağları görülür. $1601,48 \text{ cm}^{-1}$ de aromatik ve alifatik gruplar görülür. $694,92 \text{ cm}^{-1}$ noktasında en düşük pik görülür, C-H parmak izi bölgesidir.



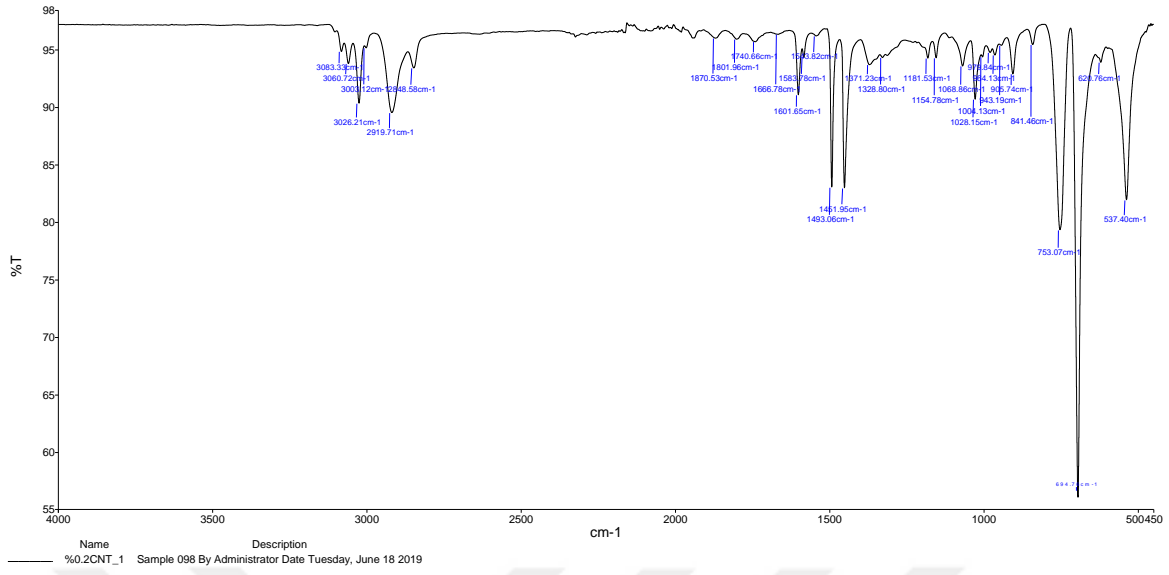
Şekil 3.18 % 0,3 Grafen Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

% 0,3 Grafen takviyeli numunemiz ödevli grup bölgesi olan $3025,98 \text{ cm}^{-1}$ - $2920,43 \text{ cm}^{-1}$ aralığında pikler yapmış ve $-O-H$ hidrojen bağları görülmüştür. $2334,66 \text{ cm}^{-1}$ - $1738,75 \text{ cm}^{-1}$ aralığı doymamışlık bölgesidir ve $-C\equiv C-$ üçlü bağlarını içerir. $1492,84 \text{ cm}^{-1}$ noktasında yaptığı pikte tekli bağlar $C-O$ görülür. $1601,35 \text{ cm}^{-1}$ - $1738,75 \text{ cm}^{-1}$ arası aromatik ve alifatik grupların olduğu bölgedir ve $C=C$ çift bağlarını içerir. $694,96 \text{ cm}^{-1}$ noktasında en düşük pik görülür $C-H$ bağlarını içerir.



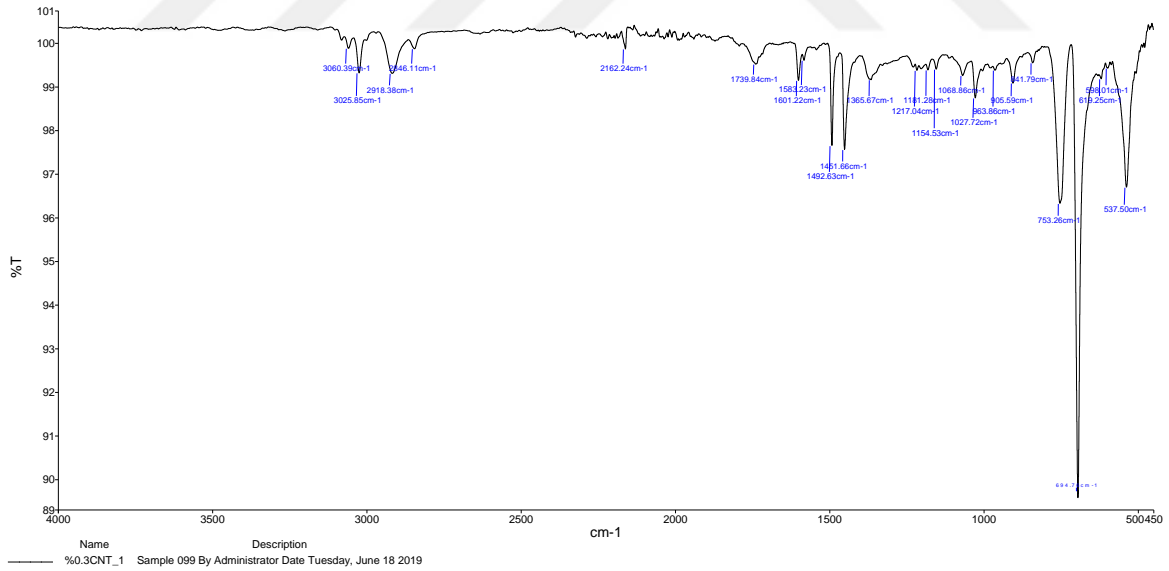
Şekil 3.19 % 0,1 CNT Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

% 0,1 CNT takviyeli numunelerin FTIR analizinde $3082,90 - 3025,85 \text{ cm}^{-1}$ arası moleküller arası hidrojen bağı bölgesidir ve $-CO-OH$ bağları görülür. 1492.69 cm^{-1} noktası tekli bağların olduğu bölgedir ve $C-O$ bağları görülür. $1601,34 \text{ cm}^{-1}$ noktasında ise çift bağlar görülür. En düşük pik ise $753,13 \text{ cm}^{-1}$ noktasında görülür $C-H$ bağlarının bulunduğu bölgedir.



Şekil 3.20 % 0,2 CNT Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

% 0,2 CNT takviyeli numunemizin $3026,21- 2919,71 \text{ cm}^{-1}$ aralığında $-C-H$ bağları görülür. $1461,95 \text{ cm}^{-1}$ noktasında tekli bağlar görülür $C-O$ bağları görülür. En düşük pik $694,76 \text{ cm}^{-1}$ 'de ve $C-H$ bağları görülür.



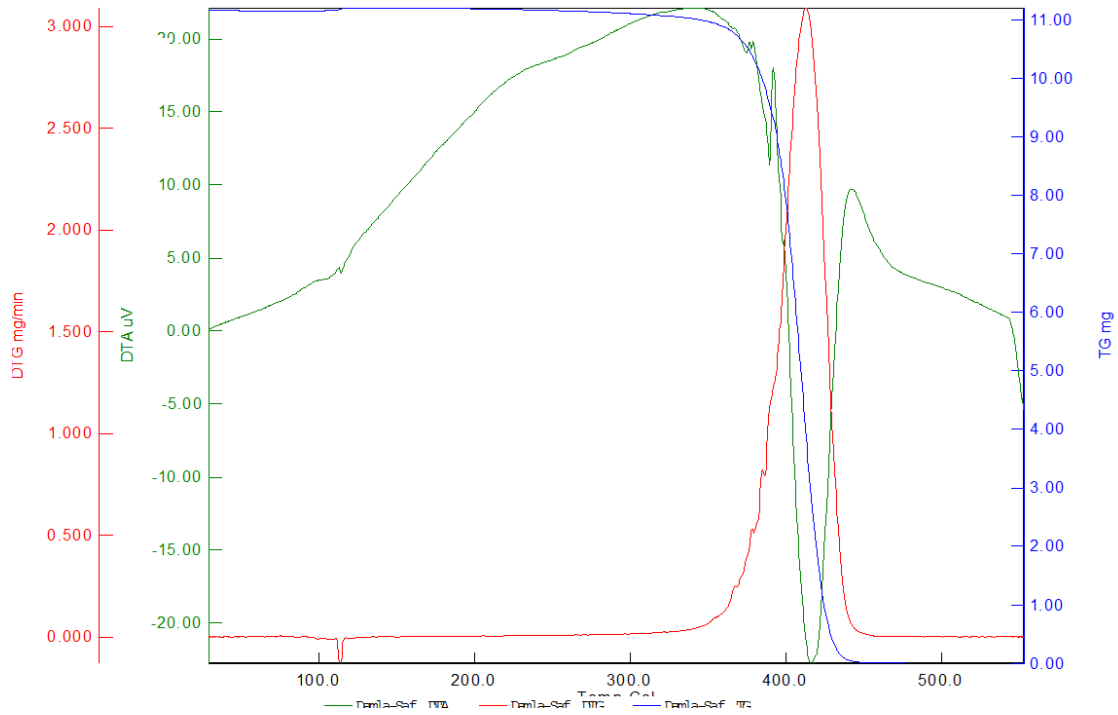
Şekil 3.21 % 0,3 CNT Takviyeli Nanokompozit FTIR Sonucu

% 0,3 CNT takviyeli numunemizin $3025,85 \text{ cm}^{-1}$ noktasında $-C-H$ bağları görülür. $2162,24 \text{ cm}^{-1}$ noktasında üçlü bağlar $-C\equiv C-$ görülür ve doymamışlık bölgesidir. $1451,66$

cm^{-1} noktasında C-O tekli bağları görülür. En düşük pik noktası $694,76 \text{ cm}^{-1}$ de C-H bağları görülür.

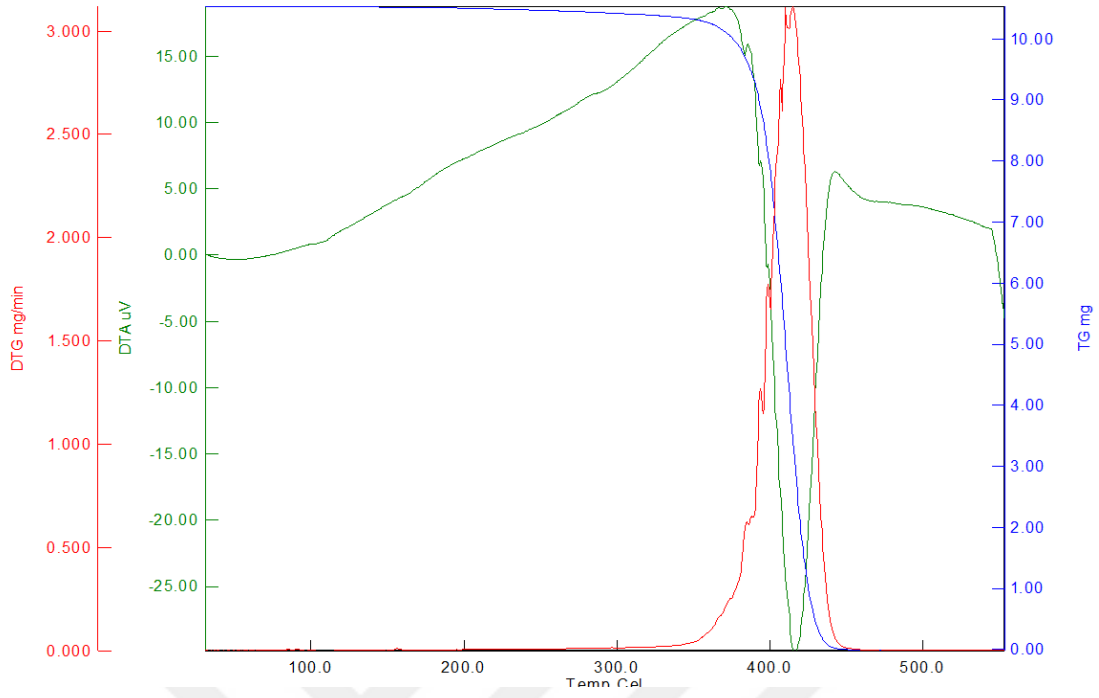
3.4.TGA Analizi

Termal analiz, bir numuneye belli bir sıcaklık verilerek kontrollü bir şekilde reaksiyondaki ürünlerin fiziksel yapısını sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçmeye yarayan yöntemdir. Bu yöntemle birçok endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kalite ve kontrol çalışmaları yapılabilmektedir. Termogravimetrik analiz (TGA) bir numunenin miktarında sıcaklıkla birlikte ortaya çıkan ağırlık kaybının sayısal değerini ölçer. Bir numunenin su kaybı ve bozunması esnasında kütle değişimi zaman ve sıcaklığa bağlı olarak gözlemlenebilir. Artan sıcaklıkla birlikte kimyasal ve fiziksel reaksiyonlarda gerçekleşen bağların kolması sonucu kütle kaybı meydana gelmektedir. Ağırlık ve ağırlık yüzdesinin zaman karşısında göstermiş olduğu grafik termogram veya termal bozunma eğrisi olarak adlandırılır [74].



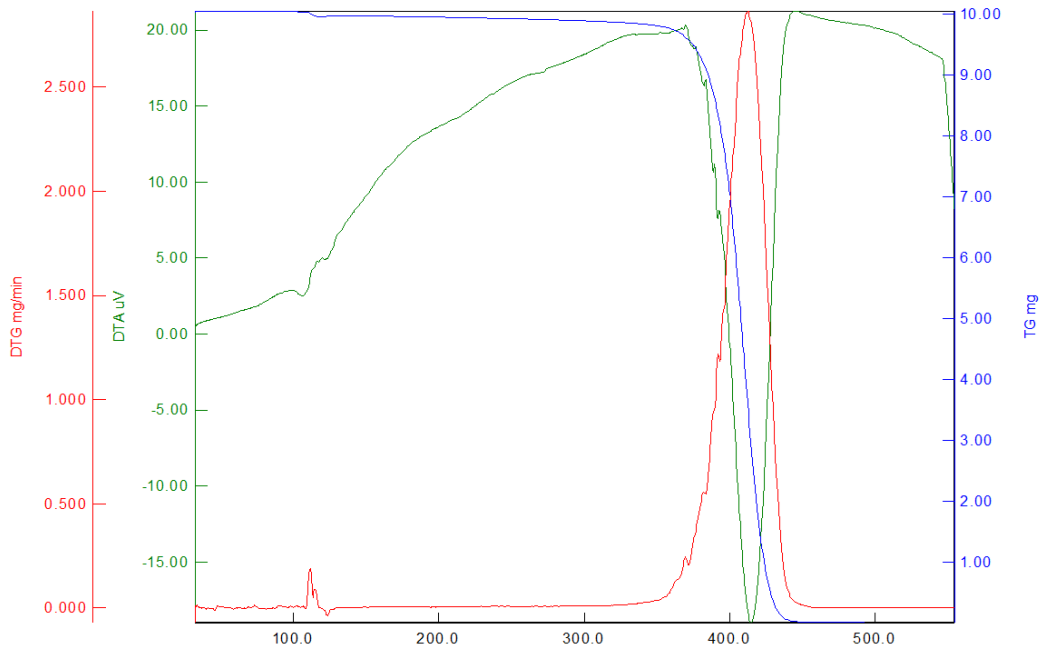
Şekil 3.22 Saf polistiren TGA sonuçları

Grafikte TGA eğrisine bakıldığı zaman saf polistirenin bozunma sıcaklığı $380 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak okunmuştur. Bu değer literatür sonuçları ile örtüşmektedir.



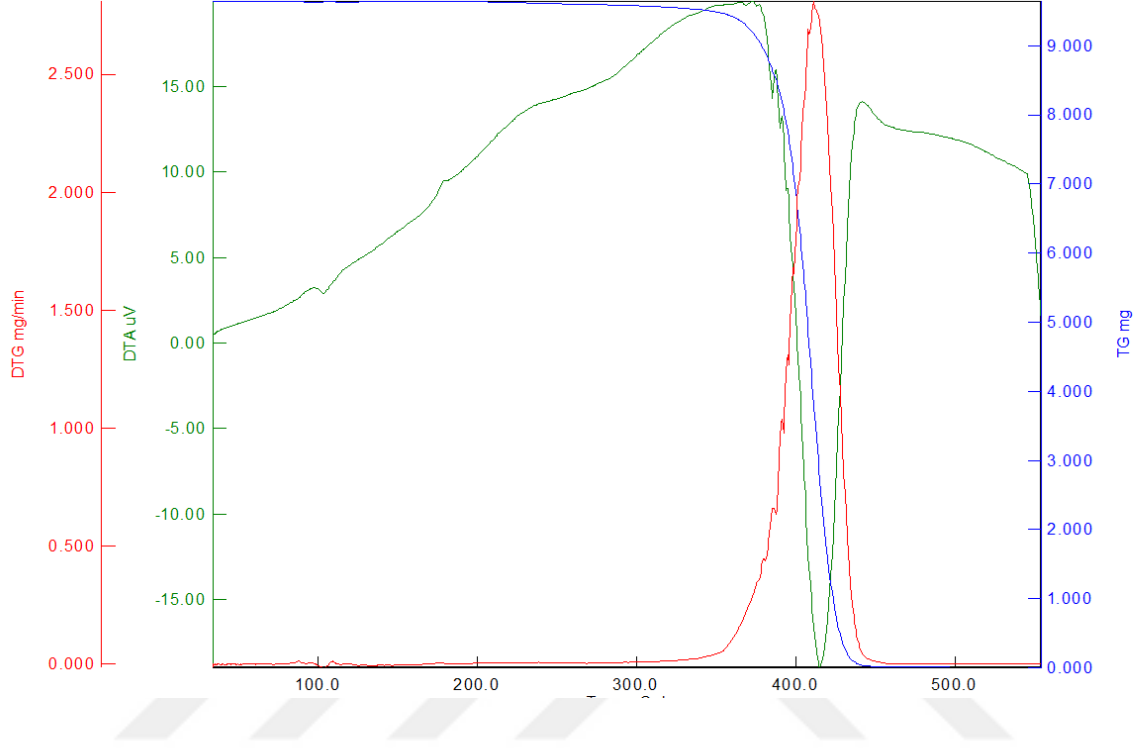
Şekil 3.23 %0,1 Grafen TGA sonuçları

Buradaki TGA eğrisinde ise %0,1 grafen katkılı kompozitlerin bozunma sıcaklığının 382 °C' ye çıktığı görülmüştür. Düşük ağırlık oranlarında grafen eklenmesi bile malzemenin bozunma sıcaklığına olumlu katkı yapmıştır.



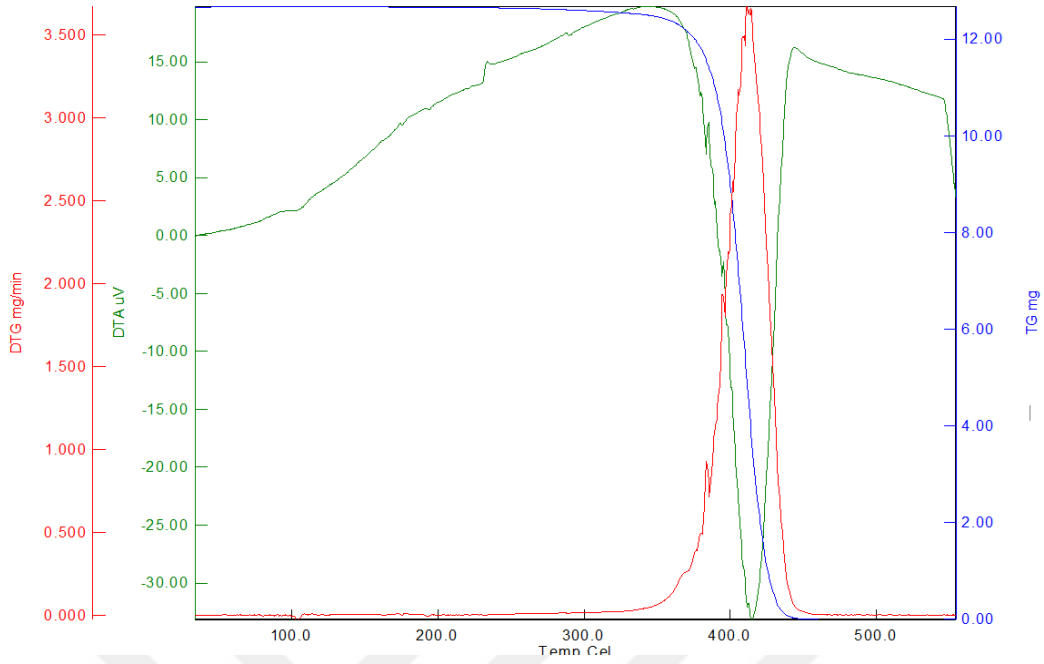
Şekil 3.24 %0,2 Grafen TGA sonuçları

Grafiğe bakıldığında %0,2 grafen katkılı kompozitlerin bozunma sıcaklığı 384 °C olarak okunmuştur. Grafen katkılı kompozitlerde ağırlık oranları arttıkça kompozit malzemenin bozunma sıcaklığı da doğru orantılı olarak yükselmektedir.



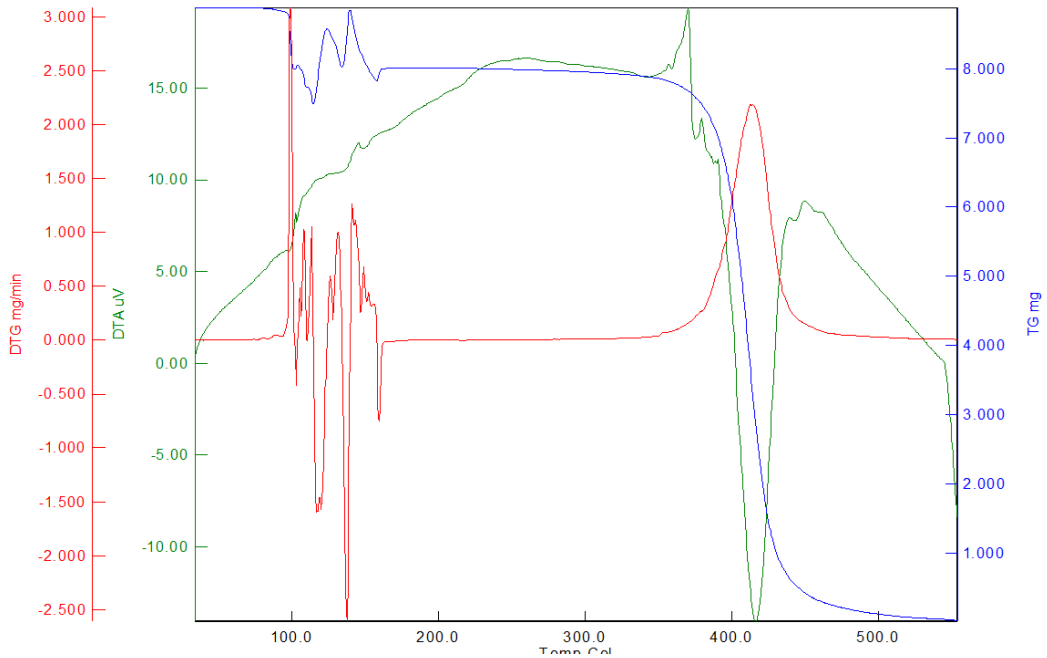
Şekil 3.25 % 0,3 Grafen TGA sonuçları

% 0,3 grafen katkılı kompozitlerde ise beklenildiği gibi malzemenin bozunma sıcaklığı artmıştır. Genel anlamda değerlendirildiğinde grafen katkısı kompozitlerin bozunma sıcaklığını olumlu etkilemiştir.



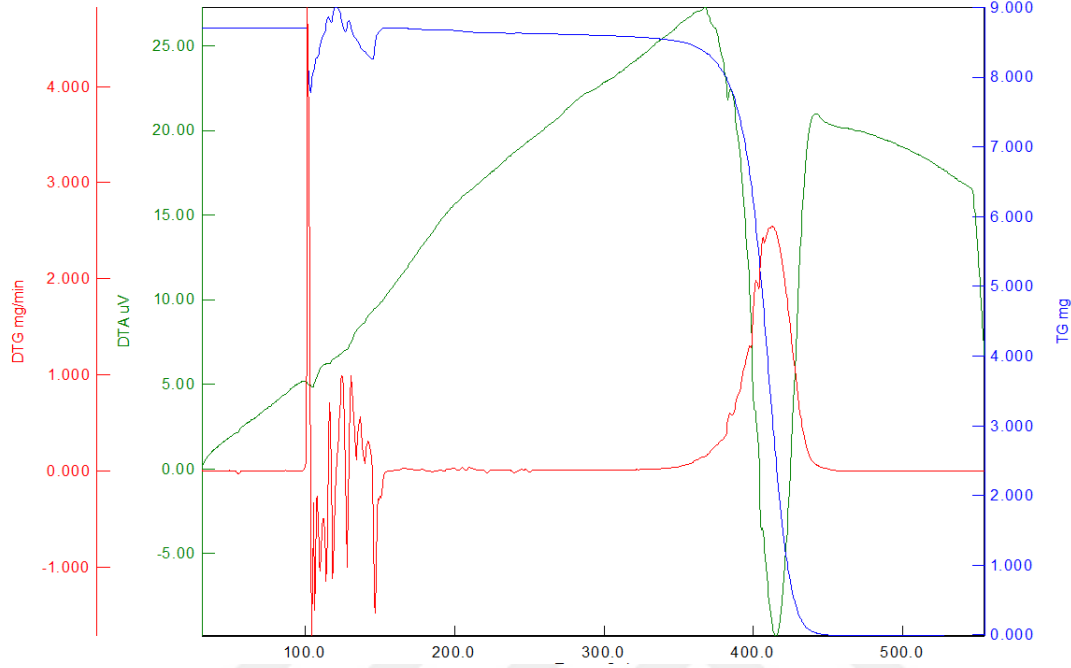
Şekil 3.26 % 0,1 CNT TGA sonuçları

Grafığe bakıldığında % 0,1 katkılı karbonnanotüp kompozitlerinin bozunma sıcaklığında saf polistirene göre herhangi bir değişim olmamıştır.



Şekil 3.27 % 0,2 CNT TGA sonuçları

Grafiğe bakıldığında % 0,2 karbonnanotüp katkılı kompozitlerin bozunma sıcaklığı yine aynı değerde kalmıştır. Karbonnanotüp katkısı grafen kadar olumlu etki sağlamamıştır.



Şekil 3.28 %0,3 CNT TGA sonuçları

Grafiğe bakıldığında % 0,3 karbonnanotüp katkılı kompozitlerin bozunma sıcaklığı 1 °C artmıştır. Karbonnanotüp katkısının grafen kadar olumlu etki yapması için ağırlık oranlarının daha fazla yükseltilmesi gerekmektedir.

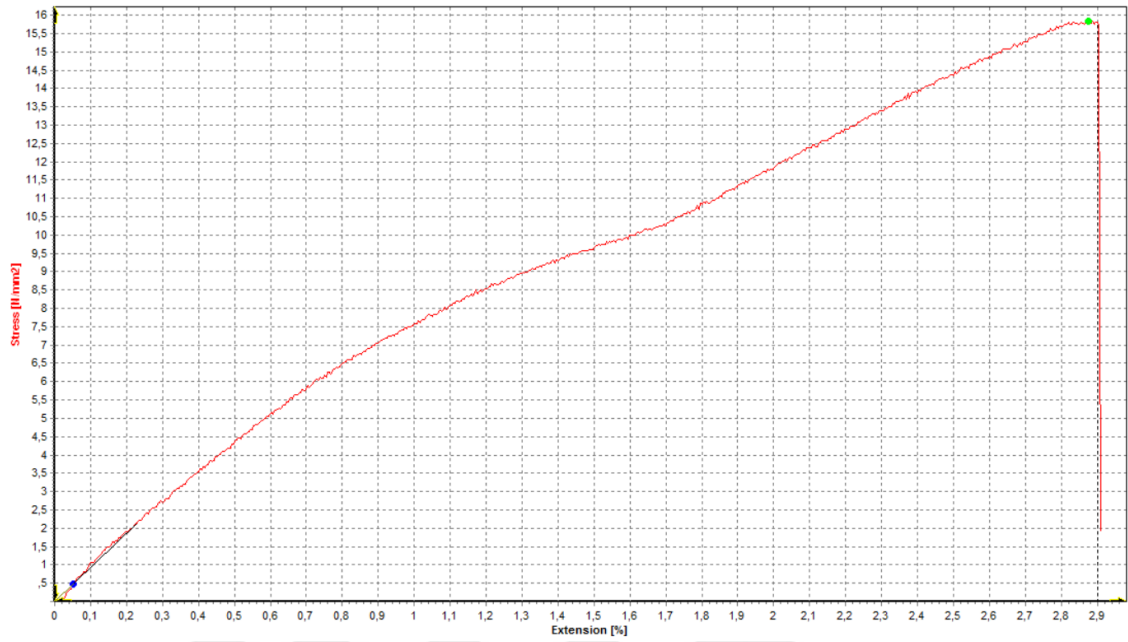
Yapılan TGA analizlerinde saf PS ve % 0,1, 0,2, 0,3 CNT ve % 0,1, 0,2, 0,3 Grafen kompozit numunelerin bozunma sıcaklıkları incelenmiştir. Grafiklere bakıldığında her iki takviye malzemesinde de PS polimerinin bozunma sıcaklığına olumlu etki yapmışlardır. Özellikle % 0,3 grafen katkılı kompozitler PS polimerinin bozunma sıcaklığına anlamlı katkı sağlamıştır. Karbonnanotüp katkılı PS kompozitlerinde ise grafen katkılı kompozitler kadar belirgin bir iyileşme olmamıştır. Kompozitlerin bozunma sıcaklıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.2 TGA bozunma sıcaklıkları

NUMUNE	BOZUNMA SICAKLIĞI
Saf Polistiren	380°C
% 0,1 CNT	380°C
% 0,2 CNT	380°C
% 0,3 CNT	381°C
% 0,1 Grafen	382°C
% 0,2 Grafen	384°C
% 0,3 Grafen	386°C

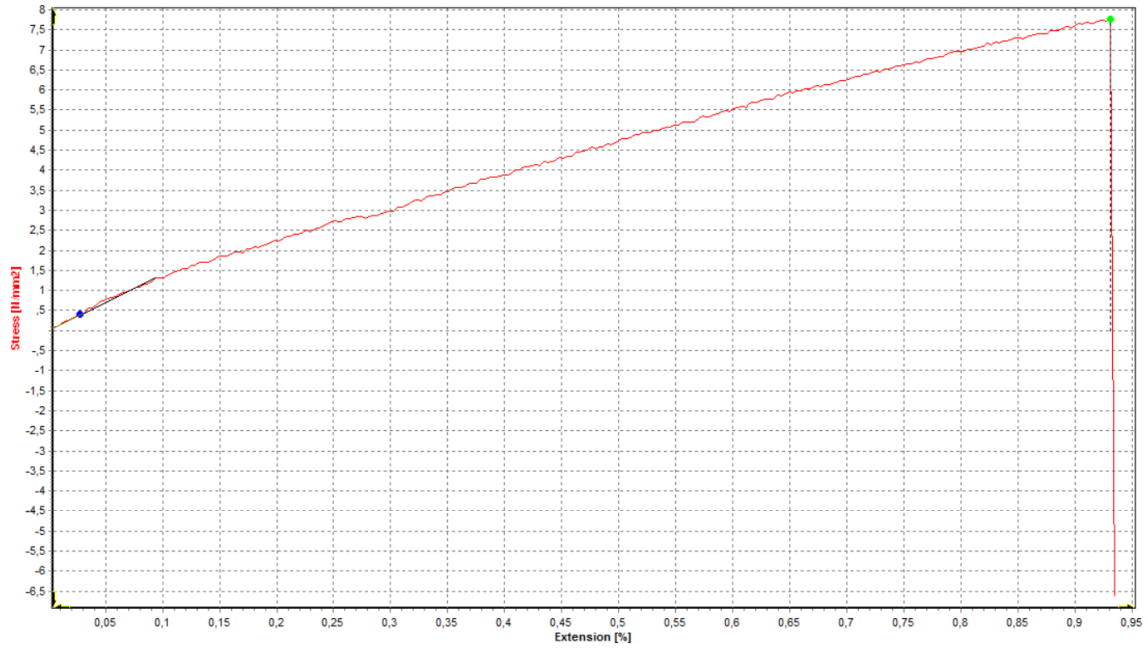
Grafen ve CNT katkılı kompozitlerde sıcaklık değişimi olmasının nedeni bu iki malzemenin yüksek ısı kararlılığına sahip olmasıdır. Grafen sahip olduğu ısı kararlılığı sayesinde malzemenin de kararlılığını artırarak bozunma sıcaklığını yükseltmiştir. Her iki katkıde de yüzde ağırlık oranları arttıkça ısı kararlılığı artmakta ve bozunma sıcaklığında iyileşme görülmektedir.

3.5.Çekme Testi



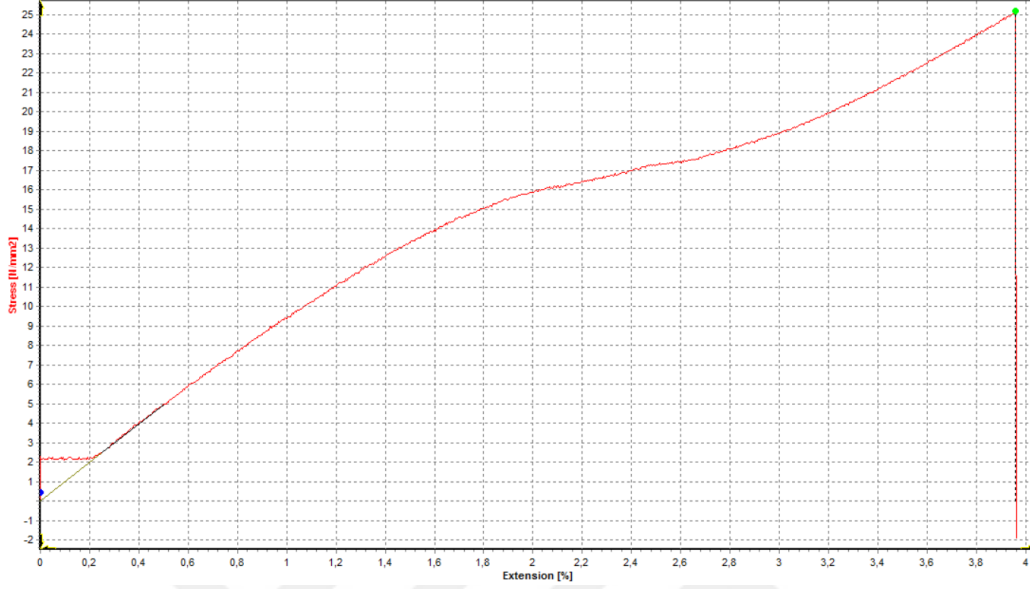
Şekil 3.29 % 0,1 Grafen takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Yukarıdaki grafiğe göre % 0,1 grafen katkılı kompozitlerde maksimum yüzde uzaması % 2,9 iken maksimum kopma dayanımı 15,75 N/mm² dir.



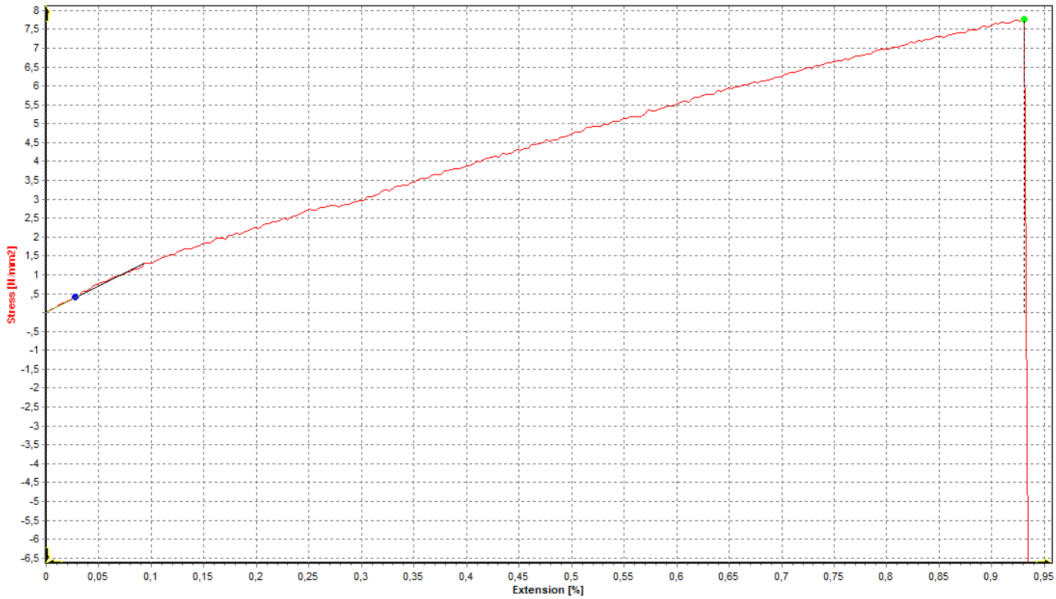
Şekil 3.30 % 0,1 CNT takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

% 0,1 karbonnanotüp katkılı kompozitlerde % 0,93 maksimum yüzde uzaması değeri elde edilirken, kopma dayanımı 7,75 N/mm² olarak okunmuştur.



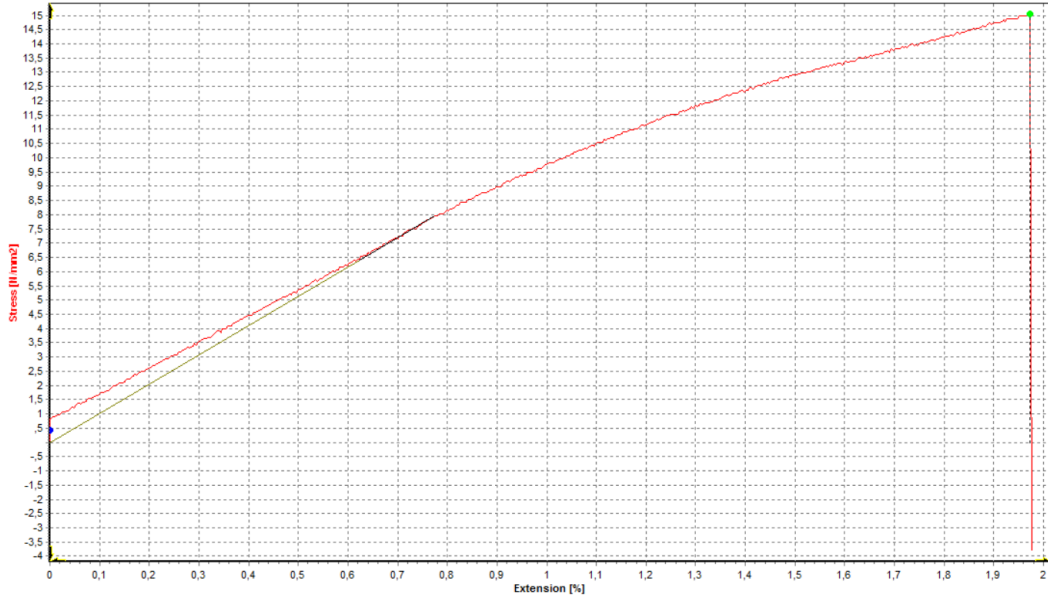
Şekil 3.31 % 0,2 grafen katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları

Yukarıdaki grafiğe göre % 0,2 grafen katkılı kompozitlerde maksimum yüzde uzaması % 3,96 ya yükselmiştir. Maksimum kopma dayanımı ise uzama ile doğru orantılı olarak 25,180 N/mm² ye yükselmiştir.



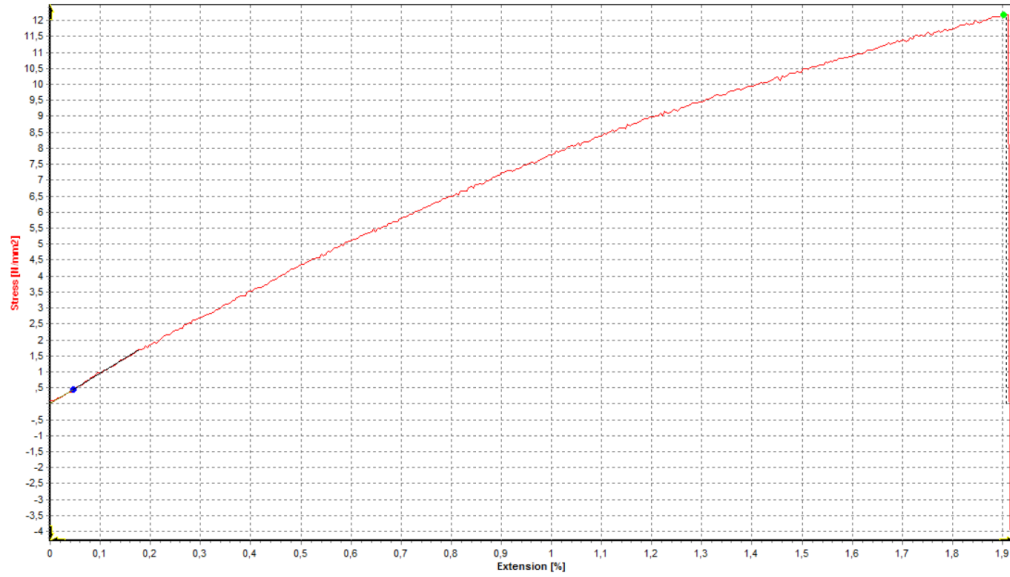
Şekil 3.32 % 0,2 CNT takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Yukarıdaki grafikte % 0,2 karbonnanotüp katkıli kompozitlerin çekme testi grafiği görölmektedir. Grafiğe göre maksimum yüzde uzaması % 0,1 karbonnanotüp takviyeli kompozitle aynı kalırken maksimum kopma dayanımı değeri de aynı kalmıştır.



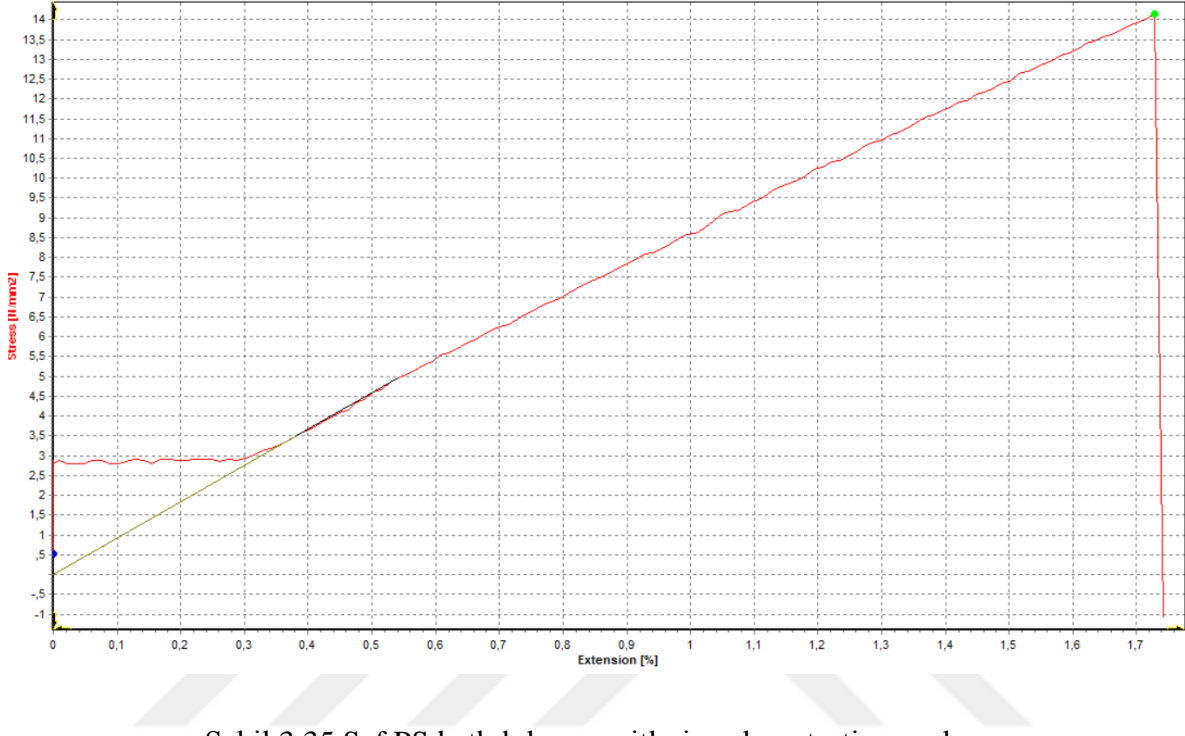
şekil 3.33 % 0,3 grafen katkıli kompozitlerin çekme testi sonuçları

% 0,3 grafen katkıli kompozitlerde ise, diğer katkı oranlarına göre değerlerde düşüş meydana gelmiştir.



şekil 3.34 % 0,3 CNT katkıli kompozitlerin çekme testi sonuçları

% 0,3 karbonnanotüp katkılı kompozitlerde maksimum yüzde uzaması % 1,91 olarak okunmuştur. Maksimum kopma dayanımı ise 12,174 N/mm² dir. Bu değerler % 0,1 ve % 0,2 katkılı kompozit malzemelerin değerlerinden daha yüksektir.



Şekil 3.35 Saf PS katkılı kompozitlerin çekme testi sonuçları

Yapılan çekme testi sonuçlarına göre; saf polistirene eklenen takviye malzemelerinden en olumlu katkıyı grafen yapmıştır. Grafen katkılı kompozitlerde maksimum uzama ve maksimum kopma değerleri saf polistirene oranla belirgin bir şekilde iyileşmiştir.

Karbonnanotüp katkılı kompozitlerde ise maksimum yüzde uzaması ve maksimum kopma değerleri saf polistirene göre azalmıştır. Diğer bir deyişle karbonnanotüp malzemeyi sertleştirdiği için malzemenin esneklik özelliği azalmıştır. Çekme testi sonuçları Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Çekme testi sonuçları

Malzeme	Yüzde Uzama	Maksimum Kopma Dayanımı (N/mm ²)
Saf PS	% 2,9	14,150
% 0,1 CNT	% 0,93	7,75
%0,2 CNT	% 0,93	7,75
% 0,3 CNT	% 1,91	12,174
% 0,1 Grafen	% 2,9	17,75
% 0,2 Grafen	% 3,96	25,180
% 0,3 Grafen	% 1,98	15,115

3.6.Sertlik Deneyi

Saf polistiren ve diğer takviyeli kompozit mazlemelerin sertlik deneyi Uşak Üniversitesi laboratuvarında bulunan Sauter Shore Hardness Tester cihazı ile yapılmıştır. Polimer matrisli kompozit malzemelerin serlik ölçümleinde shore yöntemi kullanılır. Bu yöntemde bir düşey tüp içinde düşürülen bir çekicin cisme çarpıp geri sıçraması ile ulaştığı yükseklik ölçülür. Malzemenin sertliği bu yükseklik ölçümü ile doğru orantılıdır. Bu çalışmada elde ettiğimiz kompozit numunelerine yapılan sertlik testi sonuçları Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Sertlik testi sonuçları

SAF POLİSTİREN	97,1
% 0,1 GRAFEN	98,1
% 0,2 GRAFEN	97
% 0,3 GRAFEN	95
% 0,1 CNT	98
% 0,2 CNT	98
% 0,3 CNT	95

Yapılan sertlik deneyi sonuçlarına göre saf polistirenin sertlik değeri 97,1 olarak ölçülürken, bu değer % 0,3 grafen katkılı kompozit için 95 olarak ölçülmüştür. Diğer bir deyişle malzemenin sertliği takviye malzemesi oranı arttıkça azalmıştır. Sertlik malzemenin işlenebilirliği hakkında bilgi verir. Genellikle sertik ve işlenebilirlik arasında ters orantı vardır. Bu çalışmada kompozit malzemelerin sertliği takviye oranı arttıkça azalmıştır. Dolayısı ile elde edilen kompozit malzemelerin saf polistirene göre işlenebilirliği yüksektir.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, Polistiren polimerine % 0,1, % 0,2 ve % 0,3 oranlarında grafen ve CNT takviyeleri malzemeleri eklenerek kompozit numuneler üetilmiştir. Kompozitlerin üretiminde plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen malzemelerin mikroyapıları, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Kompozitlerin üretiminde kullanılan polistiren kristalize halde kullanılmıştır. Grafen ve CNT malzemeleri ise 30 µm parçacık boyutlu ve toz halindedir.

Kompozit üretiminde polistiren ve takviye malzemeleri homojen olarak karıştırılmıştır. Daha sonra plastik enjeksiyon cihazında 10x15 mm boyutlarında üetilmiş ve homojenizasyon için 80 Rpm hızında 10 dakika boyunca karıştırılmıştır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen kompozitlerin mikroyapı, fiziksel ve termal özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan kompozitlerde takviye malzemesi miktarları değiştirilerek farklı kütle birleşim oranlarında polimer/CNT ve polimer/Grafen nanokompozitleri hazırlanarak SEM Analizi, Fourier Transform Infrared Spektroskopisi, AFM analizleri ve Termogravimetrik Analiz yöntemleriyle karakterize edilmiştir.

Kompozitlerin FTIR spektrumunda, Saf polistiren 3026,21 cm⁻¹ – 2919,84 cm⁻¹ arası ödevli grup bölgesinde –O-H bağları bulunmaktadır. 1739,86 cm⁻¹ – 1601,60 cm⁻¹ aralığında çift bağlar içerir. 1451,89 cm⁻¹ noktasındaki pikte tekli bağlar (C-O) görülür. En düşük pik noktası 694,84 cm⁻¹ noktasında görülür. C-H bağlarının görüldüğü parmak izi bölgesidir.

Takviyeli Kompozit malzemelerin FTIR spektrumları ise saf Polistirenle örtüşmektedir. Bu durum eklenen takviye malzemelerinin polistirenin yapısında değişikliğe sebep

olmadıklarını göstermektedir. Bunun sebebi takviye malzemelerinin ağırlık oranlarının düşük yüzdelerde olmasıyla açıklanabilir.

PS/Grafen ve PS/CNT nanokompozitlerinin SEM mikrograflarının incelenmesinde, takviye malzemelerinin polimer matris üzerinde homojen dağılım yaptığı görülmüştür. Her iki takviye malzemeli kompozitlerin görüntüleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, % 0,3 takviyeli grafen ve CNT kompozit numunelerinde minimum safsızlığa ulaşılmıştır. Numunelerinin SEM görüntülerinden elde edilen diğer bir sonuç ise takviye malzemeleri ve polimerin ara yüzey etkileşimlerinin başarılı olduğudur. Bundan dolayı kompozitlerin yüzey görünümünde takviye malzemelerinin uniform dağıldığı açıkça görülmektedir.

Kompozit numunelerinin AFM analizlerinde, saf PS 3,775 nm ve % 0,1 Grafen takviyeli kompozit için 2,042 nm ve % 0,3 grafen takviyeli kompozit için 0,791 RMS değerleri hesaplanmıştır. Burada RMS değeri malzeme yüzeyinin pürüzlülüğünü ifade etmektedir. Kompozit numunelerinin RMS değerlerinden anlaşıldığı üzere takviye malzemesinin ağırlık oranı arttıkça malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü azalmaktadır. CNT takviyeli kompozit malzemeler içinde RMS değeri ağırlık yüzdesiyle birlikte azalmaktadır. Bu sonuçlar takviye malzemelerinin kompozit yüzeyine katkısını göstermektedir.

Numulerimizin AFM ve SEM görüntüleri ve sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbirini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

Numunelerin TGA eğrilerinin değerlendirilmesi sonucunda saf PS için bozunma sıcaklığı 380 °C olarak okunmuştur. Bu değer PS üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen literatür sonuçlarıyla örtüşmektedir. % 0,1 grafen katkısı kompozitin bozunma sıcaklığını 382 °C ye yükseltmiştir. % 0,1 CNT katkılı kompozitte ise sıcaklıkta bir değişim olmamıştır. CNT takviyesi % 0,3 ağırlık oranında kompozitin bozunma sıcaklığını yaklaşık bir derece yükselterek 381 °C olarak okunmuştur. Burada grafen katkılı kompozitlerin CNT katkılı kompozitlere oranla PS bozunma sıcaklığına daha olumlu katkı yaptığı görülmüştür.

Kompozit malzemelerin mikroyapı karakterizasyonlarının incelenmesinden sonra bazı mekanik özelliklerin belirlenmesi için numunelere sertlik ve çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre grafen katkılı kompozitler CNT katkılı kompozitlere göre malzemeye daha olumlu katkıda bulunmuştur. Grafen katkılı kompozitlerde maksimum

uzama ve maksimum kopma değerleri saf PS'e kıyasla belirgin bir şekilde iyileşmiştir. CNT katkılı kompozitlerde ise maksimum yüzde uzaması ve kopma değerleri saf PS'e göre azalmıştır. Bu sonuçlara göre CNT takviyesi malzemenin sünekliğinin azalmasına neden olmuştur. Bu sonuç kompozit malzemelerin kullanım amacına göre değişmekle beraber bazı uygulama alanlarında istenen bir sonuçtur.

Yapılan sertlik değeri sonuçlarına göre saf PS nin shore sertlik değeri 97,1 olarak ölçülürken, bu değer % 0,3 grafen katkılı kompozit için 95 olarak ölçülmüştür. Diğer kompozit numunelerinin sertlik değerleri okunduğunda takviye malzemesi yüzde ağırlık oranı arttıkça kompozit numunelerinin sertlik değerleri azalmaktadır. Sertlik değeri bize malzemenin işlenebilirliği hakkında bilgi verir. Genellikle sertlik ve işlenebilirlik arasında ters bir orantı mevcuttur. Bu çalışmadan kompozit numunelerinin sertlik değerleri takviye oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla elde edilen komppzit malzemelerin saf PS'e göre işlenebilirliği yüksektir. Bu durum endüstriyel kullanıma olanak sağlayarak malzemeye ticari önem kazandırabilir.

Hem sertlik hemde çekme dayanımı bir kompozit malzemenin deformasyona karşı direncini gösterir. Bu nedenle sertlik ve çekme dayanımı arasında doğru orantı vardır.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada Polistiren polimerinden grafen ve CNT katkılı kompozit malzemeler plastik enjeksiyon yöntemiyle başarıyla elde edilmiştir. Elde edilen kompozit numunelerin karakterizasyonları yapılmıştır. Sonuçlara göre bu nanokompozitler termal kararlılıkları yüksek seviyede olan malzemelerdir. Bu nedenden dolayı endüstriyel uygulamalarda önemli yere sahiplerdir. Bu çalışmalarda, polimer/nanokompozit uygulamaları ve karakterizasyonları için yapılan araştırmalara katkı sağlayabilecek olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle karşılaştırılmış ve sonuçlarla benzer olduğu görülmüştür.

Yapmış olduğumuz çalışmada elde edilen sonuçlar umut vadedicir. Özellikle polistiren yaygın olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Takviye edilen nanopartiküllerle birlikte daha üstün özellikli malzemer elde edilmiştir. Nanopartikül takviyeleri sayesinde birçok fiziksel ve kimyasal özelliklerinde iyileşme olmuştur. Termal iletkenlik ve ısıl özelliklerin artması sayesinde inşaat sektöründe işlevselliğini artırır. Yalıtım malzemesi olarak gelecek dönemlerde daha çok deneysel araştırma yapılarak geliştirilecektir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Gürbüz, M., Gençoğlu, O., Durmuş, A., Kolbakır, F., Pekşen, C., Üreyen, M. E., Kopalal, A. S., Doğan, A. 2010, “Kompozit Malzemeler ve Nano Boyutlu Antibakteriyel Seramik Toz Katkılı Kompozitlerin Havacılık Sektöründe Kullanımı,” III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 16-18 Eylül, Eskişehir.
- [2] Staab, G. H. 1999, Laminar Composites (1th ed.). US: Butterworth-Heinemann.
- [3] Hahn, H. T., Tsai, S. W. 1980, Introduction to composite materials (Vol. 1): CRC Press.
- [4] Şahin, Y. 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [5] Park, C.I. Park, O.O. Lim, J.G. Kim H.J. 2001, The fabrication of syndiotactic polystyrene/organophilic clay nanocomposites and their properties. Polymer 42/17; 7465-7475.
- [6] Allcock, H.R.; Lampe, F.; Mark, J., 2003, Contemporary Polymer Chemistry, 3rd Ed.; Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- [7] Usuki, A., Tukigase, A., Vv Kato, M.A. (2002). Preparation And Properties Of Epdm Clay Hibrids. Polymer, 43, 2185–2189.
- [8] Coutrin, N.A., Altenor, A.B., Cossement, D.C., Marius A.C., ve Gaspard, S., 2008, Comparison Of Parameters Calculated From The Bet And Freundlich Isotherms Obtained By Nitrogen Adsorption On Activated Carbons: A New Method For Calculating The Specific Surface Area. Microporous And Mesoporous Materials, 111, 517–522
- [9] Zare, Y., ve Yoprhee, K., 2017, Multistep Modeling Of Young’s Modulus In Polymer/Claynanocomposites Assuming The Intercalation/Exfoliation Of Clay Layersand The İnterphase Between Polymer Matrix And Nanoparticles. Composites, 102, 137–144

- [10] Hajji, P., Cavaille, J.Y., Favier, V., Gauthier, C., ve Vigier, G., 2004, Tensile Behavior Of Nanocomposites From Latex And Cellulose Whiskers. *Polymer Composites*, 17, 15–21.
- [11] Chen, T., Qian, H., ve Lu, Z.Y., 2017, Diffusion Dynamics Of Nanoparticle And Its Coupling With Polymersin Polymer Nanocomposites. *Chemical Physics Letters*, 687, 96–100.
- [12] Madusankaa, N., Sai, G.,Mark, D., Hiralala, P., Rachel, A., ve Gehan, A.J., 2017, Dielectric Behaviour Of Montmorillonite/Cyanoethylated Cellulose Nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 172, 315–321.
- [13] Ozdemir, E., ve Hacaloglu, J., 2017, Polylactide/Organically Modified Montmorillonite Composite Fibers. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 124, 186–194.
- [14] Pu, X.Z., James, E., Mark, X., Jagdish, M., ve Warren, T., 1996, Ford Mechanical Properties Of A Poly(Methyl Acrylate)Nanocomposite Containing Regularly-Arranged Silica Particles. *Polymer Bulletin*, 37, 545–55.
- [15] Zhang, X., Xu, R., Wu, Z., ve Zhou, C., 2003, The Synthesis And Characterization Of Polyurethane/Clay Nanocomposites. *Polymer International*, 52, 790–794.
- [16] Salahuddin, N., ve Akelah, A., 2002, Synthesis And Characterization Of Polystrene Maleic Anhydride Montmorillonite Nanocomposite Polymers For Advanced Technologies, 13, 339–345.
- [17] Onal, M., Sarıkaya, Y., Alemdaroğlu, T., ve Bozdoğan, I., 2003, Isolation And Characterization Of A Smectite As A Micro-Mesoporous Material From A Bentonite. *Tubitak*, 27, 683–693.
- [18] Staudinger, H. 1932, *Die Hochmolekularen Organischen Verbindungen, Kautschuk und Cellulose*; Springer: Berlin, Germany.
- [19] MLA(ModernLanguage Assoc.)Lynwood, Cole. *Polystyrene : Synthesis, Characteristics, and Applications*. Nova Science Publishers, Inc, 2014. APA (American Psychological Assoc.) Lynwood, C., 2014, *Polystyrene : Synthesis, Characteristics, and Applications*. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc.
- [20] http://www.aslanhanplastik.com/sayfa-7-polistren_granul.html

- [21] Biron, M., 2007, Thermoplastics and thermoplastic composites; Butterworth-Heinemann, Elsevier: Oxford, UK.
- [22] Polystyrene (PS) –A Global Market Watch, 2012, 2011-2016 http://www.researchandmarkets.com/reports/2364722/polystyrene_ps_a_global_market_watch_2011.
- [23] Mancini, L. H., 2008, Nanocomposites: Preparation, Properties and Performance; Nova Science Publication, Inc.: New York, p. 272.
- [24] Nuyken, O. In Handbook of Polymer Synthesis; Kricheldorf, H. R.; Nuyken O.; Swift,
- [25] Laachachi, A.; Ferriol, M.; Cochez, M.; Ruch, D.; Lopez-Cuesta, J.-M. Polym Degrad Stab 2008, 93, 1131-1137
- [26] Njuguna J, Pielichowski K., 2004, Polymer nanocomposites for aerospace applications: fabrication. Adv. Eng. Mater.; 6: 193-203
- [27] <https://www.pagev.org/termosetler>
- [28] Norwood L.S., 1994, Fibre reinforced polymers. In: Hollaway L., editor. Handbook of Polymer Composites for Engineers. Woodhead Publishing; Cambridge, UK. pp. 3–69. (Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering).
- [29] http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/Plastik_Matrisli_Kompozitler.pdf
- [30] Product Brochure, ATOCHEM, 1984 ‘Thermoplastics Polymers in Powders for Composites’.
- [31] <http://www.kimyam.net/2012/09/termoplastik-nedir.html>
- [32] Yoo, S. J., Kim, S., Yi, M. Y., Kim, G. C., 2005. Failure Mode And Strength Of UniDirectional Composite Single Lap Bonded Joints With Different Bonding Methods. Department Of Structures And Material, Korea Aerospace, Korea, 305–333.
- [33] Mazumdar, S.K., 2002, ‘Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering’. 4-5s New York.
- [34] Zhai M., Y.C.Lam , C.K. Au , D.S.Liu, 2005, ‘ Automated Selection of Gate Location for Plastic Injection Molding Processing’, Singapore.
- [35] Deng Y.M., Britton G.A. , Lam Y.C. , F.B. Tor , Y.S. Ma , 2002, ‘Feature-Based CAD-CAE Integration Model for Injection Moulded Product Design’.

- [36] Farel Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Temel Bilgiler Eğitim Notları, 2004, Çerkezköy
- [37] Randviir, E. P., Brownson, D. A. C., Banks, C. E., 2014, “ADecade of Graphene Research: Production, Applications and Outlook,” *Materials Today*, vol. 17, no. 9, p. 426-432
- [38] Adams, J., Pendlebury, D., 2011, *Global Research Report Materials Science and Technology*, Thomsons Reuters, UK
- [39] Savage, N., 2012, “Materials Science:Super Carbon,” *Nature*, vol. 482, p. 30-31.-
- [40] Başçı, M., 2015, “Geleceğin Malzemesi Grafen,” *Bilişim Dergisi*, sayı 177, s. 156-165
- [41] Boostani, A. F., Tahamtan, S., Jiang, Z. Y., Wei, D., Yazdani, S., Khosroshahi, R. A., Mousavian, R. T., Xu, J., Zhang, X., Gong, D., 2015, “Enhanced Tensile Properties of Aluminum Matrix Composites Reinforced with Graphene Encapsulated SiC Nanoparticles,” *Composites: Part A*, vol. 68, p. 155-163
- [42] Geim, A. K., Novoselov, K. S., 2007, “The Rise of Graphene”, *Nature Materials*,” vol. 6, p.183–191
- [43] Dhand, V., Rhee, K. Y., Kim, H. J., Jung, D. H., 2013, “AComprehensive Review of Graphene Nanocomposites: ResearchSatatus and Trends,” *Journal of Nanomaterials*, vol.2013, p. 1-14.
- [44] Ajayan P.M., Charlier J.-C., Rinzler A.G., 1999, Carbon nanotubes: From macromolecules to nanotechnology, *PNAS* December 7, vol. 96 no. 25 14199-14200
- [45] Banerjee S., Hemraj-Benny T., Wong S.S., 2005, Covalent Surface Chemistry of Single-Walled Carbon Nanotubes, *Adv. Mater.*, 17, No. 1, January 6
- [46] Reich S., 2002, Carbon nanotubes: Vibrational and electronic properties, Doktor der Naturwissenschaften, von der Fakultat II - Mathematik und Naturwissenschaften der Technischen Universität Berlin
- [47] Rajiv N. Sangoi, 2003, ‘ Nanocomposites based on carbon nanotubes and poly (3-alkylthiophenes) for sensor and charge storage applications’, Theses,Rochester Institute of Technology.
- [48] Kiselev N.A. and Zakharov D.N., 2001, Electron Microscopy of Carbon Nanotubes, *Crystallography Reports*, Vol. 46, No. 4, pp. 577- 585

- [49] Sinnott and Andrews, 2001, Demczyk et al. 2002, Bellucci 2005, Chae and Kumar 2006, Meo and Rossi 2006
- [50] Iijima, S., Ichihashi, T., 1993, Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, 363, 603-605
- [51] Iijima, S., 1991, Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354, 56-58.
- [52] Peng, B., Locascio, M., Zapol, P., Li, S., Mielke, S. L., Schatz, G. C., Espinosa, H. D., 2008, Measurements of Near-ultimate Strength for Multiwalled Carbon Nanotubes and Irradiation-Induced Crosslinking Improvements. *Nature Nanotechnology* 3 (10): 626–631
- [53] [53] Mintmire et al., 1992; Dekker, 1999; Martel et al., 2001). Mintmire, J. W., Dunlap, B. I., White, C. T.
- [54] Luo, H., Shi, Z., Li, N., Gu, Z. and Zhuang, Q., 2001, ‘ Investigation of the electrochemical and electrocatalytic behavior of single-wall carbon nanotube film on a glassy carbon electrode’. *Analytical Chemistry*, 73(5): p. 915- 920.
- [55] Park Y.S., Kim K.S., Jeong H.J., Kim W.S., Moon J.M., An K.H., Bae D.J., Lee Y.S., Park G.-S., Lee Y.H., 2002, Low pressure synthesis of single-walled carbon nanotubes by arc discharge, *Synthetic Metals* 126 245–251
- [56] Thiraphattaraphun, L., 2013, ‘Structure/Property Relationships in Polypropylene Nanocomposites’, School of Materials.
- [57] Mani, G., Fan, Q., Ugbohue, S. C. and Yang, Y., 2005, Morphological studies of polypropylene-nanoclay composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 97: p. 218-226.
- [58] Vilas S. Karande, 2013, *Polymer Composites Based on Cellulosics Nanomaterials*, Thesis,
- [59] Ma, P.-C., Siddiqui, N.A., Marom, G., Kim, J.-K., 2010, Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. *Compos. Part A*, 41, 1345-1367.
- [60] Wang, M., 2016, *Native Cellulose Nanofibril-based Functional Materials*., Department of Applied Physics, PhD, Helsinki.
- [61] Byrne, M. T., Gun'ko, Y. K., 2010, *Adv. Mater.* 22, 1672–1688
- [62] Wong, M., Paramsothy, M., Xu, X.J., Ren, Y., Li, S., Liao, K., 2003, Physical interactions at carbon nanotube-polymer interface. *Polymer* , 44 7757-7764.

- [63] Jiong Shen, Xiangmin Han And L. James Leey ‘Nanoscaled Reinforcement of Polystyrene Foams using Carbon Nanofibers’ Department of Chemical and Biomolecular Engineering The Ohio State University Columbus, OH, 43210, USA
- [64] Tresa Sunitha George, Asha K.K., Anjana R., K E George, 2013 ‘ Studies on Nano Kaolin Clay Reinforced PS-HDPE Nanocomposites’ Indian Journal of Advances in Chemical Science 1(4), 201-206
- [65] Tauseef A., Muhammad I., Hassan R., Muhammad R.R., Ghulam A.G., Ammar I. ‘ Effect of nano-filler graphene on nano-composite system of polystyrene-graphene’, International journal of Advanced Manufacturing Tecnology <https://doi.org/10.10.07/s00170-017-1456-X>
- [66] Cheng, Y.H., Weng, C.J., Liou, S.J., Yeh, J.M., ve Liu, S.P., 2010, Studies On Heterogeneous Nucleation Effect Of Dispersing Intercalated Montmorillonite Clay Platelets İn Polyaniline Matrix. Polym. Composites. Society Of Plastics Engineers, 31, 2049–2056.
- [67] Zhang, X., Xu, R., Wu, Z.,ve Zhou, C., 2003, The Synthesis And Characterization Of Polyurethane/Clay Nanocomposites. Polymer International, 52, 790–794
- [68] Altin, O.H., Özbelge, Ö., ve Dogu, T., 1999, Effect Of Ph İn An Aqueous Medium On The Surface Area, Pore Size Distribution, Density, And Porosity Of Montmorillonite. Journal Of Colloid And Interface Science, 217, 19–27.
- [69] Ming Lu, Jian Jun Zhau, Liansheng Wang, Wei Zhao, Yanglai lu, Liqun Zhang, Yakang Liu, 2010, ‘ Design and Preparation of Cross-Linked Polystyrene Nanoparticles for Elastomer Reinforcement’ Journal of nanomaterials volume 2010, article id: 352914, doi: 1155/2010/352914
- [70] Ayman A.Aly, Moustafa M. Mahmoud, Adel A. Omar, 2012, ‘ Enhacemen in Mechanical Properties of Polysyrene Filled with Carbon Nano-Particules (CNPs)’ World Journal of Nano Science and Engineering, 2,103-109
- [71] Supanat Phattareteera, Poonsub Threepoprakul and Chain Kulsethalee, 2013, ‘ Comparative Performance of Coupling Agent and Compatibilizer on Polystyrene/Zeolit Composites’ Cheng Mai J. Sc., 40(6):1035-1045
- [72] Doğan A, Siyakus G, Severcan F. 2007. FTIR spectroscopic characterization of irradiated hazelnut (*Corylus avellana* L.). Food Chem, 100, 1106-1114.

- [73] Ergin Ç, Akit M, Gök Y, Özel MZ, Çon AH, Kabay N, Söyleyici S, Döçen A., 2013, Fourier transform infrared spectral evaluation for the differentiation of clinically relevant Trichophyton species. J Microbiol Methods, 93, 218-223.
- [74] Doç. Dr. Ayşe Karakeçili 2017-2018 bahar yarıyılı, termal analizler, Ankara Üniversitesi



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KARAAĞAÇ, Damla
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri : Uşak
Medeni Hali : Evli
e-mail : damla-grl@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği A.B.D.	2019
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya- Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği	2010
Lise	Uşak Y.D.A. Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2018	Neutec İlaç	Ürün Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Uluslararası Yayınlar

Gündoğan K., Karaağaç D., 2020 ‘Grafen Takviyeli PS Kompozitlerinin Yapısal, Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’ Bilge International Journal of Science and Technology Research, ISSN:251-401X, Cilt:4, Sayı:1.

Hobiler

Seyahat etmek, Kitap okumak, Spor