



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISIL İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ POLİAMİD 6,6
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rumeysa BEYAZ
175101006

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

OCAK 2020



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISIL İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ POLİAMİD 6,6
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rumeysa BEYAZ
175101006**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

OCAK 2020

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının hazırlanmasında ve sunulmasında başından sonuna kadar yardımını ve desteğini eksik etmeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışması süresince bilgi ve destkeleri ile bana yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi İdris KARAGÖZ hocama ve üniversitemiz doktora öğrencileri Aysun EKİNCİ ve Zuhâl YURTBAŞI arkadaşlarıma, bu süreçte zorlandığım anlarında nefes aldığım ve beni her koşulda dinleyen Derya MUTLU ve Gülizar DİCLELİ arkadaşlarıma ve çok değerli ablam Şüheda BEYAZ ve kardeşim Ramlenur BEYAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAPKO) tarafından (2018/YL/0017) desteklenmiştir. Verdikleri destek için Yalova Üniversitesi BAPKO birimine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmamı desteklerini ve dualarını üzerimden eksik etmeyen en büyük destekçilerim sevgili anneme ve babama ithaf ediyorum.

Aralık 2019

Rumeysa BEYAZ
Polimer Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	3
1.3 Hipotez.....	11
2. POLİMERLERDE ISIL İLETKENLİK	13
2.1 Polimerler	13
2.2 Polimerlerin Sınıflandırılması	13
2.2.1 Termosetler	14
2.2.2 Termoplastikler	14
2.2.3 Amorf Yapılı Termoplastikler	15
2.2.4 Kristal Yapılı Termoplastikler	15
2.3 Poliamid.....	16
2.4 Poliamid 6,6.....	20
2.5 Polimerlerde Isıl İletkenlik	22
2.6 Polimerlerde Isıl İletkenliği Artırıcı Katkı ve Dolgular	26
2.6.1 Karbon Bazlı Dolgular.....	28
2.6.2 Metalik Dolgular.....	30
2.6.3 Seramik Dolgular.....	33



2.7 Poliamid 6,6'nın Isıl İletkenliği.....	34
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
3.1 Malzemeler	36
3.2 Numunelerin Hazırlanması.....	36
3.3 Mekanik Testler	38
3.3.1 Çekme Testi.....	38
3.3.2 Darbe Testi.....	38
3.4 Yoğunluk Testi	39
3.5 Isıl Testler	40
3.5.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi	40
3.5.2 Isıl İletkenlik Testi.....	41
3.6 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Testi	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1 Çekme Test Sonuçları	43
4.2 Darbe Test Sonuçları	50
4.3 Yoğunluk Test Sonuçları	53
4.4 DSC Sonuçları	54
4.5 Isıl İletkenlik Sonuçları.....	62
4.6 SEM Mikro Yapı İncelemeri	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	103



KISALTMALAR

PA	: Poliamid
PA 6,6	: Poliamid 6,6
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PP	: Polipropilen
PA 6	: Poliaamid 6
hBN	: Hegzagonal Bor Nitrür
KNT	: Karbon Nanotüp
AlN	: Alüminyum Nitrür
BN	: Bor Nitrür
Si₃N₄	: Silisyum Nitrür
SiC	: Silisyum Karbür
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
TDKNT	: Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
GNT	: Grafen Nanotabaka
Cu	: Bakır
PE	: Polietilen
GF	: Grafen köpüğü
MgOH₂	: Magnezyum Hidroksit
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinilklorür
PC	: Polikarbonat
T_m	: Erime sıcaklığı
POM	: Polioksimetilen
PET	: Polietilenteraftalat
PBT	: Polibütilenteraftalat
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PTFE	: Politetrafloraetilene
SiC	: Silisyum karbür
Au	: Altın
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
TGA	: Termogravimetrik Analiz
σ_m	: Çekme mukavemeti
ϵ_t	: Çekmedeki elastisite modülü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1 Poliamid türlerinin mekanik özellikleri	19
Çizelge 2.2 Ticari polimerlerin ısı özellikleri	26
Çizelge 2.3 Bazı dolgu malzemelerin ısı iletkenlikler	27
Çizelge 3.1 PA 6,6'nın teknik özellikleri	35
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan karışım parametreleri	36
Çizelge 4.1 Çekme testi sonuçları	43
Çizelge 4.2 Darbe testi sonuçları	50
Çizelge 4.3 Yoğunluk testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.4 DSC testi sonuçları	60
Çizelge 4.5 Isıl iletkenlik testi sonuçları	62



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	Saf BN SiCNO-BN dolgularının (düzlem boyunca) miktarı ve ısı iletkenlik grafiği	5
Şekil 1.2	GNP/PA6 ve TDKNT/GNP/PA6 kompozitlerinin ısı iletkenliği üzerinde katkı oranlarının etkisi	6
Şekil 1.3	Polietilen kompozitlerin (a) mikro Cu ve (b) nano Cu dolgu içeriğine göre termal iletkenliği	7-8
Şekil 1.4	Karbon siyahı/GF/PDMS kompozitinin ısı iletkenlik değişmi	9
Şekil 1.5	Lif içeriğinin kompozitin ısı iletkenliğin etkisi	10
Şekil 2.1	Polimerlerin ısı karşısında gösterdiği dirence göre sınıflandırılması	13
Şekil 2.2	BN Plastiklerin molekül yapısı, a) Doğrusal molekül yapısı, b) Dallanmış molekül yapısı, c) Termoset polimerlerin sahip olduğu çapraz bağ yapısı	14
Şekil 2.3	Amorf polimerlerin yapısında ısıtma ve soğutma sonrası meydana gelen değişiklikler, a) Amorf polimerin başlangıçtaki yapısı, b) Isıtma sonrası yapıda meydana gelen gevşeme, c) Soğutma sonrası yapıda meydana gelen büzölme	15
Şekil 2.4	Kristalin yapıların gösterimi, a) Kristalin yapıların “fringed micelle” gösterilişi, b) Polietilen kristallerinin “katlanmış-zincir lamel” yapısı	16
Şekil 2.5	Saf Poliamid’in dünyada ki tüketim oranları dağılımı	17
Şekil 2.6	Poliamid sentez reaksiyonları	17
Şekil 2.7	Poliamid’in uygulama alanları	20
Şekil 2.8	Poliamid 6,6’nın sentezi	21
Şekil 2.9	Poliamid 6,6 sentezinde kullanılan monomer çeşitleri	21
Şekil 2.10	Poliamid 6,6’nın kimyasal yapısı	21
Şekil 2.11	Kristal malzemelerde ısı iletimi	23
Şekil 2.12	Polimerin ısı iletim mekanizması	24
Şekil 2.13	Polimerin yapısı	25
Şekil 2.14	Karbon siyahı katkılı polimerin mikro yapı görüntüleri a) Karbon siyahı partikülleri, b) Karbon siyahı katkılı polimerde elektrik iletimi	28
Şekil 2.15	Karbon elyaf takviyeli PA 6 esaslı kompozitin SEM görüntüsü	29
Şekil 2.16	Bakır partiküllerinin mikroskopik görüntüleri) küre şeklinde, b) plakalar şeklinde, c) kısa lif şeklinde	31
Şekil 2.17	Saf Hacimce %30 Cu/PA 6 kompozitlerinin mikroskopik görüntüleri, a)küre şeklinde Cu, b) plakalar şeklinde Cu, c) kısa lif şeklinde Cu	33



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan ekstrüzyon sistemi	36
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan a) enjeksiyon makinesi, b) test numune kalıbı	37
Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan çekme test cihazı.....	38
Şekil 3.4 Çalışmada kullanılan darbe test cihazı	39
Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan yoğunluk test cihazı	39
Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan DSC cihazı.....	41
Şekil 3.7 Isıl iletkenlik cihazı	41
Şekil 3.8 SEM cihazı	42
Şekil 4.1 Elastisite modülünün karbon elyaf ilavesi ile değişimi.....	44
Şekil 4.2 Çekme mukavemetinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi.....	44
Şekil 4.3 Elastisite modülünün karbon siyah ilavesi ile değişimi	45
Şekil 4.4 Çekme mukavemetinin karbon siyah ilavesi ile değişimi	46
Şekil 4.5 Elastisite modülünün bakır tozu ilavesi ile değişimi.....	47
Şekil 4.6 Çekme mukavemetinin bakır tozu ilavesi ile değişimi.....	47
Şekil 4.7 Elastisite modülünün karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi	48
Şekil 4.8 Çekme mukavemetinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi	49
Şekil 4.9 Darbe mukavemetinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi	50
Şekil 4.10 Darbe mukavemetinin karbon siyahı ilavesi ile değişimi	51
Şekil 4.11 Darbe mukavemetinin bakır tozu ilavesi ile değişimi	52
Şekil 4.12 Darbe mukavemetinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi	53
Şekil 4.13 Saf PA 6,6'nın DSC grafiği.....	54
Şekil 4.14 %10 karbon elyaf takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	55
Şekil 4.15 %20 karbon elyaf takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	55
Şekil 4.16 %30 karbon elyaf takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	56
Şekil 4.17 %10 karbon siyahı takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	56
Şekil 4.18 %20 karbon siyahı takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	57
Şekil 4.19 %30 karbon siyahı takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	57
Şekil 4.20 %10 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	58



Şekil 4.21 %20 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	58
Şekil 4.22 %30 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği.....	58
Şekil 4.23 %4 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	59
Şekil 4.24 %7 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	59
Şekil 4.25 %10 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği	60
Şekil 4.26 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi ..	63
Şekil 4.27 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin bakır tozu ilavesi ile değişimi ..	63
Şekil 4.28 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi	64
Şekil 4.29 Dolgu oranının PA 6,6'nın ısı iletkenliğine etkisi	65
Şekil 4.30 % 10 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA 66CF 10) numunesine ait SEM görüntüleri	67
Şekil 4.31 %20 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA 66CF 20) numunesine ait SEM görüntüleri	69
Şekil 4.32 % 30 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66CF 30) numunesine ait SEM görüntüleri	72
Şekil 4.33 Çalışmada kullanılan bakır tozunun SEM görüntüsü.....	73
Şekil 4.34 % 10 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B 10) numunesine ait SEM görüntüleri	75
Şekil 4.35 % 20 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B 20) numunesine ait SEM görüntüleri	77
Şekil 4.36 %30 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B 30) numunesine ait SEM görüntüleri	79
Şekil 4.37 %4 karbon elyaf/karbon siyahı/ bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66CF/CB/B 10) numunesine ait SEM görüntüleri.....	82
Şekil 4.38 %7 karbon elyaf/karbon siyahı/ bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66CF/CB/B 20) numunesine ait SEM görüntüleri.....	84
Şekil 4.39 %10 karbon elyaf/karbon siyahı/ bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66CF/CB/B 30) numunesine ait SEM görüntüleri.....	86



ISIL İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ POLİAMİD 6,6 KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI

ÖZET

Mühendislik plastiklerinden sınıfında yer alan Poliamid 6,6 (PA 6,6), yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri sahip olan bir polimerdir. PA 6,6 endüstriyel olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PA 6,6, emniyet kemerleri, elektrik kumanda düğmeleri, sigorta kutuları, kablo bağlayıcı tokaları, dişliler, kam mili ve çeşitli otomotiv parçalarında gibi farklı uygulama alanlarına sahiptir. PA 6,6'dan üretilen ürünler kullanım esnasında ısıya maruz kaldığı zaman ürün geometrisi etkilemekte ve mekanik özelliklerini azaltmaktadır. PA 6,6'nın kullanım esnasında oluşabilecek ısıl deformasyonları ısıl iletkenlik katsayısı yüksek takviye malzemeler eklenerek önlenabilmektedir. Düşük ısıl iletkenlik özelliğine sahip PA 6,6'nın ısıl iletkenlik özellikleri, iletken dolgu malzemeleri ilavesi ile geliştirilmektedir. Bu çalışmada da bakır tozu, karbon elyaf ve karbon siyahı ilavesi ile PA 6,6'nın ısıl iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bakır tozunun, karbon elyafının ve karbon siyahının birlikte kullanılmasıyla PA 6,6'nın ısıl özellikleri ve mekanik özellikleri üzerinde oluşan etki incelenmiştir. Farklı oranlarda hazırlanan numunelerin ısıl iletkenlik ölçümü, mekanik testler, mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Karbon elyaf ilavesi ısıl iletkenliği ve mekanik özellikleri geliştirmiştir. PA 6,6'ya karbon siyahı ve bakır tozu ilave edildiğinde mekanik özellikler düşerken, ısıl iletkenlik gelişmiştir. Karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozu ilavesi PA 6,6'nın ısıl iletkenlik ve mekanik özelliklerini geliştirmiştir. En yüksek ısıl iletkenlik hacimce yüzde 10 karbon elyaf, bakır tozu, karbon siyahı içeren PA 6,6 numunesi için 0,73 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada iletken dolgu malzemeleri kullanılarak PA 6,6'nın ısıl iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi hedefine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl iletkenlik, poliamid 6,6, karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozu, kompozit.



PREPARING OF ENHANCED THERMAL CONDUCTIVITY PROPERTIES OF POLYAMIDE 6,6 COMPOSITES

ABSTRACT

Polyamide 6,6 (PA 6,6), which is in the class of engineering plastics is a polymer with high strength, good electrical and chemical properties. PA 6,6 is widely used industrially. PA 6,6 has different application areas such as seat belts, electrical control buttons, fuse boxes, cable tie buckles, gears, camshafts and various automotive parts. Products manufactured from PA 6,6 affect product geometry and reduce mechanical properties when exposed to heat during use. The thermal deformations of PA 6,6 can be prevented by adding reinforcing materials with high thermal conductivity coefficient. The thermal conductivity of PA 6,6 with low thermal conductivity is improved by the addition of conductive filling materials.

In this study, it is aimed to improved the thermal conductivity properties of polyamid 6,6 with the addition of copper powder, carbon black and carbon fiber. The effect of copper powder, carbon fiber and carbon black on the thermal properties and mechanical properties of PA 6,6 was investigated. The thermal conductivity, mechanical tests and microstructure studies of the samples prepared in different ratios were performed. The addition of carbon fibers improved thermal conductivity and mechanical properties. When carbon black and copper powder to PA 66 are added, the mechanical properties of PA 6.6 decrease and thermal conductivity is improved. The highest thermal conductivity was measured as 0.73 W / mK for the PA 6.6 sample containing 10 percent by volume carbon fiber, copper powder, carbon black. In this study, it is aimed to improve the thermal conductivity properties of PA 6,6 by using conductive fillings.

Keywords: Thermal conductivity, polyamide 6,6, carbon fiber, carbon black, copper powder, composite.

1. GİRİŞ

Endüstride kullanım amacına uygun olarak, farklı malzemelerin belirli bir düzende bir araya getirilmesi ile istenilen amaca uygun kompozit malzemeler üretilmektedir. Burada ki temel amaç, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi yada farklı malzemelerin iyi özelliklerinin tek bir malzemede toplanmasıdır [1]. Geçmişte yapılan çamur ve samanın birleştirilmesi ile oluşturulan kerpiç bunun en temel örneğidir. Burada çamur (toprak) ana matrisi oluştururken, saman takviye fazı olarak toprağı bir arada tutma ve ekstra mukavemet sağlama amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde ise gelişen teknoloji ile beraber havacılık ve askeri araçlar, uzay uygulamaları, otomobil sanayii, deniz araçları, spor ve eğlence ekipmanlarına yönelik olarak ısı ve elektrik özellikleri geliştirilmiş, darbe dayanımı artırılmış kompozit malzemeleri üretmek için farklı polimer türleri, farklı dolgu ve katkı maddeleri kullanılarak polimer kompozitleri hazırlanmaktadır [2].

Polimer kompozitlerde özellikle otomotiv, havacılık ve spor ekipmanlarında yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri poliamidlerdir. Poliamid'ler (PA) sahip oldukları sertlik, yüksek dayanım, düşük maliyet, hafiflik, iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri sayesinde bu özelliklerin önemli olduğu endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir [3, 4]. Poliamid'lere cam elyafı, mineral katkılar, cam bilya, inorganik antioksidantlar, plastikleştiriciler ilave edilerek sertlik, yorulma, sünme, termal kararlılık, darbe direnci gibi özellikleri geliştirilmektedir [4]. Bu şekilde poliamidlere çeşitli katkı ve dolgu malzemeleri ilave edilerek önemli özellikleri geliştirilip farklı uygulama alanları kazandırılmaktadır.

Poliamid çeşitleri arasında Poliamid 6,6 (PA 6,6) en dayanıklı poliamid olarak bilinmektedir [3]. Mühendislik plastikleri sınıfında yer alan Poliamid 6,6 (PA 6,6), yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri sahip olan bir polimerdir. PA 6,6 endüstriyel olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PA 6,6, emniyet kemerleri, elektrik kumanda düğmeleri, sigorta kutuları, kablo bağlayıcı tokaları, dişliler, kam mili ve çeşitli otomotiv parçaları gibi farklı uygulama alanlarına sahiptir [3].

PA 6,6'dan üretilen ürünler kullanım esnasında ısıya maruz kaldığı zaman ürün geometrisi ve mekanik özelliklerini etkilemekte ve azaltmaktadır [5]. PA 6,6'nın kullanım esnasında oluşabilecek ısıl deformasyonları ısıl iletkenlik katsayısı yüksek takviye malzemeler eklenerek önlenmektedir. Düşük ısıl iletkenlik özelliğine sahip PA 6,6'nın ısıl iletkenlik özellikleri, bağlayıcı ajanlar, elyaf ve iletken dolgu malzemeleri ilavesi ile geliştirilmektedir [4]. PA 6,6 ısıl iletkenlik özellikleri ilave dolgu malzemesinin miktarına, şekline, boyutuna ve yönlenmesine göre değişim göstermektedir [6]. İletkenlik özelliği genellikle karbon nanotüp, karbon elyaf, metal partiküller ve bor esaslı bileşikler eklenerek geliştirilmektedir [6,7].

Isıl iletkenliğin önemli olduğu uygulamalarda yüksek performans, daha uzun yorulma dayanımı beklentisi nedeniyle farklı katkı ve dolgu maddelerinin kullanımına ve bunların karakterizasyonuna büyük önem verilmektedir. Bu çalışmada matris olarak PA 6,6, dolgu malzemesi olarak farklı oranlarda bakır tozu, karbon elyafı ve karbon siyahı kullanılarak polimer kompozit malzemeler üretilecektir. Malzemeler önce ekstrüzyon yöntemi ile harmanlanarak karışım hazırlanacaktır. Daha sonra ekstrüzyon ile hazırlanmış numuneler enjeksiyon yöntemiyle test numunesi şeklinde basılacaktır. Üretilen test numunelerine uygulanan ısıl ve mekanik testlerle en iyi mekanik özellikler ve en iyi ısıl özelliklerin elde edilmesi üzerine çalışılacaktır. Farklı dolgu türlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak en uygun dolgu malzemesinin belirlenmesine çalışılacaktır. Benzer şekilde aynı dolgu farklı miktarlarda katılarak en uygun dolgu oranının tespitine çalışılacaktır. Malzemelerden alınan numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilecektir.

1.1 Tezin Amacı

Literatürde ki çalışmalar incelendiğinde PA 6,6'nın ısıl özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çok fazla bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Genellikle yapılan çalışmalarda matris malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) [8], polipropilen (PP) [9], Poliamid 6 (PA 6) [10] gibi polimer malzemelerin ve ısıl iletken dolgu malzemesi olarak hegzagonal bor nitrür (hBN) [8,9], karbon nanotüp (KNT) [10] gibi dolgular kullanılmıştır.

PA 6,6' nın matris malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalarda dolgu malzemesi olarak karbon siyahı [11], sentetik grafit [11], karbon fiber [11], hBN [12], KNT [13] gibi dolgu malzemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Ancak incelenen tüm bu çalışmalarda PA 6,6'nın ısı özelliklerine bakır tozlarının, karbon siyahının ve karbon elyafının etkisini aynı çalışma kapsamında incelenmesine rastlanmamıştır.

Bu çalışmada PA 6,6'nın ısı özellikleri ve mekanik özellikleri üzerinde bakır tozunun, karbon elyafının ve karbon siyahının birlikte kullanılmasıyla oluşan etkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak farklı oranlarda hazırlanacak karışımlara ısı iletkenlik ölçümü ve mekanik testler uygulanacak, mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilecektir. En uygun karışım oranları belirlenerek parametrelerin optimizasyonu ve endüstriyel olarak kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanmasına çalışılacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Polimer kompozitler, korozyon direnci, düşük maliyet, yüksek ısı iletkenlik, düşük ısı genleşme katsayısı ve yüksek elektrik direnci gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır [14,15] Polimer kompozitleri sahip oldukları bu özellikler sayesinde, otomotiv, ambalaj, elektrik elektronik, tekstil gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar.

Aynı zamanda polimer kompozitlerinin kullanımında yaşanan olumsuzlukların giderilmesi için polimer malzemelerinin özellikleri geliştirilmektedir. Bu duruma örnek olarak; Poliamid 6,6'nın kullanımı esnasında oluşabilecek ısı deformasyonlar, ısı iletkenlik katsayısı yüksek takviye malzemeler eklenerek Poliamid 6,6 kompozitlerinin ısı iletkenliği geliştirilerek önlenmektedir.

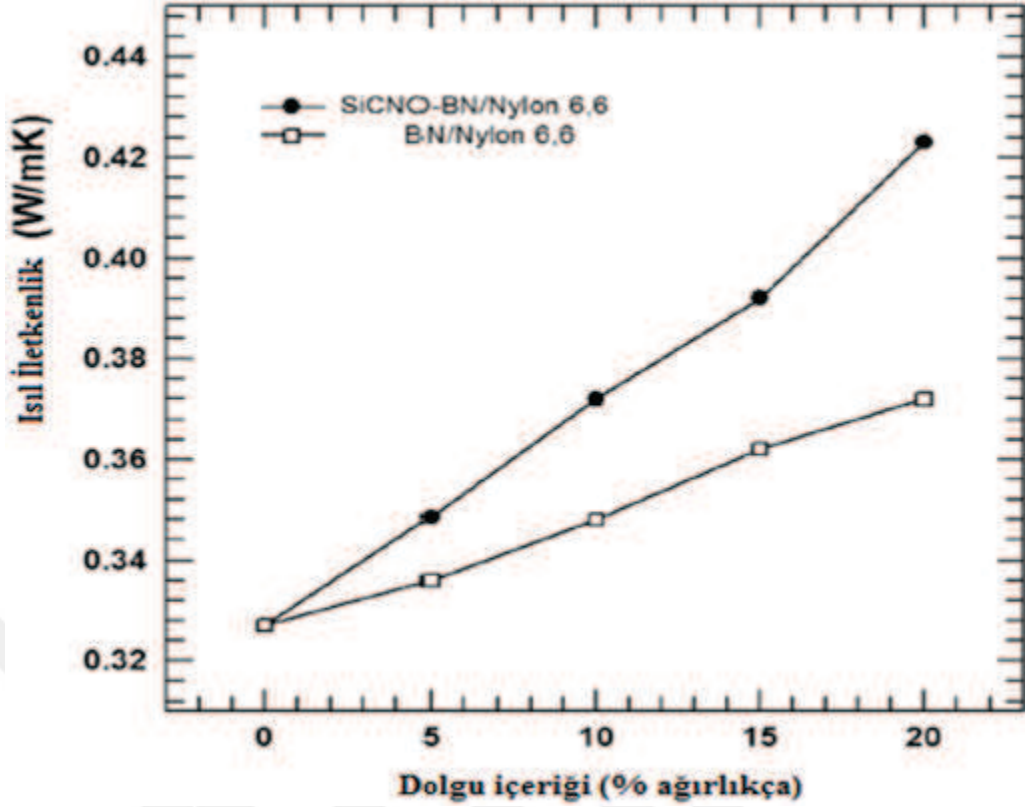
Poliamid 6,6 kompozitlerinin ısı iletkenlik özellikleri, ısı iletkenlik katsayısı yüksek olan seramik dolgular alüminyum nitrür (AlN), bor nitrür (BN), silisyum nitrür (Si₃N₄) ve silisyum karbür (SiC), karbon esaslı dolgular (karbon nanotüpler, grafen, fulleren) veya metalik dolgular (bakır, altın, gümüş ve alüminyum) ile büyük ölçüde iyileştirilebilmektedir [16, 17,18].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin geliştirilmesine yönelik çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Literatür taramasında PA 6,6 ısı iletkenlik özelliğine karbon elyafı, karbon siyahı ve bakır tozunun etkisini aynı çalışma kapsamında incelenmesine rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında, farklı türde (karbon elyafı, karbon siyahı ve bakır tozu) ve miktarlarda iletken dolgular kullanılarak PA 6,6 kompozitleri hazırlanacaktır. Dolgu türünün ve miktarının PA 6,6 matrisinin ısı iletkenliğine etkileri incelenecektir.

Yu ve arkadaşları, farklı şekillerde ve oryantasyonlarda SiC ve hBN dolgularını kullanarak SiC/Poliamid 6,6 ve hBN/Poliamid 6,6 kompozitlerini hazırlamışlardır. Hacimce % 59'luk izotropik SiC ile hazırlanan SiC/Poliamid 6,6 kompozitin ısı iletkenliğinin 0.25 W/mK'den 3.83 W/mK'ye yükseldiğini ve hacimce % 62'lik anizotropik hBN dolgusu ile hazırlanan hBN/Poliamid 6,6 kompozitin ısı iletkenliğinin dikey yönde 0.25 W/mK'den 2.16 W/mK'ye, paralel yönde ise 0.25 W/mK' den 8.55 W/mK'ye yükseldiğini gözlemlemişlerdir [12].

Zhou ve arkadaşları, toz karıştırma ve eriyik harmanlama yöntemlerini kullanarak BN takviyeli HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) kompozitlerini hazırlamışlardır. Dolgu miktarının artışıyla toz karıştırma ile hazırlanan kompozitlerin ısı iletkenliğinin eriyik harmanlama ile hazırlananlara kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Toz karıştırma ile hazırlanan kompozitlerde tanecik boyutunun artırılmasıyla kompozitin ısı iletkenliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, BN ile alüminyum kısa elyafının kullanıldığında kompozitin ısı iletkenliğini daha da artırdığı sonucuna varmışlardır [14].

Ahn ve arkadaşları, ısı iletkenliği arttırmak için silisyum karbonitrür ile kaplanmış bor nitrür (SiCNO-BN) takviyeli SiCNO-BN/Poliamid 6,6 kompozitleri ve bor nitrür takviyeli BN/Poliamid 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. Ağırlıkça % 20 silisyum karbonitrür kaplı bor nitrür içeren SiCNO-BN/Poliamid 6,6 kompozitinin ısı iletkenliğinin, ağırlıkça % 20 BN içeren BN/Poliamid 6,6 kompoziti ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [19]. Şekil 1.1'de SiCNO-BN/Poliamid 6,6 ve BN/Poliamid 6,6 kompozitlerinin dolgu miktarı ile ısı iletkenliğin değişim gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Saf BN ve SiCNO-BN dolgularının (düzlem boyunca) miktarı ve ısı iletkenlik grafiği [19]

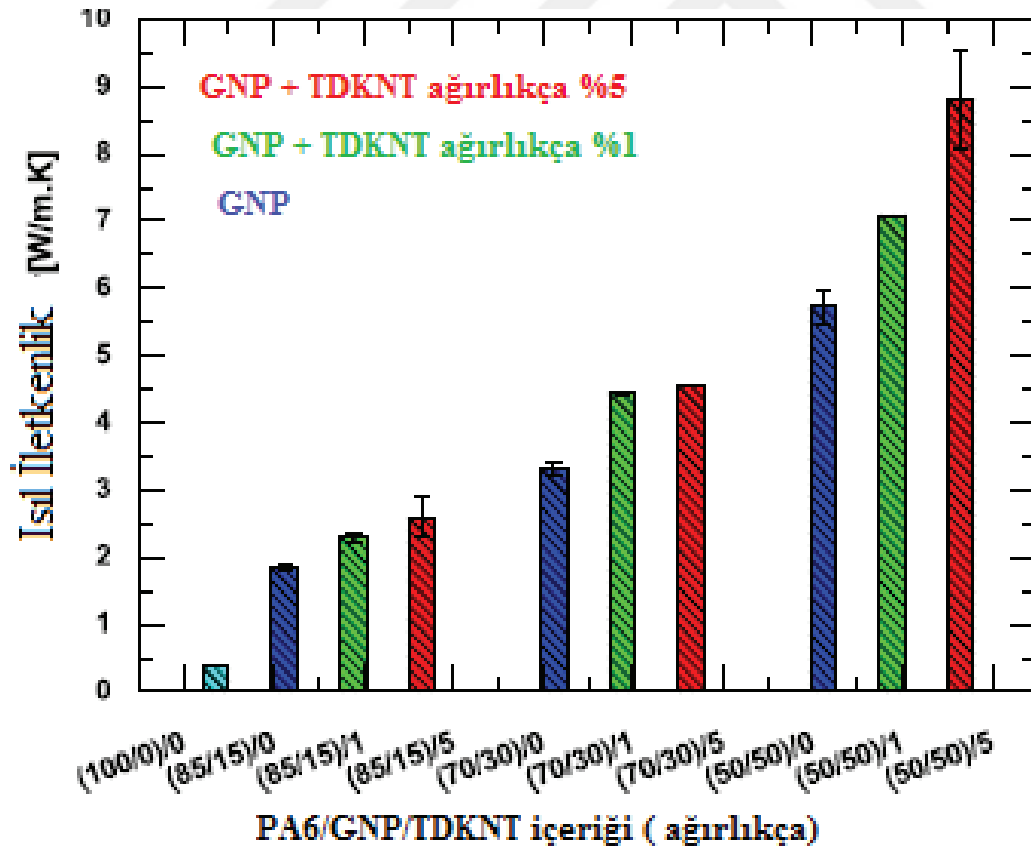
Cheewawuttipong arkadaşları, farklı parçacık boyutlarına sahip iki tip BN takviyeli polipropilen (PP) kompozitleri hazırlamışlar ve kompozitlerin ısı iletkenliğinin BN takviyesi ile arttığını gözlemlemişlerdir. Büyük tanecik boyutlu BN kullanarak hazırlanan PP/BN kompozitin ısı iletkenliğinin küçük boyutlu BN ile hazırlanandan daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [20].

Muratov ve arkadaşları, polipropilenin ısı iletkenliği artırmak için bor nitrür ve alüminyum nitrür dolgularını kullanarak PP esaslı kompozitler hazırlamışlardır. hBN/PP kompozitleri ile AlN/PP kompozitleri karşılaştırıldığında hBN/PP kompozitlerinin ısı iletkenliğinin daha iyi olduğunu sonucuna varmışlardır [9].

Muratov ve arkadaşları, modifiye edilmiş hegzagonal bor nitrür ile yüksek yoğunluklu polietilen kompozitleri hazırlamışlardır. Kompozitin ısı iletkenliğini geliştirmek için iki farklı partikül boyutuna sahip mikro (2-5 μm) ve nano (120-140 nm) boyutta hBN ve üç farklı tipte bağlayıcı ajan kullanmışlardır. Herhangi bir bağlayıcı madde olmadan hazırlanan HDPE kompozitinin ısı iletkenliğinin 2 W/mK olduğu ve en iyi ısı iletkenlik değerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır [8].

Xu ve arkadaşları, grafen nano tabakalar, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve grafit kullanarak Poliamid 6/Poliamid 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. Ağırlıkça %50 oranında grafen nano tabakalar içeren kompozitin ısı iletkenliği $30^{\circ}C$ 'de 5.03 W/mK olarak ölçülmüştür. Al_2O_3 yerine grafen nano tabakaları kullanıldığında, kompozitlerin ısı iletkenliğinin azaldığını, fakat mekanik özelliklerin geliştiğini gözlemlemişlerdir. Grafit nano tabakaların yerine grafit kullanıldığında ise, ısı iletkenliğinin değişmeden kaldığını ancak mekanik özelliklerde düşme gözlemlemişlerdir [21].

Ha ve arkadaşları, belirli miktarlarda grafit nano tabakaları (GNP) ve tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT) ilave ederek poliamid 6 kompozitini hazırlamışlardır. TDKNT/GNP/PA 6 kompozitinde ağırlıkça %0 ile %5 arasında TDKNT kullanmışlardır. TDKNT/GNP/PA 6 kompozitinin ısı iletkenliğinin takviye edilen GNP ve TDKNT miktarının artırılması ile arttığını gözlemlemişlerdir. PA 6 matrisine ağırlıkça %50 GNP ve %5 TDKNT ilave edildiğinde, ısı iletkenlik değerini 8.8 W/mK olarak elde etmişlerdir [10]. GNP/PA 6 ve TDKNT/GNP /PA 6 kompozitlerin dolgu miktarı ile ısı iletkenlik değişimi Şekil 1.2'de gösterilmektedir.

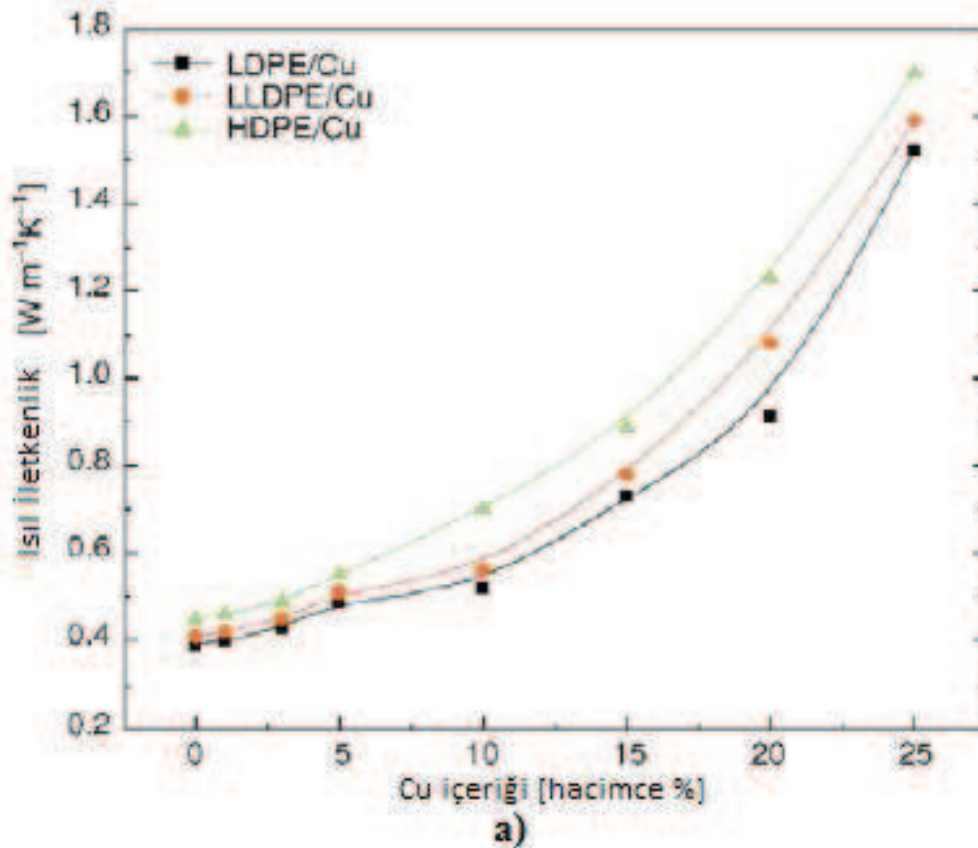


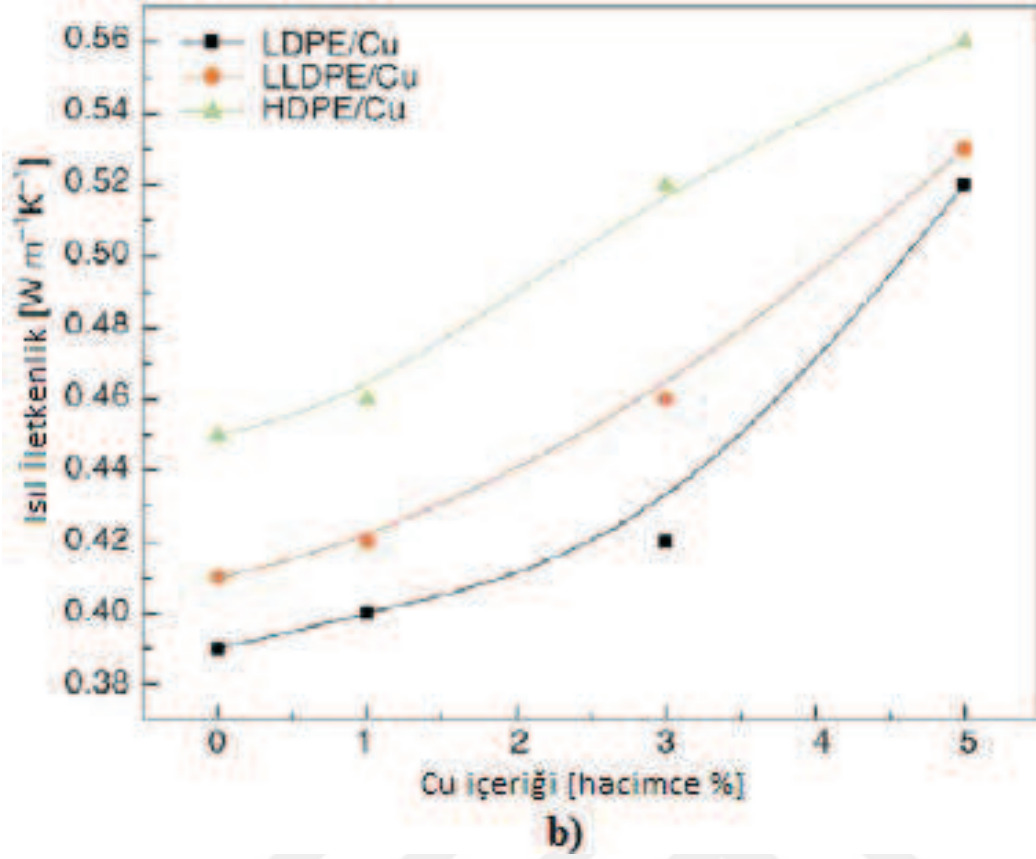
Şekil 1.2 : GNP/PA 6 ve TDKNT/GNP /PA 6 kompozitlerin ısı iletkenliği üzerinde katkı oranlarının etkisi [10]

Lee ve arkadaşları, ağırlıkça % 1'lik farklı uzunluklarda karbon nanotüp dolguları kullanarak PA 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. KNT uzunluk artışı ile KNT/PA 6,6 kompozitlerinin ısıl iletkenlik değişimini incelemişlerdir. KNT uzunluğunun artması ile KNT/PA 6,6 kompozitlerinin ısıl iletkenliğinde artış gözlemlemişlerdir [13].

Tekçe ve arkadaşları, kısa lif, plaka ve küre olarak üç farklı şekilde bakır (Cu) ilavesi ile PA 6 kompozitlerini hazırlamışlardır. Bakır dolgu malzemesi kullanılarak hazırlanan Cu/PA 6 kompozitine bakır ilave edildiğinde kompozitin ısıl iletkenliğinde artış gözlemlemişlerdir. Cu/PA6 kompozitine ayrı ayrı hacimce % 60 küresel bakır, % 30 bakır lifi, % 60 bakır plakalar ilave edildiğinde kompozitin ısıl iletkenlik değerini sırasıyla 3.66 W/mK, 8.71 W/mK, 11.57 W/mK olarak elde etmişlerdir [22].

Molefi ve arkadaşları, polietilen (PE) matrisine mikro ve nano boyutlu bakır (Cu) dolguları ilavesi ile Cu/PE kompozitlerini hazırlamışlardır. Cu/PE kompozitlerine ilave edilen bakır miktarının artması ile kompozitin ısıl iletkenliğinde lineer olmayan bir artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca mikro Cu ve nano Cu boyutlu dolgulu Cu/PE kompozitlerinin ısıl iletkenlikleri arasında çok az bir fark olduğu sonucunu elde etmişlerdir [23]. Mikro ve nano boyutlu bakır dolgu ilavesi ile hazırlanan Cu/PE kompozitlerinin ısıl iletkenlik değişimi Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



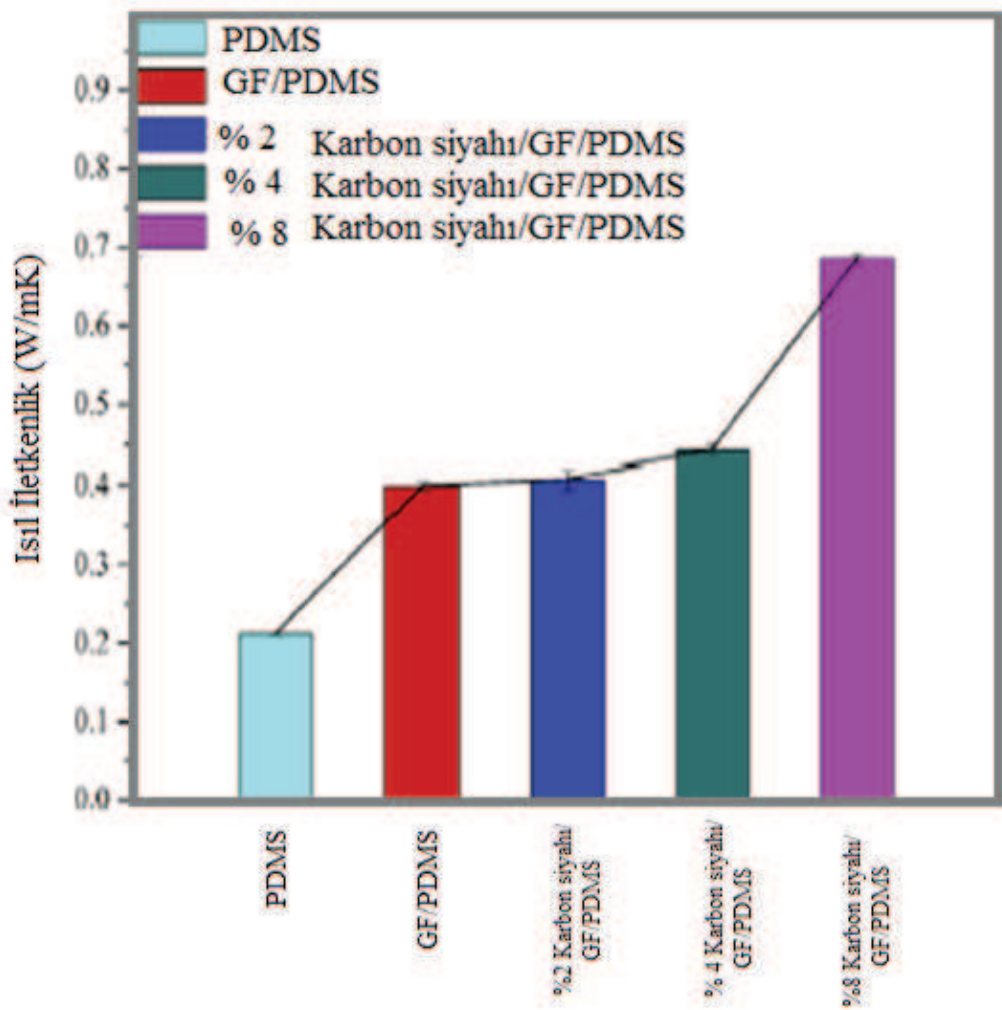


Şekil 1.3 : Polietilen kompozitlerin (a) mikro Cu ve (b) nano Cu dolgu içeriğine göre termal iletkenliği [23]

Heiser ve King, ağırlıkça %5 karbon siyahı, % 30 sentetik grafit ve % 20 karbon fiber kullanarak üç farklı Poliamid 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. Sentetik grafit kullanılarak hazırlanan kompozitin ısı iletkenliğindeki artışın diğer dolgu maddeleri ile hazırlanan kompozitlere kıyasla daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, Poliamid 6,6 ısı iletkenliğinin geliştirilmesinde üç farklı dolgu malzemesinin de etkili olduğu sonucuna varmışlardır [11].

Agari ve Uno, grafit ve karbon siyahı dolgularını kullanarak polietilen esaslı kompozitler hazırlamışlardır. Grafit/PE kompozitine hacimce % 10'un üzerinde grafit ilavesi ile kompozitin ısı iletkenliğinde hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, Karbon siyahı/PE kompozitine hacimce % 3'ün üzerinde karbon siyahı ilavesi edildiğinde kompozitin ısı iletkenliğinde hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Grafit/PE ile karbon siyahı/PE kompozitlerinin ısı iletkenlik artışları karşılaştırıldığında az miktarda ilave edilen karbon siyahının kompozitin ısı iletkenliğini daha çok artırdığı sonucuna varılmıştır [24].

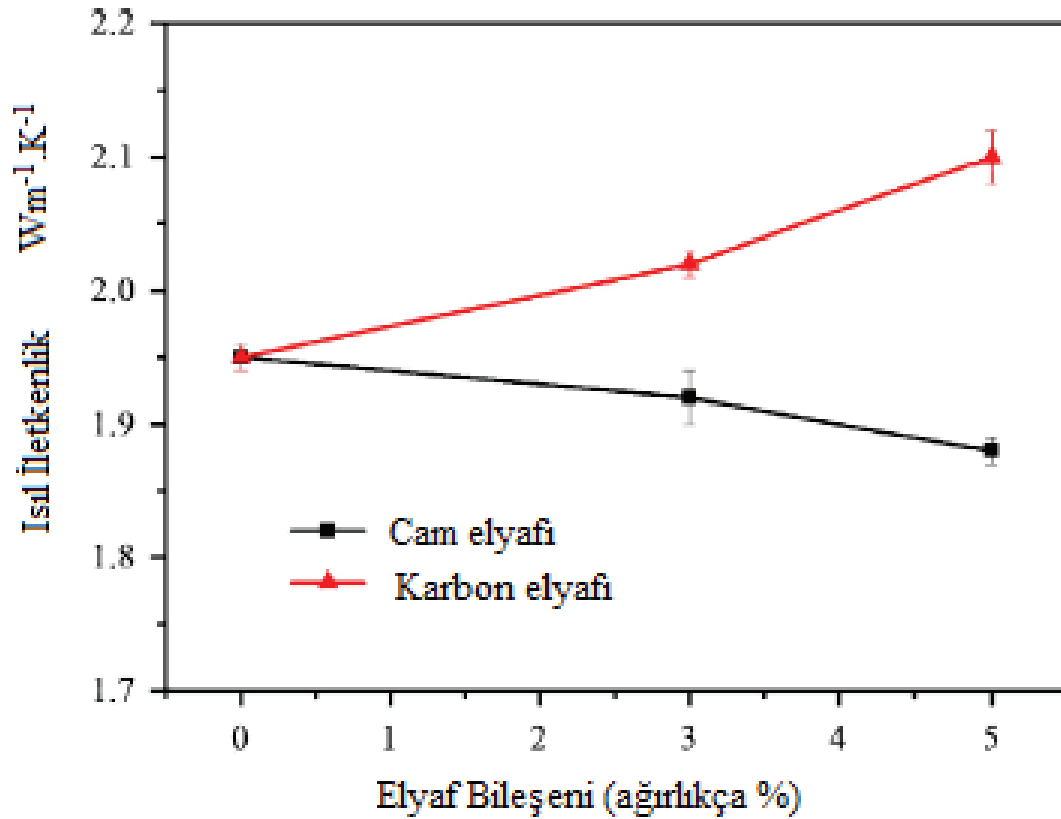
Zhao ve arkadaşları, grafen köpüğü (GF) kullanılarak polidimetilsiloksan (PDMS) esaslı kompozitini hazırlamışlardır. GF/PDMS kompozitine takviyelendirici olarak karbon siyahı ilave edilerek ısı iletkenlik değışimi gözlemlenmiştir. Karbon siyahı/GF/PDMS kompozitine ilave edilen karbon siyahının miktarı artırılarak ısı iletkenliğe etkisi gözlemlenmiştir. Karbon siyahı miktarı % 8'in altında olduğunda kompozitin iletkenliğinde önemli bir değışim gözlemlenmemiştir. Ancak % 8 karbon siyahı ilave edildiğinde kompozitin ısı iletkenliğinde hızlı bir artış gözlemlenmiştir [25]. Şekil 1.4'de karbon siyahı/GF/PDMS kompozitinin karbon siyahı ilavesi ile ısı iletkenlik değışimi gösterilmektedir.



Şekil 1.4 : Karbon siyahı/GF/PDMS kompozitinin ısı iletkenlik değışimi [25]

Liu ve arkadaşları, poliamid 6,6 kompozitlerinin ısı iletkenliğini incelemek için ekstrüzyon ve çözelti yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem kullanarak karbon elyaf/Poliamid 6,6 kompozitlerini hazırlamışlardır. Çözelti yöntemi kullanılarak hazırlanan karbon elyaf/Poliamid 6,6 kompozitlerinin ısı iletkenliğinin maksimum değeri 2.537 W/mK olarak elde etmişlerdir. Ayrıca, ekstrüzyon ile hazırlanan karbon elyaf/Poliamid 6,6 kompozitlerinden daha üstün olduğu sonucuna varmışlardır [7].

Li ve arkadaşları, poliamid 6 (PA 6) matrisine magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$), alümina (Al_2O_3) ve pulsu grafit dolguları ilave edilerek polimer kompozitini hazırlamışlardır. Daha sonra hazırlanan kompozite takviyelendirici olarak karbon elyafını ve cam elyafını ayrı ayrı ilave etmişlerdir. Takvilendirici olarak kullanılan karbon elyafı ve cam elyafının PA 6 kompozitlerinin ısı iletkenliğe etkisini incelemişlerdir. Karbon elyafı bileşeni arttıkça kompozitin ısı iletkenliğinin arttığını ancak cam elyafı ile ısı iletkenliğin azaldığını gözlemlemişlerdir [26]. Şekil 1.5'te karbon elyaf/Poliamid 6,6 kompozitinin karbon elyafı ve cam elyafı ilavesi ile ısı iletkenlik değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1.5 : Lif içeriğinin kompozitin ısı iletkenliğine etkisi [26]

1.3 Hipotez

Literatür çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla polipropilen [9,20], polietilen [8,14], poliamid 6 [10,21] gibi polimerlerin ısı iletkenliğinin geliştirilmesi üzerine çalışmalara rastlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda ısı iletkenliği geliştirmek için çeşitli katkı ve dolgu malzemeleri kullanıldığı görölmüştür [16,17,18]. Literatür çalışmalarında PA 6,6'nın ısı iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik az sayıda çalışma yapıldığı bilinmektedir [7, 11,12, 19, 21]. Hesier & King'in PA 6,6 ile hazırladıkları kompozitlerde karbon elyafı ve karbon siyahını kullandığı bir çalışmaya rastlanmıştır [11].

Literatür incelemelerinde ısı iletkenliği artırmak için genellikle tek tip katkı maddelerinin kullanıldığı, karbon elyafı, karbon siyahı ve bakır tozunun bir arada kullanılmadığı görölmüştür. Karbon elyafı, karbon siyahı ve bakır tozunun birlikte kullanımının ısı iletkenliğinin artışına katkı sağlamanın yanında çekme mukavemeti, eğme mukavemeti gibi mekanik özellikleri ve ısı yorulma dayanımının iyileştireceğini ön görmekteyiz. Isı iletkenliği geliştirilmiş PA 6,6'nın elektrik-elektronik uygulamalar gibi ısı iletkenliğin önemli olduğu uygulamalarda alternatif bir malzeme olacağı ve farklı katkıların PA 6,6 ile birlikte kullanılabileceği düşünölmektedir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar hem kendi içerisinde hem de literatür sonuçlarıyla karşılaştırılarak hipotezimiz doğrulanmaya çalışılacaktır.



2. POLİMERLERDE ISIL İLETKENLİK

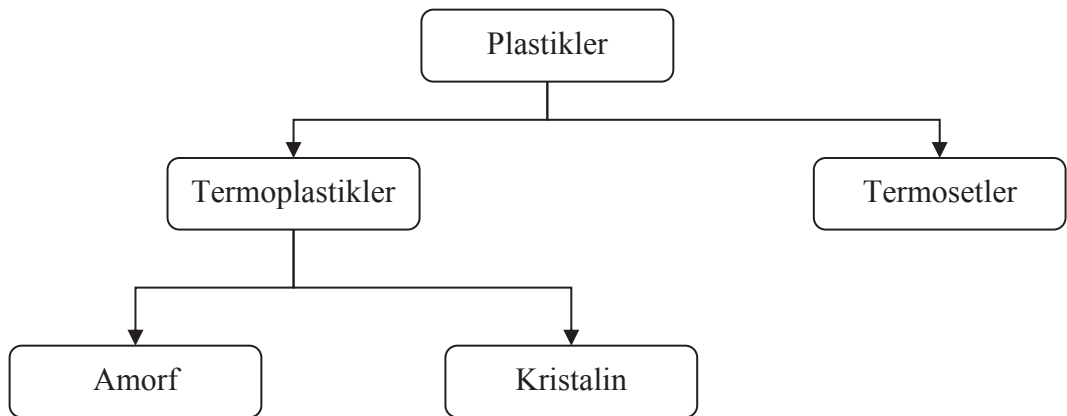
2.1 Polimerler

Monomer olarak adlandırılan basit moleküllerin kimyasal bağlarla bağlanması sonucu oluşan makro molekül yapıları maddelere polimer denilmektedir [27]. Polimerlerin çok eski zamanlardan beri kullanılan nişasta, protein, selüloz gibi doğal türleri işleme zorluğundan dolayı yerini sentetik polimerlere bırakmıştır [28].

Polimerler ısı ve basınç altında kolayca şekil değişimi gösterdikleri için endüstride plastik olarak adlandırılmaktadırlar [29]. Metal, seramik, odun gibi malzemeler uzun yıllar kullanılmasının yanı sıra plastikler yirminci yüzyıl başlarında kullanılmaya başlamıştır [30]. Plastik malzemeler en son ortaya çıkan malzeme gruplarından olmasına rağmen çok hızlı bir gelişim göstererek diğer malzeme türlerinden üstün hale gelmiştir [30].

2.2 Polimerlerin Sınıflandırılması

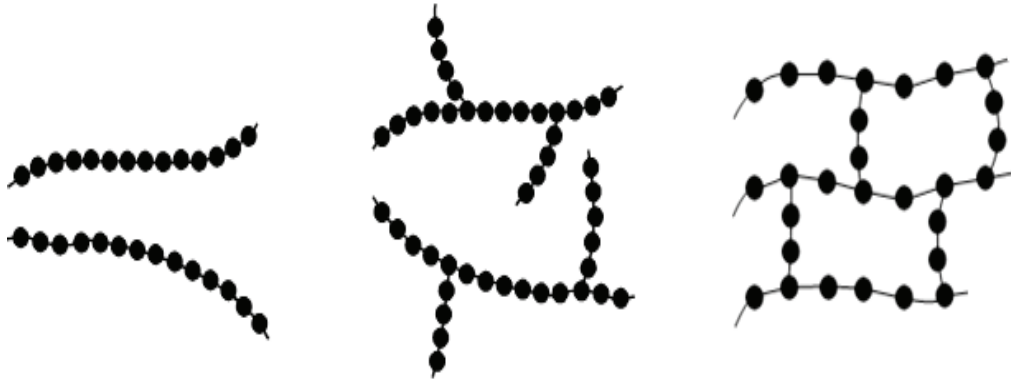
Polimerler fiziksel ve mekanik özellikleri, ısı karşısında gösterdiği direnç, üretim teknikleri, kullanım alanı gibi özellikleri dikkate alındığında pek çok sınıflandırma yöntemi mevcuttur [28]. Ancak en yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemi ısı karşısında gösterdiği dirence göre yapılan sınıflandırmadır [29]. Isı karşısında gösterdiği dirence göre polimerler; termoplastikler ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.1 Polimerlerin ısı karşısında gösterdiği dirence göre sınıflandırılması

2.2.1 Termosetler

Termosetler, yapısında yüksek oranda çapraz bağ (Şekil 2.2) bulunduran malzemelerdir [31]. Termosetler yapılarında bulunan bu çapraz bağlar sayesinde gevrek ve ısıya dayanıklı malzemeler olarak bilinmektedirler. Termosetler, genellikle yoğunlaşma polimerizasyonu ile elde edilmektedir [29]. Termoset malzemeler yapısında ki lineer zincirlerler arasında oluşan çapraz bağlardan dolayı sert ve rijit bir yapıya sahiptir. Termosetler ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Bu nedenle yeniden şekillendirilmesi ve geri dönüştürülmesi mümkün değildir [28].



Şekil 2.2 Plastiklerin molekül yapısı, a) Doğrusal molekül yapısı, b) Dallanmış molekül yapısı, c) Termoset polimerlerin sahip olduğu çapraz bağ yapısı [29]

2.2.2 Termoplastikler

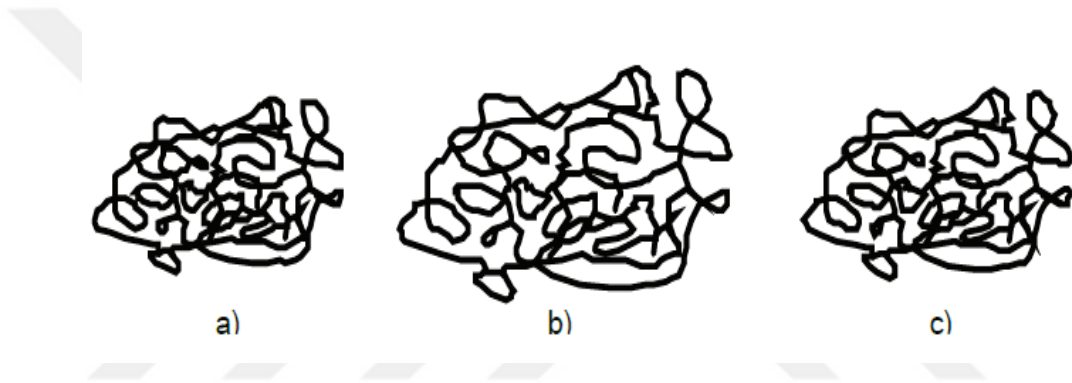
Termoplastikler, ısıtıldığında yumuşayan, soğutulduğunda sertleşen malzemelerdir. Termoplastikler ısıtıldıklarında sıvılaşır. Bu sayede ısıtılarak yeniden şekillendirilmekte ve geri dönüştürülebilmektedirler [29]. Sıcaklık artış ile termoplastiklerin viskozitesi düşmektedir. Bu özellik termoplastiklerin kolayca işlenebilmesini sağlar [31]. Isı ve basınç yardımıyla, eğme ve bükme gibi yöntemlerle istenilen şekle getirilmesi gibi avantajlar nedeniyle çok geniş uygulama alanlarına sahiptir [29].

Termoplastik malzemeler amorf ve yarı kristal yapıya sahip olabilirler [32]. Termoplastiklere örnek olarak; polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), poliamid 6 (PA) ve poliamid 6,6 (PA 6,6) verilebilir [29].

2.2.3 Amorf Yapılı Termoplastikler

Zincir yapısında gelişi güzel dizilime sahip olan polimerlere amorf polimer denilmektedir. Yapısal düzen göstermeyen amorf polimerler yumuşak ve tok bir yapıya sahiptirler [29]. Çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, yoğunluğu ve kimyasal dayanımı düşük, darbe dayanımı yüksektir [3, 29]. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) olarak adlandırılan tek bir termal davranış göstermektedirler.

Amorf yapı polimerlere örnek olarak; akrilonitril bütadien stiren (ABS), polistiren (PS), stiren akrilonitril (SAN), polivinilklorür (PVC), polikarbon (PC) verilebilir [28]. Şekil 2.3’de amorf polimerlerin yapısında ısıtma ve soğutma sonrası meydana gelen değişiklikler gösterilmektedir [29].



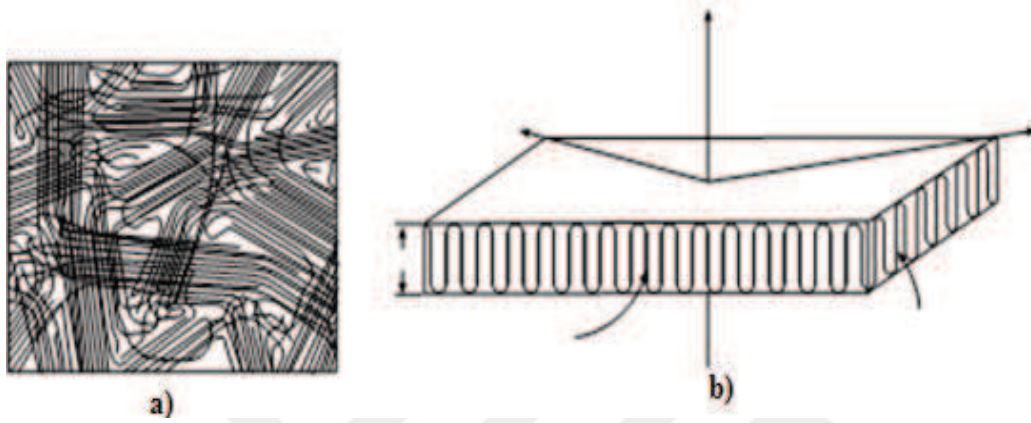
Şekil 2.3 Amorf polimerlerin yapısında ısıtma ve soğutma sonrası meydana gelen değişiklikler, a) Amorf polimerin başlangıçtaki yapısı, b) Isıtma sonrası yapıda meydana gelen gevşeme, c) Soğutma sonrası yapıda meydana gelen büzülme [29]

2.2.4 Kristal Yapılı Termoplastikler

Polimerler eriyik halden katı hale geçerken molekül zincirler biririne yaklaşarak kristal yapıları oluşturmaktadır [3]. Kristalin yapıda ki zincirler belirli bir düzende dizilmektedirler. Bu sayede moleküller arasında düzenli boşuklar oluşmaktadır. Bu yapı polimerin düzgün bir geometrik şekle sahip olmasını sağlamaktadır [29,33].

Kristalin yapılar amorf yapılardan farklılık göstermektedirler. Kristalin yapılar yüksek ergime sıcaklığına, yüksek ısı mukavemetine sahiptirler. Amorf yapıya göre daha rijittirler ve kimyasal dayanımları, çekme ve sürünme mukavemetleri daha yüksektir. Erime sıcaklığı (T_m) olarak adlandırılan tek bir termal davranış gösterirler [29]. Şekil 2.4’te kristalin polimerlerin fringed micelle ve katlanmış zincir lamel yapısı gösterilmektedir.

Kristal yapılı termoplastiklere örnek olarak; poliamid (PA), polietilen (PE), polipropilen (PP), polioksimetilen (POM), polietilenteraftalat (PET), polibütilentereftalat (PBT) verilebilir [28]. Malzeme özelliklerini etkileyen parametrelerden biri olan kristal yapıların büyüklüğü, şekli ve miktarı önemlidir. Bu duruma örnek olarak; kristalinite arttıkça polimerlerin ısı iletkenlik değeri de artmaktadır [33].

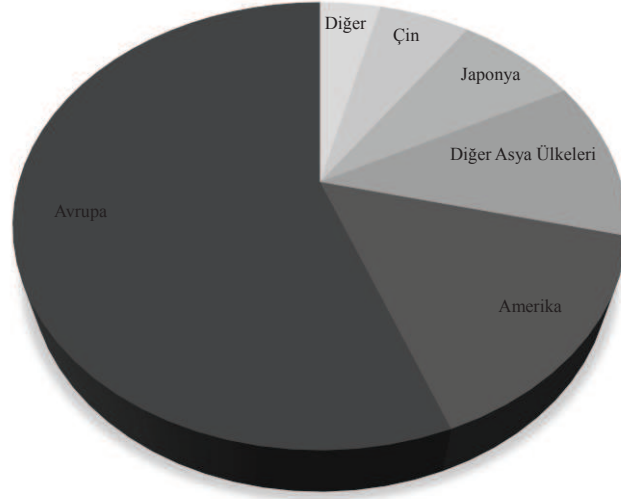


Şekil 2.4 Kristalin yapıların gösterimi, a) Kristalin yapıların “fringed micelle” gösterilişi, b) Polietilen kristallerinin “katlanmış-zincir lamel” yapısı [28]

2.3 Poliamid

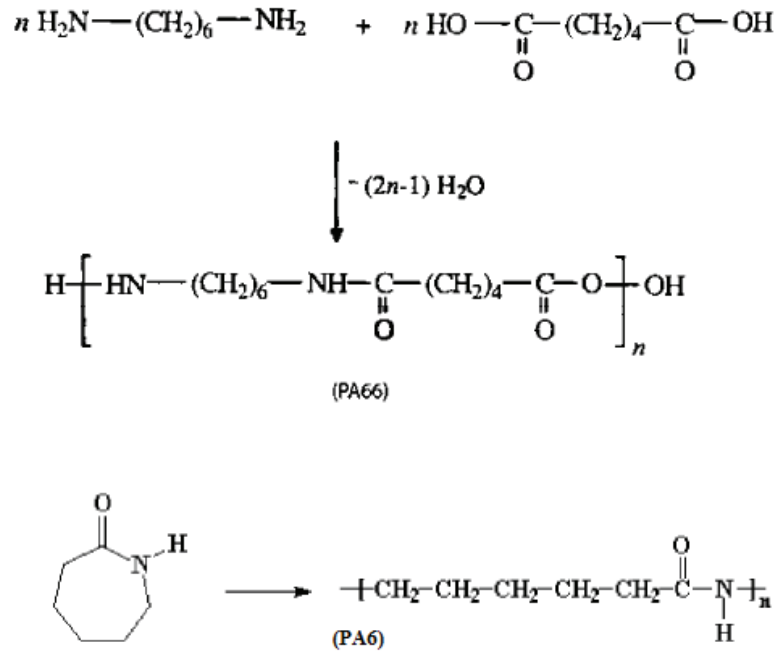
1940’lı yıllarda kalıplanabilmesi ile dikkat çeken poliamidler, yüksek dayanım, iyi elektriksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine sahip olmasıyla endüstride sıkça kullanılan mühendislik plastiklerindendir [3]. Wallace Carothers tarafından kondenzasyon polimerizasyonu ile poliamid sentezlenmiştir. Bu proseste, karboksilik asit ve bir aminin reaksiyonu ile su çıkışı sonucunda poliamid elde edilmiştir. 1928’de Du Pont tarafından yapılan bu çalışma ile dünyadaki ilk ticari mühendislik termoplastiği olan poli(hegzametilen adipamid) üretilmesine başlanmıştır. Bu üretimi gerçekleştirilen yeni polimer Du Pont tarafından Poliamid 6,6 olarak adlandırılmıştır. 1935’te de yüksek molekül ağırlıklı poliamid 6,6 hazırlanmıştır [34].

Dünyada üretilen ve tüketilen polimerlerin önemli bir bölümünü poliamdiler oluşturmaktadır [35]. Her yıl 3 milyon tonun üzerinde poliamid üretimi yapılmaktadır dolayısıyla tüketimi de her geçen yıl artmaktadır [31,36]. Poliamidin dünyadaki tüketim oranları Şekil 2.5’te verilmektedir.



Şekil 2.5 Poliamid'in dünyada ki tüketim oranları dağılımı [37]

Kondenzasyon polimerizasyonu ve halka açılma polimerizasyonu gibi çeşitli reaksiyon mekanizması ile poliamid elde edilebilmektedir. Bu reaksiyon mekanizmalarından en yaygın olarak kullanılan yöntem, kondenzasyon polimerizasyonun bir çeşidi olan, diasitlerin diammin ile direk amidasyonudur [35,36]. Poliamid 6,6'nın hegzametilen diammin ve adibik asidin reaksiyonu sonucu elde edilmesi bu mekanizmaya örnektir [36]. Laktamların halka açılma polimerizasyonu da poliamid sentezi için kullanılan mekanizmalardandır [27]. Poliamid 6,6'nın ve poliamid 6'nın sentez reaksiyonları Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Poliamid sentez reaksiyonları [27]

Poliamdiler düzenli bir yapıya sahip olmalarından dolayı yüksek gerilimlere dayanıklıdır. Poliamidler yapılarında bulunan hidrojen bağlarının etkileşimi ile yüksek kristal yapıya ulaşabilirler. Zincir etkileşimleri sayesinde oluşan poliamdiler yüksek mekanik dayanıma sahiptirler. Ancak poliamdilerin yapısında bulunan hidrojen bağları nemli ortamlarda bozulur. Zincirler arasına giren su molekülleri zincir hareketliğini artırarak poliamdilerin boyutsal ve mekanik özelliklerini kaybetmesine neden olur [27].

Poliamidlerin molekül ağırlıkları 10.000-80.000 arasında değişmektedir. Amorf ve yarı kristal yapıya sahiptirler [28]. Poliamdiler yapılarında ki yüksek kristalleşmeden dolayı; yüksek mukavemet, düşük gaz ve buhar geçirgenliği, rijitlik, dar bir ergime aralığı, yarı saydamlık, iyi aşınma direnci, iyi yorulma ömrü ve yüksek sıcaklıkta işleme gibi özellikler göstermektedir [31]. Bu özelliklerinin yanı sıra poliamdiler yüksek darbe dayanımına, iyi aşınma direncine, iyi ısı ve kimyasal dayanıma, sünekliğe ve kayganlığa sahiptirler [27,28].

Poliamidlerin yüksek nem alma özelliği mekanik özelliklerinde farklılıklara sebep olmaktadır. Mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için cam elyafı gibi katkıları kullanılmaktadır [28]. Kullanım sıcaklıkları saf poliamidler için 65-75 °C arasında iken cam ve diğer katkıların ilavesi ile hazırlanan poliamidlerde bu sıcaklık 100-115°C'e kadar yükseltilebilmektedir [27]. Poliamidlerin, Poliamid 6, Poliamid 6,6, Poliamid 6,10, Poliamid 11 ve Poliamid 12 gibi birçok çeşidi vardır. Bunlar arasında en yaygın olarak PA 6 ve PA 6,6 kullanılmaktadır [27]. Poliamid türlerinin mekanik özellikleri Çizelge 2.1'te gösterilmektedir.

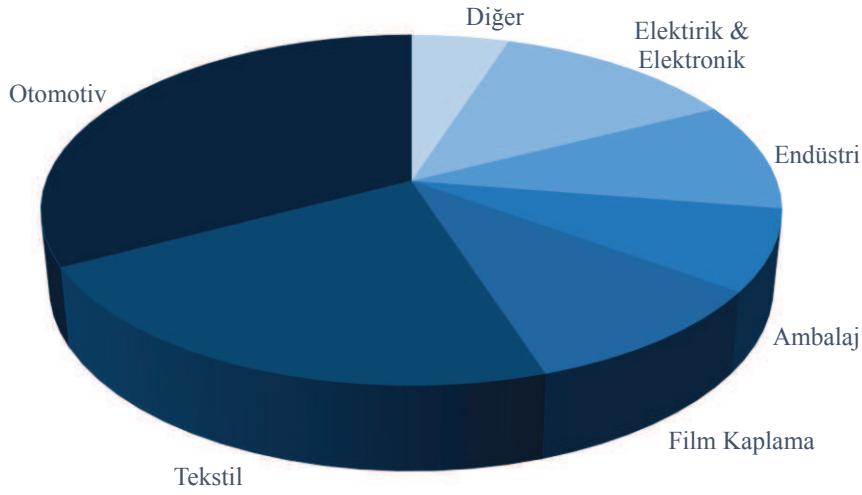
Çizelge 2.1 : Poliamid türlerinin mekanik özellikleri [34]

Poliamid Türleri	Özgül ağırlık (g/cm ³) ASTM D792	Çekme dayanımı (GPa) ASTM D638	Çekme Modülü (GPa) ASTM D638	Eğilme Modülü (GPa) ASTM D790	Kopma Uzaması (%) ASTM D638	Izod Darbe mukavemeti (kJ/m ²) ASTM D256
Poliamid 6	1.13	70	2.8	2.2	15	45-65
Poliamid 11	1.03	38	1.4	1.2	250	100
Poliamid 12	1.02	45	1.4		200	50-200
Poliamid 66	1.14	85	3.0	2.8	5	40-60
Poliamid 69	1.08	70		2.3	50	35
Poliamid 610	1.07	55	2.1		70	50
Poliamid 612	1.06	61	2.1	2.3	10	50
Poliamid 46	1.18	100	3.3	3.0		10

P 6 ve PA 6,6 yüksek molekül ağırlığına sahiptirler. Yapılarında ki kristal ve amorf bölgelerin oranına göre özellikleri değişmektedir. Kristal yapının amorf yapıya oranı arttıkça darbe dayanımı dışında ki diğer meknik özelliklerinde iyileşme olmaktadır. Ergimiş polimerler çok hızlı soğutulduğunda kristal yapı oranı düşmektedir [27].

Poliamidler yapılarında bulunan hidrojen bağlarından dolayı polyesterlerden daha yüksek sıcaklıklarda erimektedirler. Örneğin Poliamid 6,6 265 °C’de erimektedir [35]. PA 6 ve PA 6,6’nın yapısında bulunan amorf bölgeler sıcaklık artışıyla değişime uğramaktadır. Bu durum çekme ve kopma dayanımını azaltırken, darbe dayanımını artırmaktadır [27].

Poliamidler korozyon direnci, düşük maliyet, iyi elektrikselsel ve kimyasal özellikleri sayesinde otomotiv, elektrik elektronik, tekstil gibi birçok uygulama için tercih edilmektedir [3]. Şekil 2.7’de poliamdin uygulama alanları oranları verilmiştir.



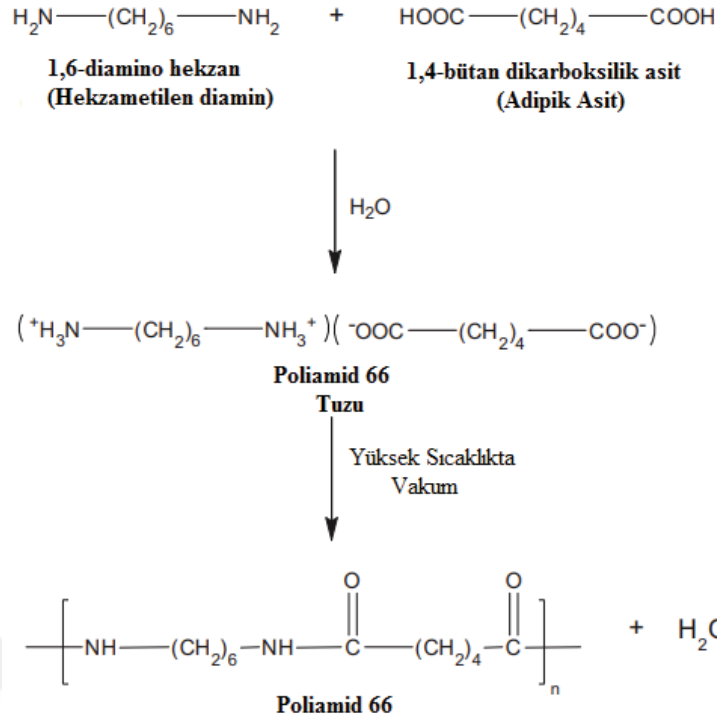
Şekil 2.7 Poliamid'in uygulama alanları [38]

2.4 Poliamid 6,6

Mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini poliamidler oluşturmaktadır [3]. Poliamid türleri arasında en yaygın olarak kullanılanlardan birisi Poliamid 6,6'dır [27]. Poliamid 6,6'nın bu türler arasında en dayanıklı ve en yüksek ergime noktasına sahip olduğu bilinmektedir.

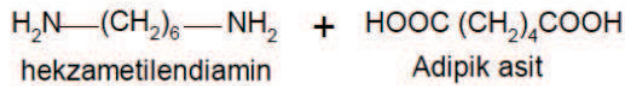
PA 6,6 kullanılarak üretilen parçaların bazı bölümleri kristal bir yapı gösterirken, bazı bölümleri amorf yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, PA 6,6'nın yarı kristal yapısından kaynaklandığı bilinmektedir. Üretim koşulları ile kristal miktarı artırılıp azaltılarak üretilen parçaların mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir [3].

Poliamid 6,6 bir asit ve bir aminin kondenzasyon polimerizasyonu sonucu elde edilmektedir. Bu polimerizasyon da amin ve asit gurubu arasında amid bağı oluşup bir molekül su açığa çıkmaktadır [27]. Poliamid 6,6'nın sentezi Şekil 2.8'da gösterilmektedir.

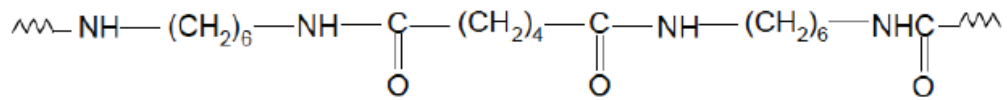


Şekil 2.8 Poliamid 6,6'nın sentezi [39]

Poliamidler genel olarak molekül yapısına göre adlandırılmaktadır. Amin ve asit guruplarından gelen karbon sayılarına göre XY ve Z gurupları ile belirlenmektedir. Örneğin; Şekil 2.9 ve 2.10'da gösterilen poliamid ve monomer çeşitleri gibi, aminden gelen karbon sayısı (X) 6, asitten gelen karbon sayısının (Y) 6 olması sonucu oluşan poliamid Poliamid 6,6 olarak adlandırılmaktadır. Z gurubu poliamidler yapısında ki karbon sayısına göre adlandırılmaktadır [28].



Şekil 2.9 Poliamid 6,6 sentezinde kullanılan monomer çeşitleri [27]



Şekil 2.10 Poliamid 6,6'nın kimyasal yapısı [27]

PA 6,6'nın, 120 °C sürekli kullanım sıcaklığına sahip olduğu ve 240 °C'de eridiği bilinmektedir [3]. Camsı geçiş sıcaklığının 53°C, özgül ağırlığının 1,13-1,15g/cm³, kopma mukavemetinin 66-86 MPa olduğu bilinmektedir. Poliamid 6,6 alkalilerden etkilenmez, asitlere karşı dayanımı sınırlıdır [3,26]. Poliamid 6,6 yüksek mukavemet, sürünme, sertlik, rijitlik, ısıl deformasyona karşı direnç, ani darbelere karşı mükemmel direnç ve tekrarlı gerilme gibi mekanik özelliklere sahip malzemelerdir. Aynı zamanda poliamidler içerisinde en yüksek tokluk, sertlik, aşınma ve ısıl şekil değiştirme sıcaklığına sahiptirler [39].

PA 6,6 endüstriyel olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. PA 6,6, otomobil iç aksamı, frenler, vites kolları, otomobil far reflektörleri, emniyet kemerleri gibi çeşitli otomotiv parçalarında, elektrik kumanda düğmeleri, sigorta kutuları, kablo bağlayıcı tokaları, dişliler, kam mili gibi farklı uygulama alanlarına sahiptir [3,39].

PA 6,6'dan üretilen ürünler ısıya maruz kaldığı zaman ısıl deformasyona uğramaktadırlar [5]. Bu problem PA 6,6'dan oluşan matrise yüksek iletken dolgu malzemeleri eklenerek önlenabilmektedir [4]. Düşük ısıl iletkenlik özelliğine sahip PA 6,6 matrisine genellikle karbon nanotüp, karbon elyafı, metal partiküller ve bor esaslı bileşikler ilave edilerek ısıl iletkenlik özelliği geliştirilmektedir [6,7].

2.5 Polimerlerde Isıl İletkenlik

Isı enerjisinin bir malzeme içerisinde hareket yeteneği ısıl iletkenlik olarak adlandırılmaktadır. Malzemede ki bu hareketlilik enerjinin bir yerden diğerine taşınmasını içermektedir. Maddenin hallerine göre ısı transferi farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Bir gaz fazında, gaz molekülleri enerjiyi moleküler hareketin rastgele (difüzyon) gerçekleşmesi ile ya da moleküllerin belli bir yönde (sürüklenme) sürüklenmesi ile taşınmaktadır. Sıvılarda, enerjinin aktarılması difüzyon ve yatay iletim ile gerçekleşmektedir. Katılar da da enerji, fononlar, elektronlar veya fotonlarla taşınmaktadır [1].

Malzeme türü ısıl iletkenliğinde oldukça önemlidir. Örneğin; sıcak su dolu bir bardakta ısı iletimi bardağın yapıldığı malzemeye göre değişmektedir. Burada ısı iletimi bardağın iç kısmında ki moleküllerden dışarı doğru gerçekleşmektedir.

Malzemede ısı iletimi, enerjisi yüksek olan taneciklerden daha düşük enerjili komşu moleküllere titreşimlerle aktarılmaktadır. Bu tür enerji aktarımları malzemenin iç yüzeyinden dışına doğru ilerlemektedir [1]. Malzemelerin ısı iletkenliği (k) Fourier yasası ile açıklanmıştır (Denk.1).

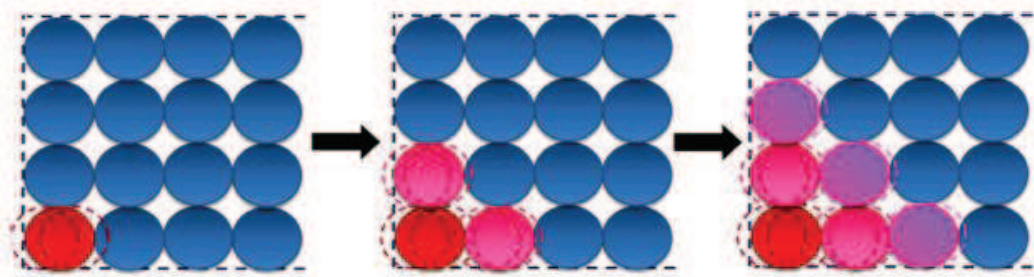
$$k = - \frac{\Delta Q / \Delta t}{A(\Delta T / \Delta x)} \quad (1)$$

Formülde; A ısı iletildiği alan, $\Delta Q / \Delta t$ birim zamanda iletilen ısı miktarı (ısı akış hızı), ΔT malzemenin iki yüzeyi arasında ki sıcaklık farkı ve Δx ısı iletildiği yolu göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan ısı iletkenlik birimleri, $W/m K$ ($W=J/s$) veya $J/(s m K)$ şeklindedir. Malzemelerin sıcaklık farkı ve ısı akış hızı ölçüldükten sonra ısı iletkenliği Fourier yasası kullanılarak hesaplanmaktadır [1].

Isı iletkenliğinin hesaplanması için gerekli olan ısı akış hızı, ısıtıcıya verilen elektiriksel gücün izlenmesiyle ölçülebilmektedir. Malzemelerin ısı iletkenlik değeri ısıyı absorplamasıyla da ilgilidir. Polimerler fazla miktarda ısıyı absorpladıkları için ısı iletkenlik değerleri düşüktür [1]. Polimerlerin termal iletkenliği, Debye denkleminde elde edilmektedir (Denk.2).

$$k = \frac{C_p v l}{3} \quad (2)$$

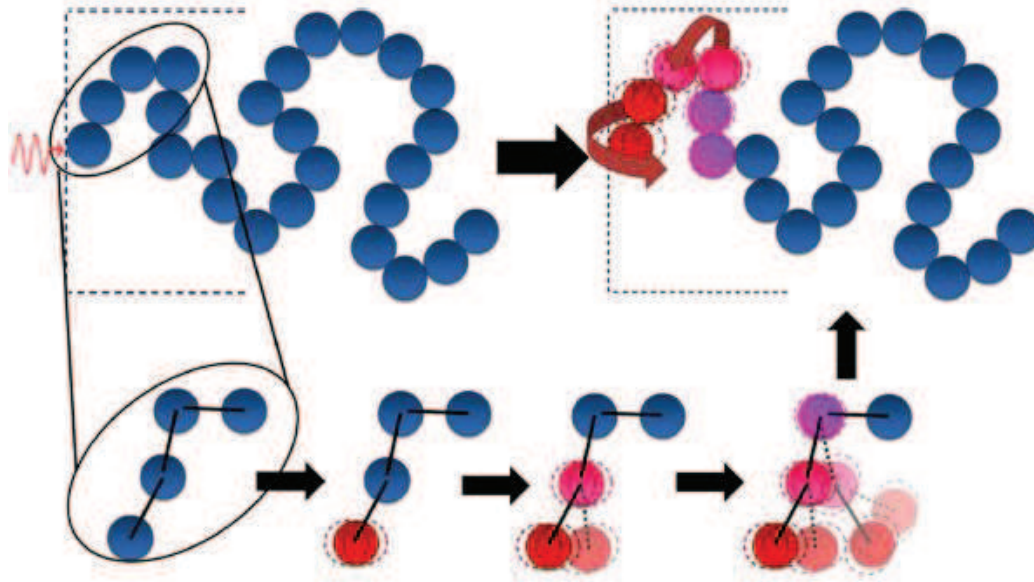
C_p birim hacim başına spesifik ısı kapasitesini, v fononun hızını, l ise fonon ortalama serbest yolu ifade etmektedir. Çoğu polimerler için l oldukça küçüktür [15]. Bu nedenle, çoğu polimer yüksek ısı iletimi gereken birçok uygulama için yeterli olmayan düşük ısı iletkenliğe sahiptir [41].



Şekil 2.11 Kristal malzemelerde ısı iletimi [27]

Katılar malzemeler de ısı fononlar ve elektronlar taşınmaktadır. Kristal malzemelerde ki ısı iletimi Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmektedir. Kristal kafesin bir tarafı ısı kaynağı ile temas ettiğinde, ısı birinci tabaka atomlarına titreşim şeklinde iletilmektedir. Kafes içindeki atomların yoğun birikimi ve aralarındaki kimyasal bağlar sayesinde birinci katman atolarındaki titreşim komşu atomlara geçmektedir. Komşu atomlar titreşimleri diğer komşu atomlara iletmektedir. Bu durum, kristal malzemelerde ısıнын hızlı bir şekilde iletildiğini göstermektedir [41].

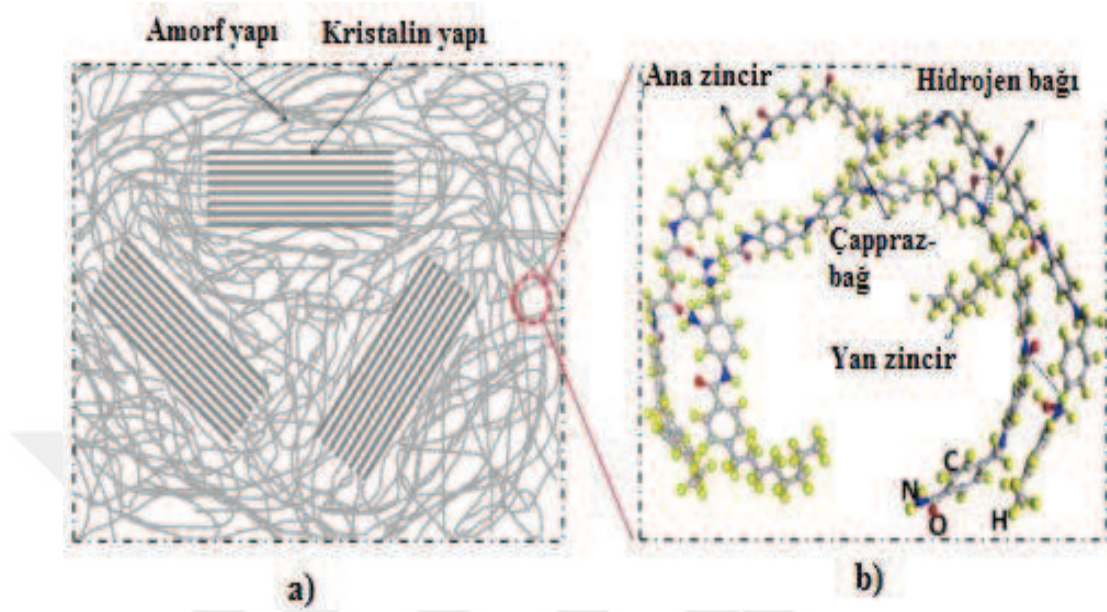
Polimerlerde ısı iletimi, kristallik, sıcaklık, makromoleküllerin oryantasyonu gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Polimerlerde genellikle fononlar termal taşıyıcı olarak bilinmektedir [42]. Elektronların serbest dolaşımı mümkün olmadığı için fononlar ve rijit kristal kafeste gerçekleşen titreşim modları polimerlerde birincil ısı iletim mekanizması olarak bilinmektedir [43].



Şekil 2.12 Polimerin ısı iletim mekanizması [27]

Amorf bir polimerin ısı transfer mekanizması Şekil 2.12’de verilmektedir. Polimerin yüzeyi ısı kaynağıyla temas ettiğinde, ısı moleküler zincirin ilk atomuna titreşimlerle aktarılmaktadır. Daha sonra ısı titreşimlerle komşu atoma ve ondan sonraki atomlara transfer olmaktadır. Amorf polimerlerde ısı kristallerdeki gibi dalga şeklinde yayılmamaktadır. Amorf polimerlerde zincir yapısından kaynaklı olarak ısı iletimi yavaş ve düzensiz gerçekleştiği için iletkenlik azalmaktadır [41,44].

Molekül ağırlığı, yönlenme ve kristalinite gibi faktörler polimerlerin ısı iletkenliğini etkilemektedir. Polimerlerin yönlenmesi ve kristalinite derecesinin artması sonucunda ısı iletkenlik artmaktadır [29].



Şekil 2.13 Polimerin yapısı [41]

Polimer zincirlerinin kristalin ve amorf yapısı Şekil 2.13 (a) da gösterilmektedir. Polimerlerin molekül yapıları çok düzenli kristal yapılardan ve rastgele amorf yapılardan oluşmaktadır [45]. Amorf yapılar baskın olduğunda, polimerdeki titreşim modları lokalize olma eğilimindedir, bu da düşük ısı iletkenliği neden olmaktadır. Şekil 2.13 (b) 'de gösterildiği gibi, polimerin termal iletkenliği polimer zincirlerin hizalanmasına ek olarak, omurga bağlarının ve yan zincirlerin yapısına, zincirler arası bağlanmaya bağlıdır [41].

Bazı polimerlerin ısı iletkenlik özellikleri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Polimerin kristalitesi ısı iletkenliğini güçlü bir şekilde etkilemektedir [46]. Örneğin; polimetilmetakrilat (PMMA) veya polistiren gibi amorf polimerler için ısı iletkenlik yaklaşık 0.2 W / mK ve HDPE gibi yüksek kristalli polimerler için 0.5 W / mK arasında değişmektedir. [43,47].

Price ve Jaratta'nın yaptığı bir çalışmada, politetrafloroetilenin (PTFE) ısı iletkenliğinin 232 °C'de kristallik ile doğrusal olarak arttığı sonucuna dayanarak yarı kristalin polimerlerin ısı iletkenliğinin kristalinite ile arttığı rapor edilmiştir [43]. Bununla birlikte, kristalin polimerlerin ısı iletkenlikleri ile ilgili deneysel çalışmalarda çelişkili sonuçlar da elde edilmiştir. Bu durum, polimerlerin ısı iletkenliğinin; bağ kuvveti, yan grupların molekül ağırlıkları, yapı özellikleri, , moleküler yoğunluk dağılımı, kimyasal bileşenler, gibi birçok faktöre bağlı olduğunu göstermektedir [43].

Çizelge 2.2 : Ticari polimerlerin ısı özellikleri [18,48]

Polimer Malzemeler	Termal iletkenlik (W / mK)	Cam geçiş sıcaklığı (Tg) (° C)	Termal genleşme katsayısı (µm / mK)	Erime sıcaklığı (° C)
Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)	0.34	-90	220	114
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)	0.50	-30	110	145
Polistiren (PS)	0.13	100	83	240
Poli (vinil klorür) (PVC)	0.21	85	100	220
Poli (metil metakrilat) (PMMA)	0.25	100	90	160
Poli(etilen tereftalat) (PET)	0.15	80	80	265
Poliamid 6,6 (PA 6,6)	0.30	70	110	260

2.6 Polimerlerde Isıl İletkenliği Artırıcı Katkı ve Dolgular

Polimerler düşük ısı iletkenlik özelliğine sahip olmasının yanında hafif, iyi elektriksel yalıtım, iyi işlenebilirlik, korozyon direnci, kimyasallar ve nem dirençleri ve düşük maliyet gibi özelliklere sahiptir [15]. Polimerler, sahip oldukları bu üstün özelliklerden ödün verilmeden, organik veya inorganik maddeler ile güçlendirilerek yüksek iletken polimer gerektiren uygulamalarda giderek daha yaygın olarak tercih edilmektedirler [49].

Isıl iletken kompozit malzemeler, hafif, iyi kimyasal direnç, mükemmel yalıtım performansı ve ekonomik üretim özellikleri nedeniyle ısı dağılımı uygulamalarında kullanımı giderek daha önemli hale gelmektedir. Polimer kompozitlerinde yüksek ısıl iletkenlik performansı, yüksek oranda dolgu malzemesi eklenmesi ile oluşan ısıl ileken zincirler veya iletken ağlar sayesinde elde edilmektedir [26].

Yapılan çalışmalarda polimerin ısıl iletkenliğini artırmak için ısıl iletken dolgu malzemelerinin kullanımına odaklanılmıştır [45]. Bu dolgu malzemeleri metal, seramik, karbon bazlı olarak sınıflandırılmaktadır [43]. Alüminyum nitrür, bor nitrür ve silisyum karbür (SC) gibi seramik dolgu malzemeleri elektriksel yalıtkanlık özellikliğine sahiptirler. Bu dolgu malzemeleri sahip oldukları özellikler sayesinde hem yüksek ısıl iletkenlik hem de yüksek elektirik direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedirler.

Metalik ve karbon bazlı dolgu malzemeleri ise yüksek elektriksel iletkenliğe sahip malzemelerdir. Altın (Au) ve bakır (Cu) gibi metal dolgular ve karbon nanotüp, grafen ve grafit gibi karbon bazlı dolgular da genellikle yüksek ısıl iletkenliğe ve yüksek elektiriksel iletkenliğe ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadırlar [43,45]. Çizelge 2.3’de de bazı dolgu malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.3 : Bazı dolgu malzemelerin ısıl iletkenlikleri [50]

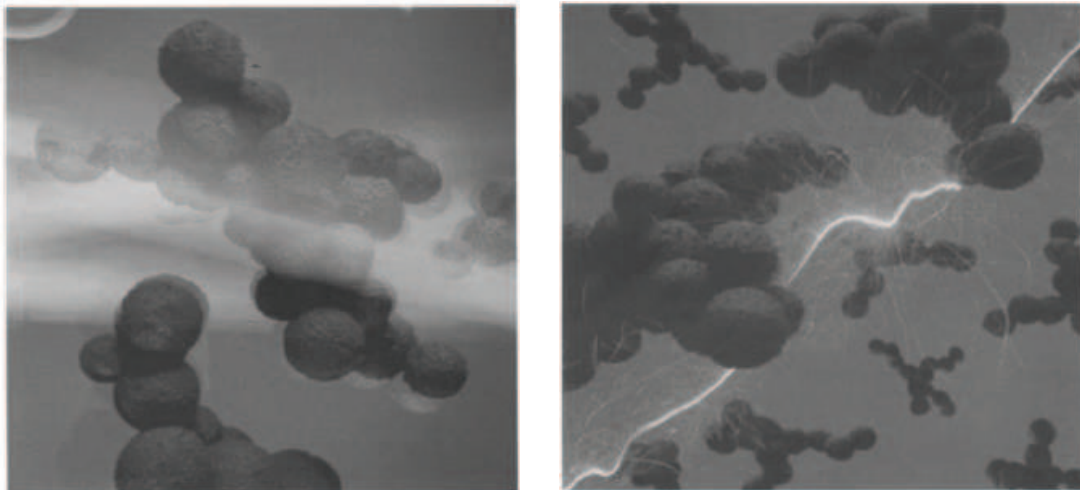
Malzemeler	Isıl İletkenlik 25 °C (W/m K)
Grafit	100 ~400 (düzlem üzerinde)
Karbon siyahı	6 ~174
Karbon nanotüp	2000 ~6000
Elmas	2000
PAN esaslı karbon elyaf	8 ~70 (eksen boyunca)
Zift esaslı karbon elyaf	530 ~1100 (eksen boyunca)
Bakır	483
Gümüş	450
Altın	345
Alüminyum	204
Nikel	158
Bor nitrür	250 ~300
Alüminyum nitrür	200
Berilyum oksit	260
Alüminyum oksit	20 ~29

2.6.1 Karbon Bazlı Dolgular

Karbon bazlı dolgu maddeleri, yüksek ısı iletkenlik ve hafiflik özellikleri sayesinde farklı uygulamalarda tercih edilen dolgu malzemelerinden biridir [43]. Karbon nanotüp (KNT), karbonfiber, karbon siyahı gibi karbon bazlı malzemeler yüksek ısı iletkenlik özelliğinden dolayı çok az miktarda kullanılmasıyla kompozitlerin ısı iletkenliklerini önemli ölçüde artırabilmektedirler [15].

Karbon nanotüpler, çok yüksek ısı iletkenlik gösteren ve silindirik bir yapıya sahip olan bir allotropdur [15]. Karbon nanotüpler Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi 2000-6000 W/mK aralığında ısı iletkenliğe sahip malzemelerdir. KNT’ler sahip oldukları yüksek dayanıklılık, yüksek sertlik ve yüksek esneklik gibi özelliklerinin yanı sıra iyi ısı özelliklere de sahiptirler [50]. Karbon nanotüplerin ısı iletkenlik değeri elmas ve grafitten daha yüksektir (Çizelge 2.2). Karbon nanotüpler sahip oldukları yüksek ısı iletkenlik özelliği ile polimer malzemelere eklenerek polimerlerin mekanik özelliklerinin yanı sıra ısı iletkenlik özelliklerini de geliştirmektedirler [51].

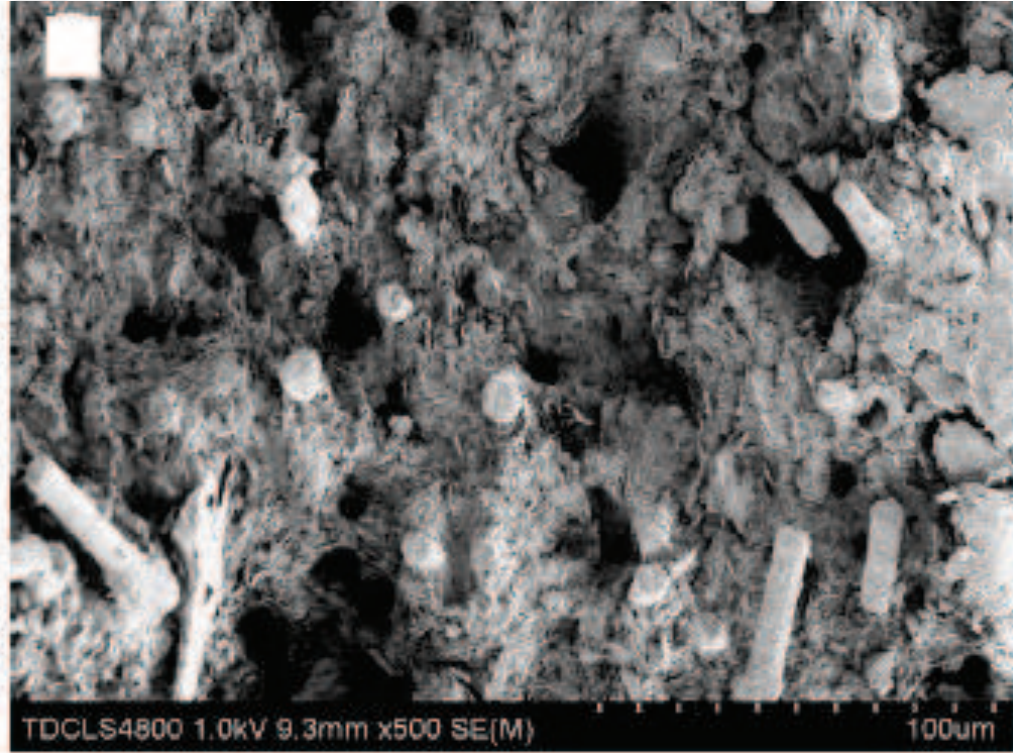
Karbon siyahı, polimer kompozitlerinde mekanik ve elektrikselsel özelliklerin güçlendirilmesi için katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [25]. Karbon siyahı diğer karbon esaslı malzemelere göre düşük ısı iletkenliğe sahiptir [15]. Bu nedenle genellikle elektrikselsel iletkenliğe ihtiyaç duyulan alanlarda daha çok tercih edilmektedir [43]. Şekil 2.14’te karbon siyahı katkılı polimerde elektrik iletkenliği gösterilmektedir.



Şekil 2.14 Karbon siyahı katkılı polimerin mikro yapı görüntüleri a) Karbon siyahı partikülleri, b) Karbon siyahı katkılı polimerde elektrik iletimi [29]

Agari ve Uno'nun yaptığı çalışmada, karbon siyahının hacimce %3'ünün kompozitin ısı iletkenliğini önemli ölçüde artırdığı sonucu elde etmişlerdir [24]. Zhao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da, hazırlanan polimer kompozitine %8 civarında karbon siyahı eklendiğinde kompozitin ısı iletkenliğini önemli ölçüde artırdığı sonucuna varmışlardır [25].

Karbon fiberler, yüksek sertliğe, yorgunluk ve sürünmeye karşı yüksek dirence, mükemmel elektriksel ve ısı iletkenliğine sahip tek boyutlu dolgu maddeleridir [15,52]. Karbon fiberlerin ısı iletkenliği kullanılan organik ön işleme koşullarına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir [15]. Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, kompozite karbon elyafı ilave edildiğinde kompozitin ısı iletkenliğinin arttığı sonucuna varmışlardır [26]. Yapılan çalışmada karbon elyafı takviyeli PA 6 esaslı kompozitin SEM görüntüsü Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



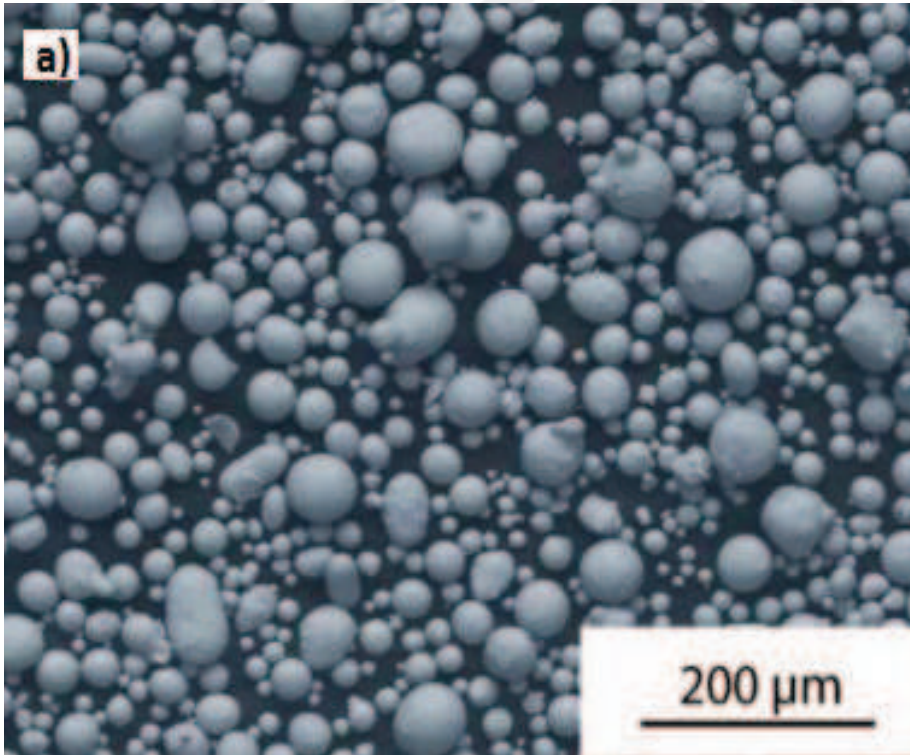
Şekil 2.15 Karbon elyaf takviyeli PA 6 esaslı kompozitin SEM görüntüsü [26]

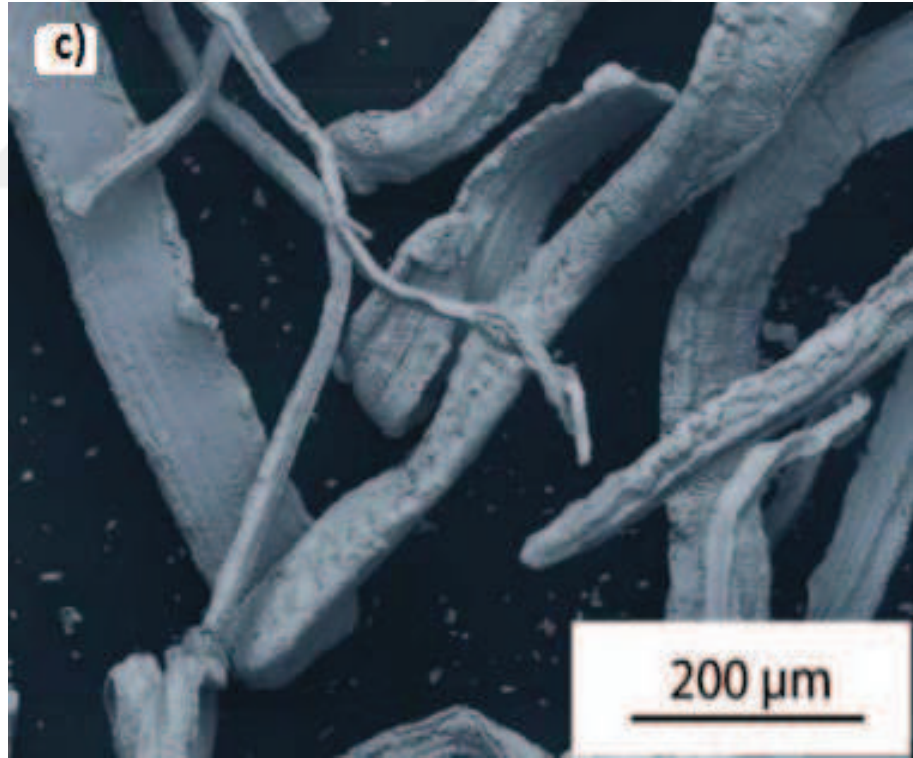
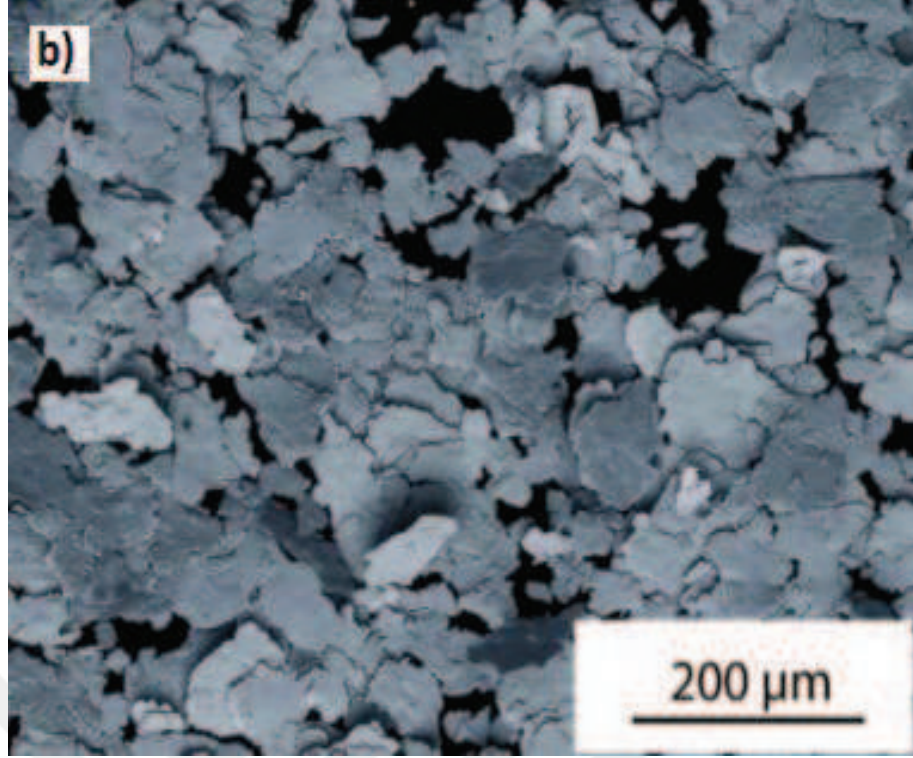
2.6.2 Metalik Dolgular

Metalik dolgular polimer kompozitlerinin ısı iletkenliğini geliştirmek için kullanılmaktadır [15]. Polimer kompozitlerine ilave edilen metalik dolgular iletkenliği geliştirirken yoğunluk artışına da sebep olmaktadır. Bu durum hafiflik istenilen durumlarıda kullanımı sınırlandırmaktadır. Isı iletkenliğinin iyileştirilmesi için kullanılan metalik parçacıklar, alüminyum, gümüş, bakır, ve nikel tozlarını içermektedir [43].

Polietilen [53], polipropilen [54], poliamid [22] gibi polimer malzemelere metalik dolguların ilavesi ile hazırlanan kompozitler incelendiğinde metalik dolguların ısı iletkenliği geliştirdiği sonucu elde edilmiştir [43].

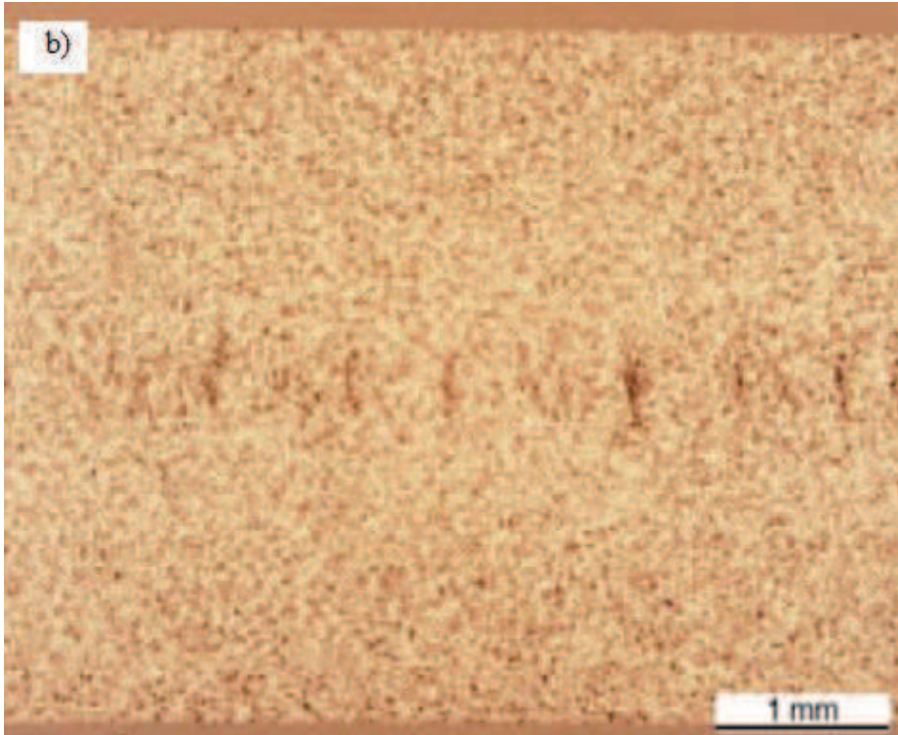
Tekçe ve arkadaşları, bakır tozu ile hazırlanmış poliamid kompozitlerinin ısı iletkenliğinin bakır tozu ilavesi ile arttığını gözlemlemişlerdir.Yapılan çalışmada Cu/PA 6 kompoziti için farklı şekillerde kullanılan bakır tozunun mikroskobik görüntüleri Şekil 2.16’da verilmektedir [22].

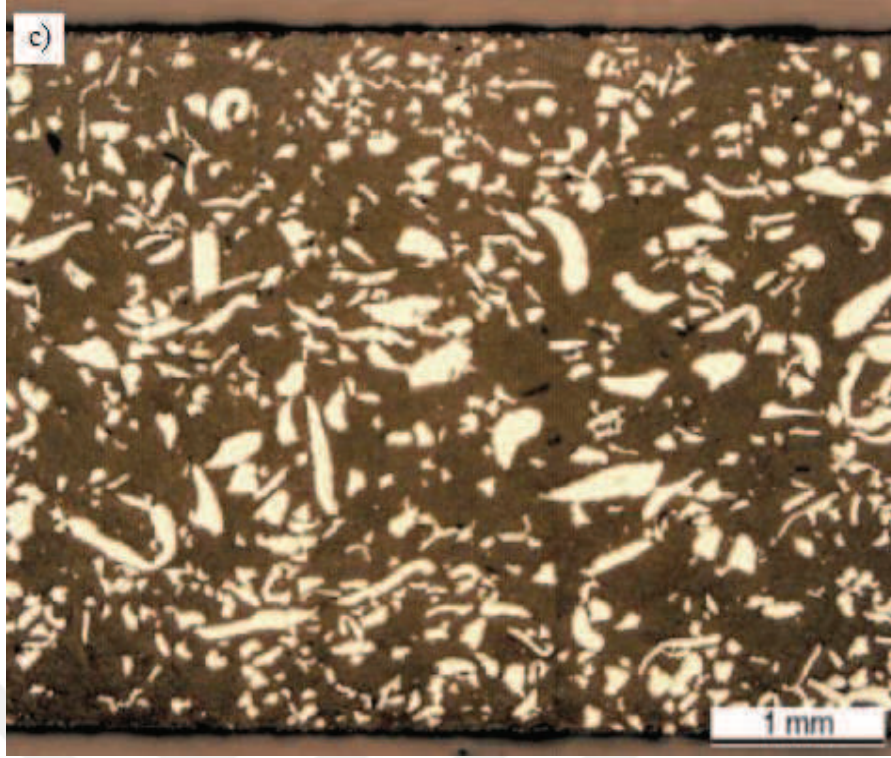




Şekil 2.16 Bakır partiküllerinin mikroskopik görüntüleri, a) küre şeklinde, b) plakalar şeklinde, c) kısa lif şeklinde [22]

Hacimce %30 Cu/PA 6 kompozitlerinin mikroskobik görüntüleri Şekil 2.17’da gösterilmektedir [22]. Luyt ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da, kullanılan bakır tozunun polimer kompozitin ısı iletkenliğini artırdığı sonucunu elde etmişlerdir [55]. Molefi ve arkadaşları, mikro boyutlu bakır (Cu) dolguları ilavesi ile hazırlanan Cu/PE kompozitinin ısı iletkenliğinin bakır miktarı ile arttığını gözlemlemişler [23].





Şekil 2.17 Hacimce %30 Cu/PA 6 kompozitlerinin mikroskobik görüntüleri, a) küre şeklinde Cu, b) plakalar şeklinde Cu, c) kısa lif şeklinde Cu [22]

2.6.3 Seramik Dolgular

Yüksek elektrikli iletken olarak bilinen metal partiküller ve alüminyum nitrür (AlN), bor nitrür (BN), silisyum karbür (SiC) ve berilyum oksit (BeO) gibi çeşitli seramik malzemeler yüksek ısı iletkenlikleri ve elektrikli dirençlerinden dolayı ısı iletken dolgu maddeleri olarak daha fazla dikkat çekmektedir [15,43]. Özellikle BN ve AlN dolgu maddeleri, ısı olarak iletken ve elektrik yalıtkan kompozitler için yaygın olarak kullanılmaktadır [9,5].

Yüksek elektrikli iletken olarak bilinen metal partiküller ve alüminyum nitrür, bor nitrür, silisyum karbür ve berilyum oksit gibi çeşitli seramik malzemeler yüksek ısı iletkenlikleri ve elektrikli dirençlerinden dolayı ısı iletken dolgu maddeleri olarak daha fazla dikkat çekmektedir [15,43]. Özellikle BN ve AlN dolgu maddeleri, ısı olarak iletken ve elektrik yalıtkan kompozitler için yaygın olarak kullanılmaktadır [9,56].

2.7 Poliamid 6,6'nın Isıl İletkenliği

Poliamid 6,6'nın ısı iletkenlik özellikleri, bağlayıcı ajanlar, elyaf ve iletken dolgu malzemeleri ilavesi ile iletim yolu oluşturarak ısı transfer hızı arttırılmaktadır [18].

İletkenlik özelliği genellikle seramik dolgular, karbon nanotüp, karbon elyaf, metal partiküller ve bor esaslı bileşikler eklenerek geliştirilmektedir [6,7]. Yu ve arkadaşları, hBN ve SiC katkılı poliamid 6,6 kompozitlerinin ısı özelliklerini incelemişlerdir. Hazırlanan kompozitin ısı iletkenliğinin ilave edilen hBN ve SiC ile arttığını gözlemlemişlerdir [12]. Xu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, grafen nano tabakalar, Al₂O₃ ve grafit kullanarak Poliamid 6/Poliamid 6,6 kompozitlerini hazırlamışlardır.

Lee ve arkadaşları, KNT dolguları kullanarak PA 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. KNT/PA 6,6 kompozitlerine ilave edilen KNT'lerin uzunluğunun artması ile kompozitin ısı iletkenliğinde artış gözlemlemişlerdir [13]. Heiser ve King, karbon siyahı, sentetik grafit ve karbon elyaf kullanarak üç farklı PA 6,6 kompozitlerini hazırlamışlardır. Kullanılan üç farklı dolgunun da kompozitin ısı iletkenliğini artırdığını gözlemlemişlerdir [11]. Liu ve arkadaşları yaptığı çalışmada karbon elyaf/PA 6,6 kompozitinin ısı iletkenliğinin ilave edilen karbon fiberle artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir [7].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemeler

Çalışmalarda Radici Group firmasından temin edilen RADIPOL® A45 ticari adlı Poliamid 6,6 (PA 6,6)'nın teknik özellikleri Çizelge 3,4'te verilmiştir.

Dolgu malzemesi olarak kullanılan DowAksa firmasına ait AC 4101 ticari adlı karbon elyafı kullanılmıştır. AC 4101'in 6-12 mm ortalama lif uzunluğuna, 1.76 kJ/m²'lük bir yoğunluğa, 4200 MPa çekme dayanımına ve 240 GPa çekme modülüne sahiptir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan Timcol firmasına ait Ensaco250G ticari adlı yüzey alanı 65 m²/g ve partikül boyutu 45 µm olan karbon siyahı kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılan Pometon firmasına ait CULT16 ticari adlı bakır tozu kullanılmıştır. Antioksidan olarak, BASF firmasına ait 183 - 186 °C erime sıcaklığına ve 1,03 g/cm³ yoğunluğuna sahip olan Irgafos® 168 FF kullanılmıştır.

Çizelge 3.1: PA 6,6'nın teknik özellikleri

Özellikler	Yöntem	Birim	Değer
Yoğunluk	ISO1183	g/cm ³	1,14
Erime sıcaklığı	ISO 11357-1-3	°C	262
Çekme Modülü	ISO 527-2/1 A	MPa	3200
Akma uzaması	ISO 527-2/1 A	%	4.4
Charpy çentikli darbe dayanımı	ISO 179 A	kJ/m ²	5,0

3.2 Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada PA 6,6 matrisine Çizelge 3.5’te da verilen oranlarda bakır tozu, karbon elyafı ve karbon siyahı katkıları eklenerek kompozitler hazırlanmıştır. Malzemelerin karışım şeklinde hazırlanmasında, yan beslemeli, coperion ZSk 26 marka, çift vidalı, L/D oranı 44 olan ekstrüzyon kullanılmıştır. PA 6,6 kompozitleri çift vidalı ekstrüder de 270-295°C ocak sıcaklıklarında ve 1200 rpm de homojen olarak karıştırılarak granül haline getirilmiştir. Şekil 3.1’de çalışmada kullanılan ekstrüzyon makinası gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Çalışmada kullanılan karışım parametreleri

Deney Kodu	PA 6,6 (%)	Bakır Tozu (%)	Karbon Siyahı (%)	Karbon Elyaf (%)
PA 66	100	-	-	-
PA 66 B 10	90	10	-	-
PA 66 B 20	80	20	-	-
PA 66 B 30	70	30	-	-
PA 66 CB 10	90	-	10	-
PA 66 CB 20	80	-	20	-
PA 66 CB 30	70	-	30	-
PA 66 CF 10	90	-	-	10
PA 66 CF 20	80	-	-	20
PA 66 CF 30	70	-	-	30
PA66 CF/CB/B 4	88	4	4	4
PA66 CF/CB/B 7	79	7	7	7
PA66 CF/CB/B 10	70	10	10	10



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan ekstrüzyon sistemi

Test numunelerinin üretiminde, ARBURG marka 320 K modeli enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Test numuneleri, 270-295°C ocak sıcaklıklarında, 100 °C kalıp sıcaklığında, 50 m/min vida devir hızında, 1500 bar enjeksiyon basıncında ve 600-300 bar ütüleme basıncında kalıplanmıştır. Test numunelerinin kalıplanmasında kullanılan enjeksiyon makinesi ve test numune kalıbı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan a) enjeksiyon makinesi, b) test numune kalıbı

3.3 Mekanik Testler

3.3.1 Çekme Testi

Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki kopma mukavemeti, uzama yüzdesi ve uygulanan çekme hızlarına bağlı olarak elastik ve plastik davranışlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan en yaygın test yöntemlerindendir. Instron Marka ve AUTOX 750 model cihazda ISO 527 test standardına uygun beş numune çekme testine tabi tutularak sonuç alınmıştır. Numuneler cihazın iki çenesi arasında sıkıştırılarak 5 mm/dk sabit hızla çekilerek çekme değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.3'te çalışmada kullanılan çekme test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan çekme test cihazı

3.3.2 Darbe Testi

Darbe testinde Instron marka 120 D model test cihazı kullanılarak ISO 179-1 standardına uygun olarak 2 mm çentik açılmış Charpy darbe testi yapılmıştır. Numuneler üzerine 2 mm çentik açılmış, 5 J'luk çekiç açısı ve enerjisi kullanılmıştır. Şekil 3.4'te kullanılan darbe testi cihazı yer almaktadır.



Şekil 3.4 Çalışmada kullanılan darbe test cihazı

3.4 Yoğunluk Testi

Yoğunluk, bir maddenin birim hacimdeki madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bir polimer malzemenin yoğunluğu, granül haldeki ağırlığının önce hava daha sonra yoğunluğu belli alkol içinde ölçülerek test edilmektedir. Çalışma Shimadzu marka, Aux320 model yoğunluk ölçüm cihazı ile ISO 1183 standardına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 3.5'te kullanılan yoğunluk ölçüm cihazı yer almaktadır.



Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan yoğunluk test cihazı

3.5 Isıl Testler

Hazırlanan poliamid 66 kompozitlerinin ısı özelliklerini incelemek için DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) ve TGA (Termogravimetrik Analiz) testleri uygulanmıştır. Uygulanan ısı testlerde fiziksel veya kimyasal özellikler sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Isıl testler sonucunda elde edilen ısıtma ve soğutma eğrileri ile camsı geçiş sıcaklıkları, erime, bozunma ve kristallenme sıcaklıkları, ısı karşısında gösterdiği davranışlar gibi birçok değer hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır.

3.5.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Testi

DSC, polimerin erime sıcaklığı ve cam geçiş sıcaklığı gibi karakteristik sıcaklıkları, belirli ısı kapasitesi ve kristalleşme gibi özellikleri hakkında bilgi elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Yapılan çalışma ile hazırlanan numunelerin erime ve kristalizasyon sıcaklıkları ve yüzdeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.6'da kullanılan DSC cihazı yer almaktadır. Numunelerin % kristallik miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [29];

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0 \times (\%PA66)} \times 100 \quad (3)$$

X_c = Yüzde kristallik değeri

ΔH_m^0 = Saf PA66 erime entalpisi

ΔH_m = Numunenin erime entalpisidir. PA 66 için ΔH_m^0 değeri 196 J/g'dir [57].

DSC testi ile erime sıcaklıkları hesaplanabilmektedir. DSC testi ile elde edilen erime sıcaklıkları ile Gibbs-Thomson bağıntısı kullanılarak kristal kalınlığı hesaplanabilmektedir [29].

$$\frac{T_m}{T_m^0} = 1 - \frac{2\delta e}{\lambda \Delta H_m} \quad (4)$$

T_m : numune erime sıcaklığı,

T_m^0 : saf PA 66 erime sıcaklığı,

δe : PA 66 serbest yüzey enerjisi (PA 66 için δe değeri 46 mJ/m²'dir [58])

ΔH_m : PA 66 erime entalpisi,

λ : Kristal lamel kalınlığı (nm) dir [29].



Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan DSC cihazı

3.5.2 Isıl iletkenlik Testi

Bir malzemenin ısı iletkenliği (k), iletken ısı akışı ile ısı akışını yönlendiren sıcaklık gradyanı arasındaki orantılılık sabitidir [59]. Modifiye edilmiş geçici düzlem kaynak tekniği kullanılarak sensör yardımıyla numuneye anlık bir sabit ısı kaynağı uygulanarak doğrudan ısı iletkenlik ölçümü yapılmaktadır. Çalışmada Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkez’inde bulunan C-Therm TCi marka cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.7’de kullanılan ısı iletkenlik cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Isıl iletkenlik cihazı [60]

3.6 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Testi

Bir taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntü oluşumu temel olarak; numuneye gönderilen hızlandırılmış elektronların incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı etkileşimin sonucunda saçılan ortaya çıkan sinyallerin toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır. SEM ile elde edilen topografik görüntü ile polimerik malzemenin içerisinde ki katkılar ve bağlanma şekilleri hakkında bilgi edinilmektedir. Çalışmada, Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Inspect marka ve S50 model SEM cihazı kullanılmıştır. Şekil 3,8’de kullanılan SEM cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.8 SEM cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

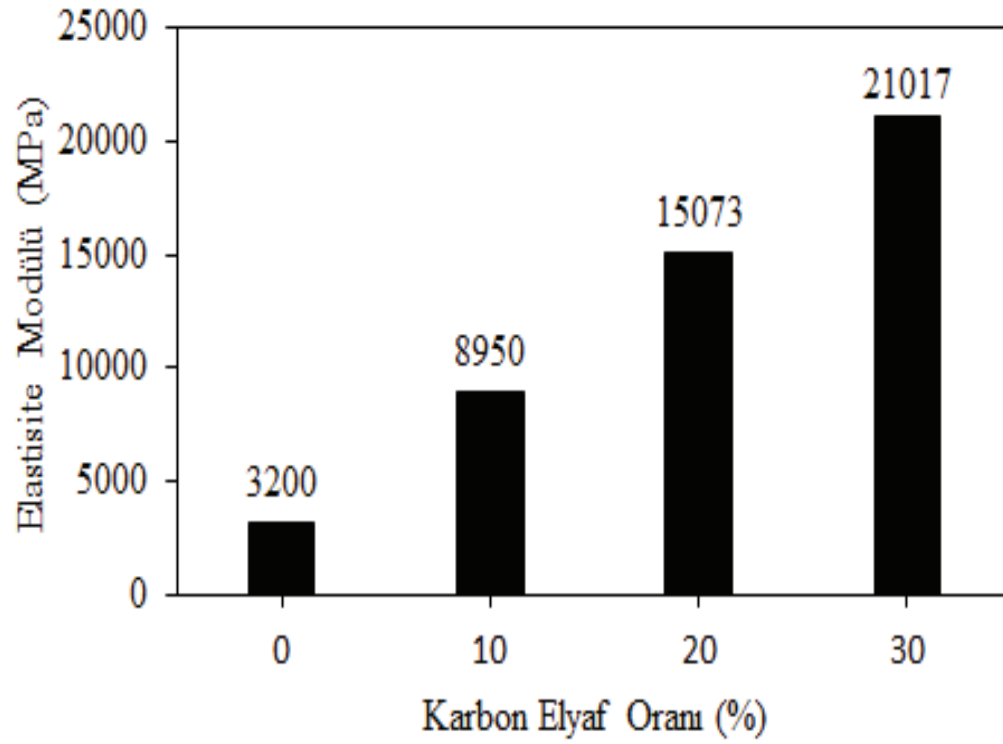
4.1 Çekme Testi Sonuçları

Çalışmada elde edilen mekanik test sonuçları Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Çizelge 4.1’ de verilen sonuçlar incelendiğinde; malzemelerin çekme mukavemetlerinin (σ_M), ilave edilen dolgu miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Dolgu türleri içerisinde sadece bakır tozunda çekme değerlerinin düştüğü görülmüştür.

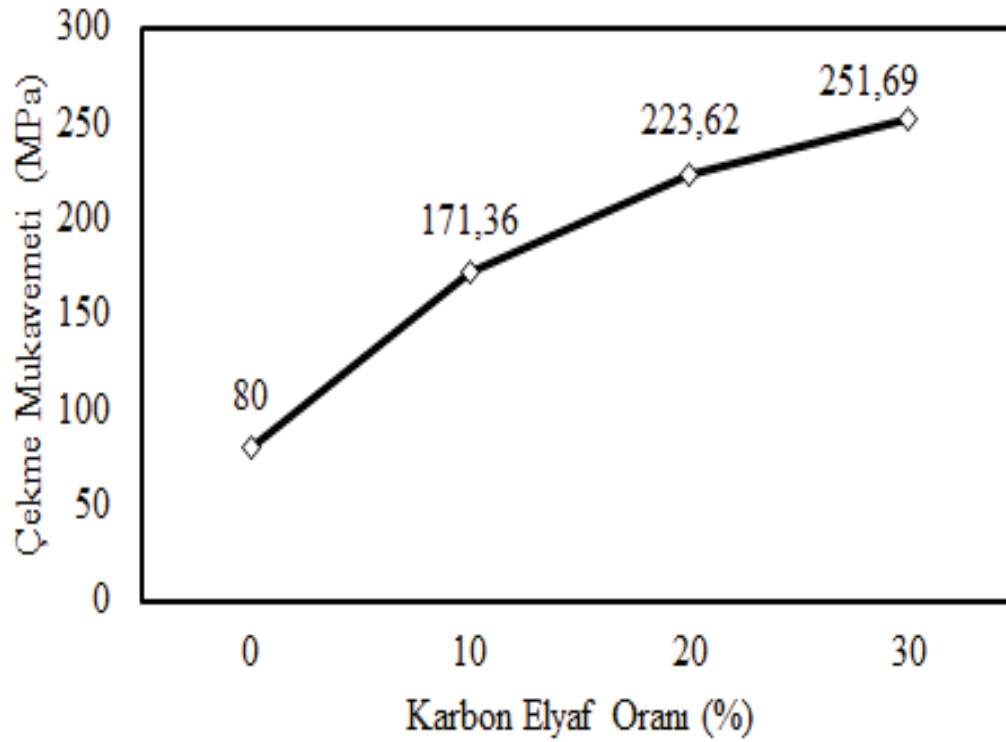
Çizelge 4.1 : Çekme testi sonuçları

Numune kodu	E_t (MPa)	σ_M (MPa)	ϵ_M (%)
PA66 (Ref.)	3200	80	4,4
PA66CF10	8950	171,36	3,38
PA66CF20	15073	223,62	3,21
PA66CF30	21017	251,69	2,48
PA66CB10	2465	54,20	7,6
PA66CB20	2551	58,66	3,17
PA66CB30	2703	68,43	4,27
PA66B10	2999	79,62	17,4
PA66B20	3096	77,56	17,96
PA66B30	3152	69,42	20,37
PA66CF/CB/B4	12626	159,15	2,82
PA66CF/CB/B7	15323	172	2,34
PA66CF/CB/B10	17550	178,06	2,28

Elastisite modülünün E_t dolgu miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, karbon elyafı, karbon siyahı, bakır tozu ve üçlü dolgu kombinasyon oranı arttıkça E_t değerinde artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, dolgu miktarları arttıkça genel olarak numunelerin kopma uzamasında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu duruma istisna olarak karbon siyahı ilavesi ile kopma uzamasında önce düşüş daha sonra bir artış gözlemlenmiştir. PA66CF30 numunesi en yüksek çekme mukavemetine ve elastisite modülüne sahip olduğu, PA66B30 numunesinin de en yüksek kopma uzamasına sahip olduğu belirlenmiştir.

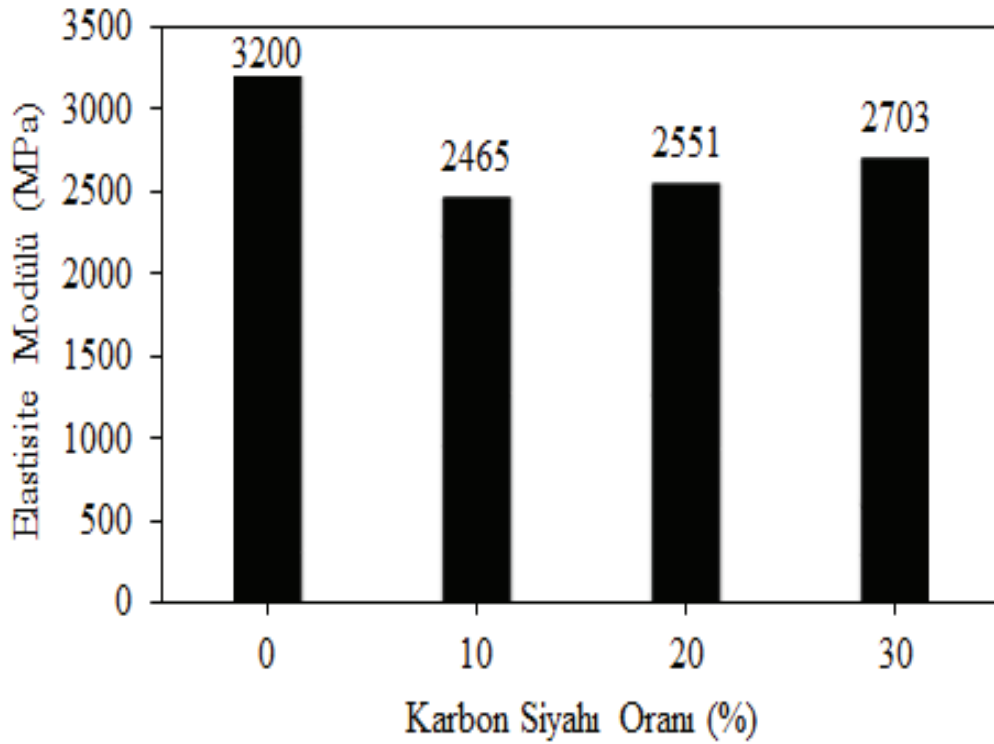


Şekil 4.1 Elastisite modülünün karbon elyaf ilavesi ile değişimi

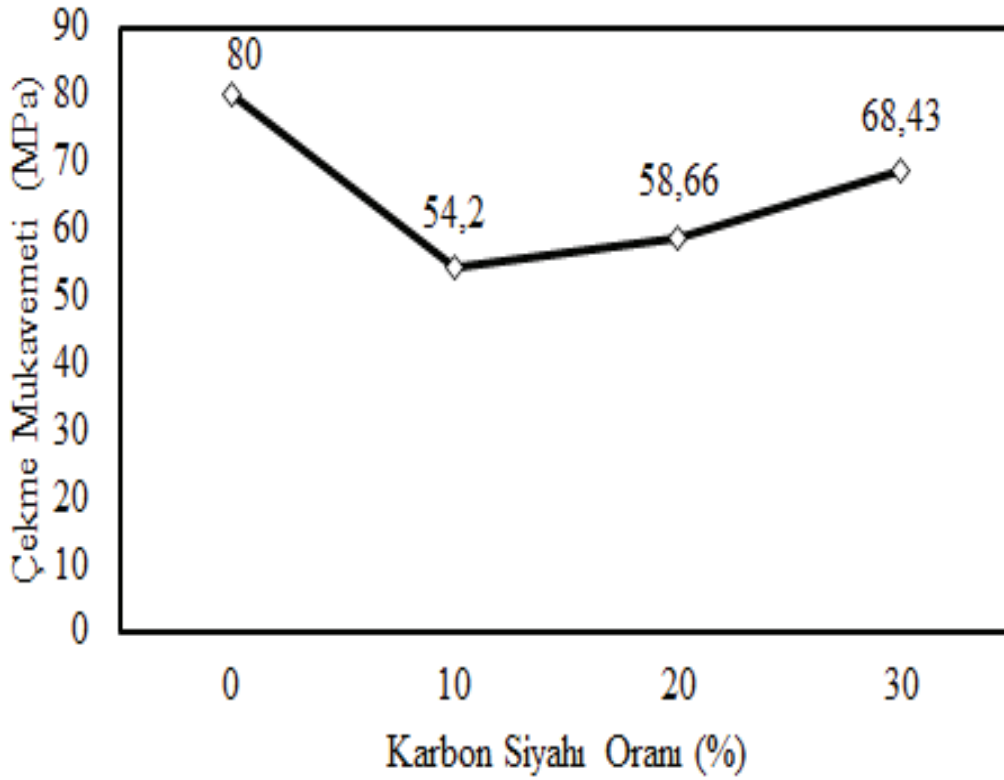


Şekil 4.2 Çekme mukavemetinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi

Yapılan çalışmada karbon elyaf oranının E_t üzerinde etkili olduğu ve karbon elyaf miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde, karbon elyaf oranının artışı ile çekmedeki elastisite modülünün (E_t) arttığı sonucu elde edilmiştir. Karbon elyaf oranı arttıkça elastisite modülü artmış ve referans numuneden daha yüksek olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, kopma uzamasının karbon elyaf oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Şekil 4.2'ye bakıldığında çekme mukavemeti, karbon elyaf oranı arttıkça artmış ve referans numuneden daha yüksek olarak elde edilmiştir. Çalışmada poliamid 6,6 ile uyumlu hale getirilmiştir karbon elyaf kullanılmıştır. Bu nedenle poliamid 6,6 ile karbon elyafları güçlü bir ara yüzey etkileşimi oluşturmuştur. Bu durum karbon elyaf takviyeli poliamid 6,6 numunelerinin mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Liu ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada benzer bir şekilde karbon elyafın PA 6,6'nın çekme mukavemetinin artırdığını sonucuna varılmıştır. [7].

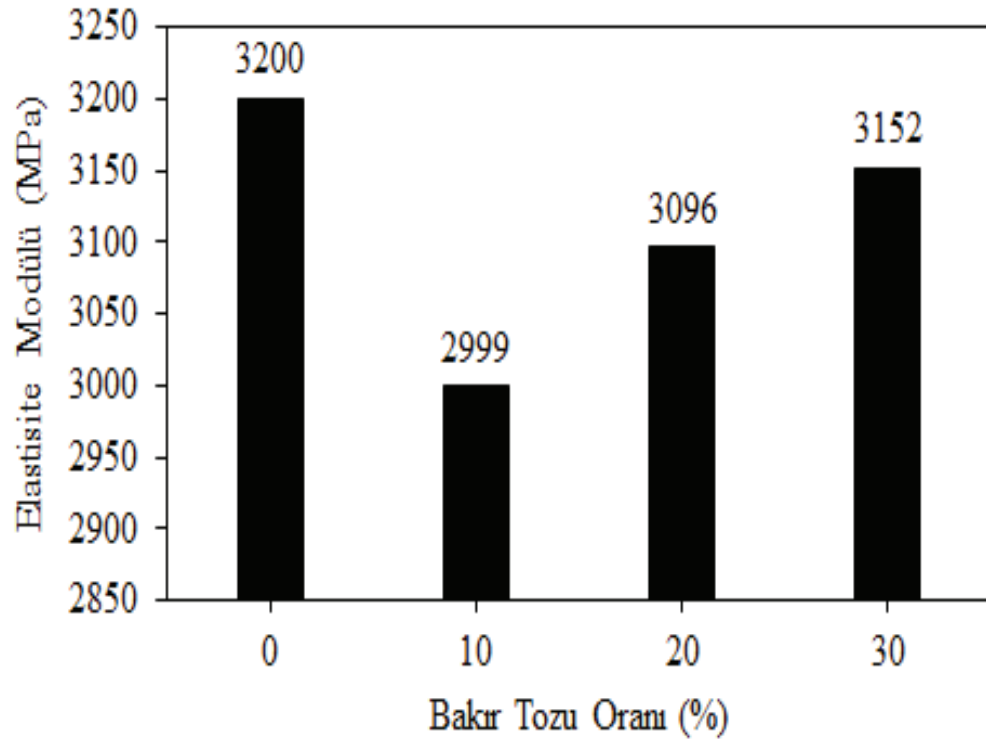


Şekil 4.3 Elastisite modülünün karbon siyah ilavesi ile değişimi

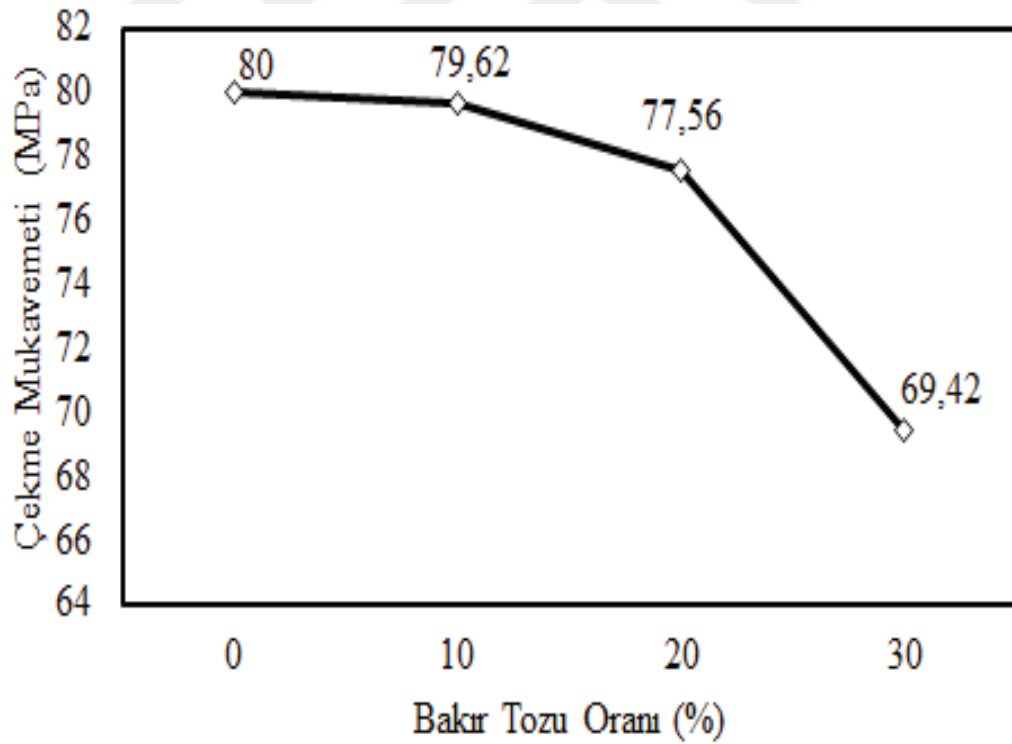


Şekil 4.4 Çekme mukavemetinin karbon siyahı ilavesi ile değişimi

Yapılan çalışmada karbon siyah oranının E_t üzerinde etkili olduğu ve karbon siyah miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde, karbon siyahı oranının artışı ile çekmedeki elastisite modülünün (E_t) arttığı görülmüştür. Karbon siyahı oranı arttıkça elastisite modülü artmış ancak referans numuneden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Karbon siyahı miktarına bağlı olarak çekme mukavemetinde değişim gözlemlenmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, referans numuneye göre karbon siyahı ilavesi ile çekme mukavemetinde düşüş olduğu görülmüştür. Ancak karbon siyah oranı arttıkça çekme mukavemetinin arttığı sonucu elde edilmiştir. Karbon siyahı aglomera olmaya yatkın bir yapıya sahiptir[61]. Bu durumun çekme mukavemetinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

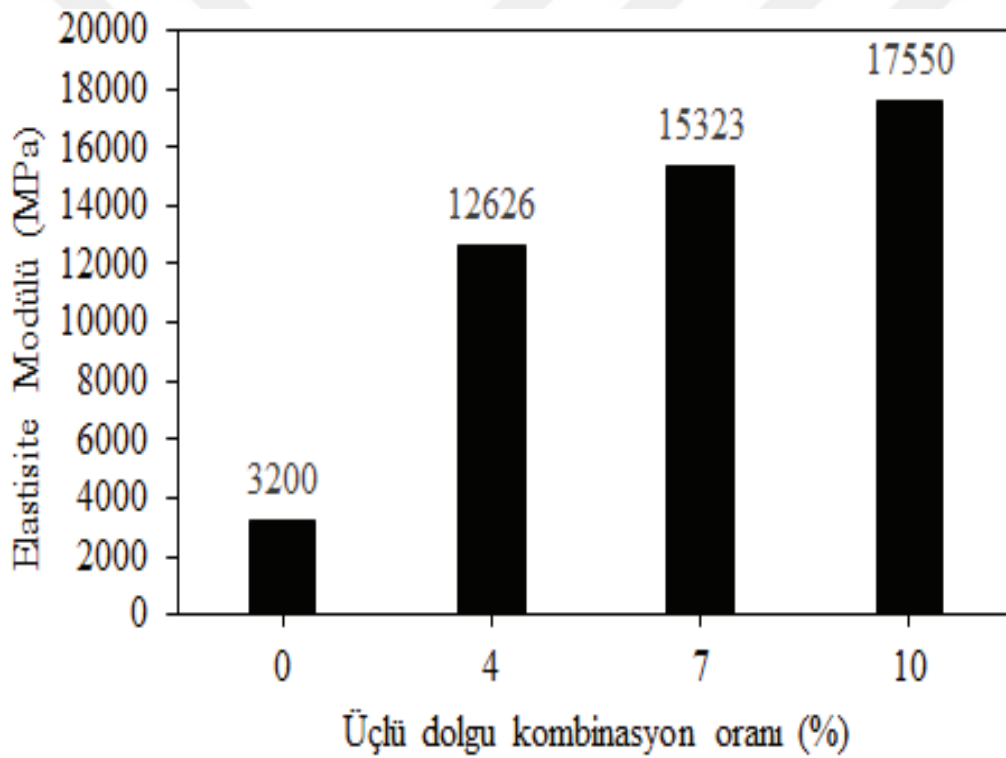


Şekil 4.5 Elastisite modülünün bakır tozu ilavesi ile değişimi



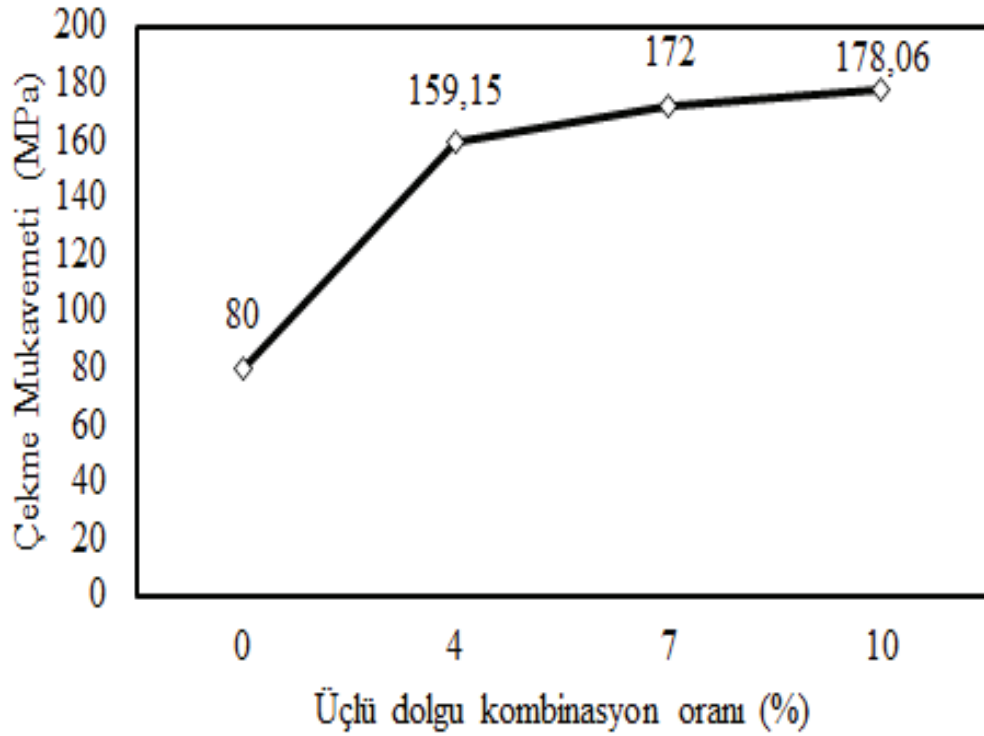
Şekil 4.6 Çekme mukavemetinin bakır tozu ilavesi ile değişimi

Bakır tozu oranının E_t üzerinde etkili olduğu ve bakır tozu miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde, bakır tozu oranının artışı ile çekmedeki elastisite modülünün (E_t) azaldığı görülmüştür. Bakır tozu oranı arttıkça elastisite modülü artmış ancak referans numuneden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, kopma uzamasının bakır tozu oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Bakır tozu miktarına bağlı olarak çekme mukavemetinde değişim gözlemlenmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde, referans numuneye göre bakır tozu ilavesi ile çekme mukavemetinde düşüş olduğu görülmüştür. Bakır tozu ilavesi ile çekme mukavemetinde meydana gelen bu düşüşün bakır tozun şeklinden kaynaklandığı ve farklı yöntemlerle elde edilen (örneğin; atomizasyon yöntemi) bakır tozu kullanıldığında çekme mukavemetinin artacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.7 Elastisite modülünün karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi

Karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu üçlü dolgu kombinasyonu oranının E_t üzerinde etkili olduğu ve dolgu miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, dolgu oranının artışı ile çekmedeki elastisite modülünün (E_t) arttığı sonucuna varılmıştır. Dolgu oranı arttıkça elastisite modülü artmış ve referans numuneden daha yüksek olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, kopma uzamasının dolgu oranı arttıkça azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.8 Çekme mukavemetinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi

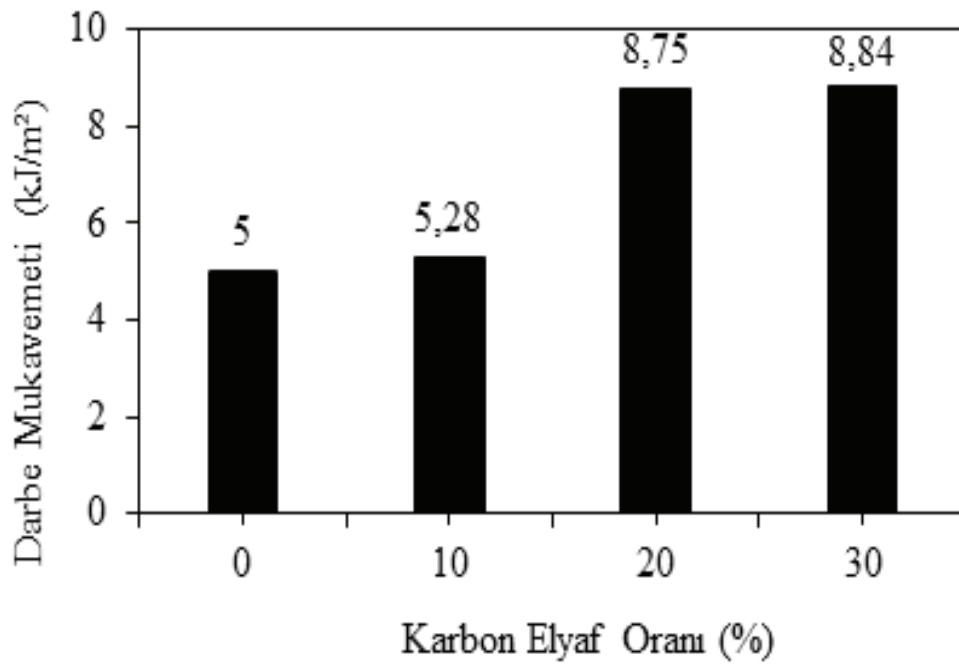
Şekil 4.8 incelendiğinde çekme mukavemeti (σ_M), dolgu oranı arttıkça artmış ve referans numuneden daha yüksek olarak elde edilmiştir. PA66CF/CB/B 4 kodlu numunenin çekme mukavemetinde referans numuneye göre yaklaşık 2 kat bir artış elde edilmiştir. Bu da çalışmada kullanılan dolguların saf PA 6,6'nın çekme mukavemetini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bu beklenen bir sonuçtur. Üçlü dolgu kombinasyon oranı arttıkça çekme mukavemetinde daha az bir farkla artış gözlemlenmiştir. Bu durumun kullanılan karbon siyahı ve bakır tozunun topaklaşma oluşturarak matris içerisinde iyi bir dağılım sağlayamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2 Darbe Testi Sonuçları

Farklı türlerde ve farklı miktarlarda dolguların ilavesi ile hazırlanan kompozitlerin darbe test sonuçları, Çizelge 4.2’de verilmiştir. Darbe test sonuçları incelendiğinde, dolgu miktarı değişiminin darbe mukavemetine etkilediği tespit edilmiştir.

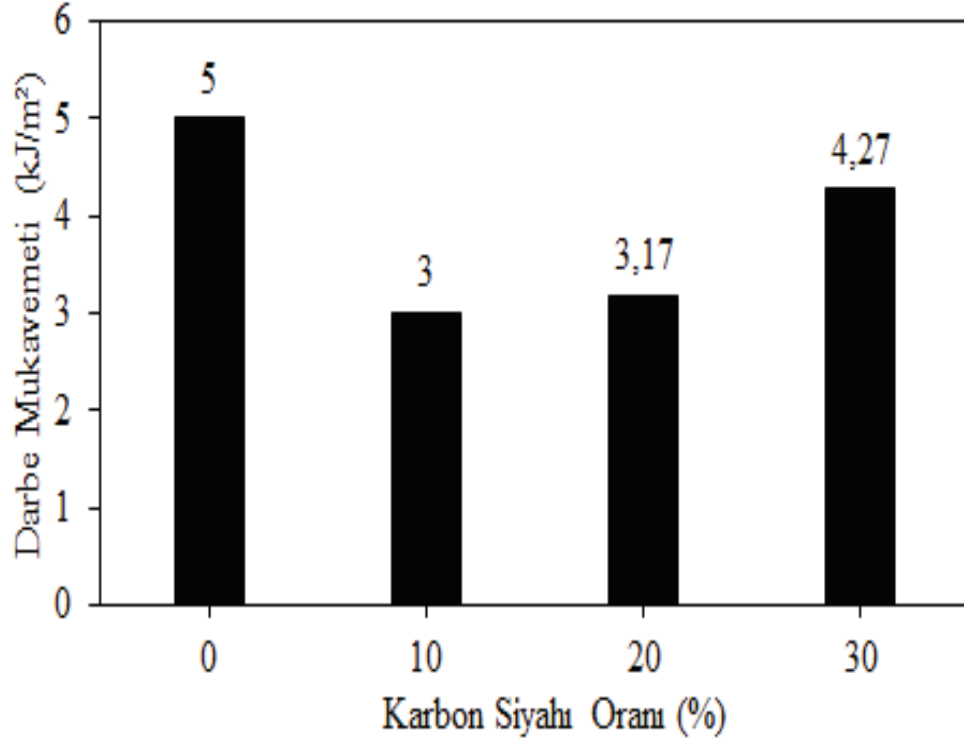
Çizelge 4.2 : Darbe testi sonuçları

Numune kodu	kJ/m^2
PA66 (Ref.)	5,0
PA66CF10	5,28
PA66CF20	8,75
PA66CF30	8,84
PA66CB10	3,0
PA66CB20	3,17
PA66CB30	4,27
PA66B10	3,83
PA66B20	3,82
PA66B30	3,54
PA66CF/CB/B4	8,72
PA66CF/CB/B7	6,87
PA66CF/CB/B10	6,59



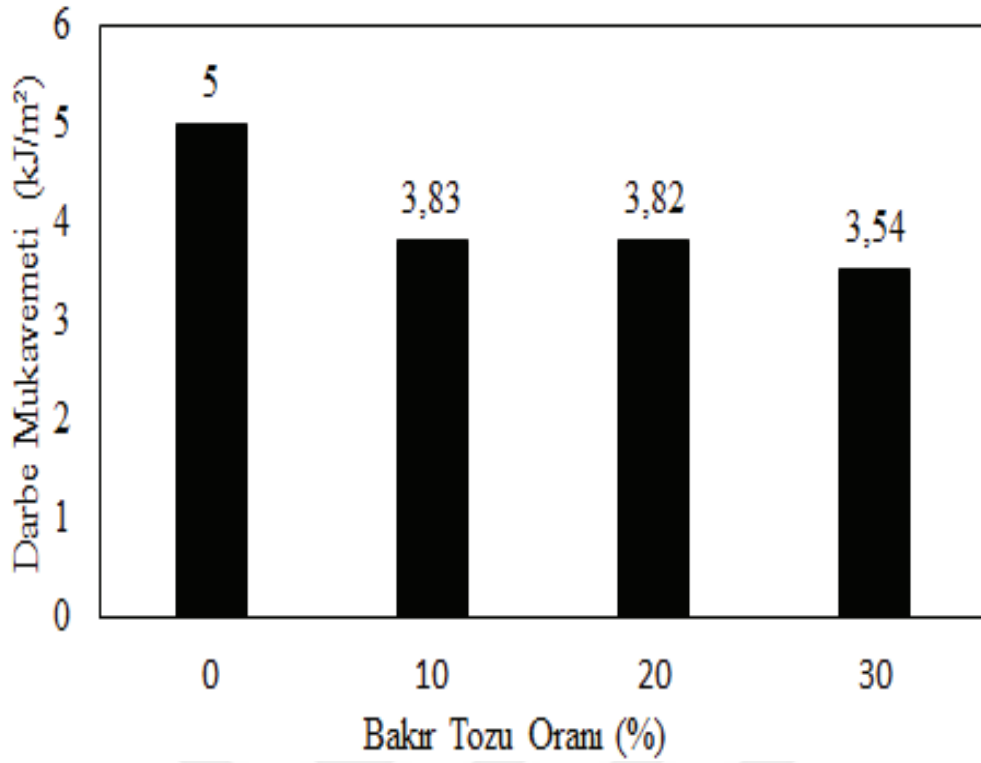
Şekil 4.9 Darbe mukavemetinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi

Karbon elyaf oranının darbe mukavemetini etkilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, karbon elyaf oranı ile darbe mukavemetinin arttığı ve referans numuneden daha yüksek darbe mukavemet değerleri elde edilmiştir. PA66CF 30 kodlu numunenin darbe mukavemet değeri referans numunesinden ve diğer numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Liu ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada benzer bir şekilde karbon elyafın PA 66'nın darbe mukavemetinin artırdığını gözlemlemişlerdir [7].



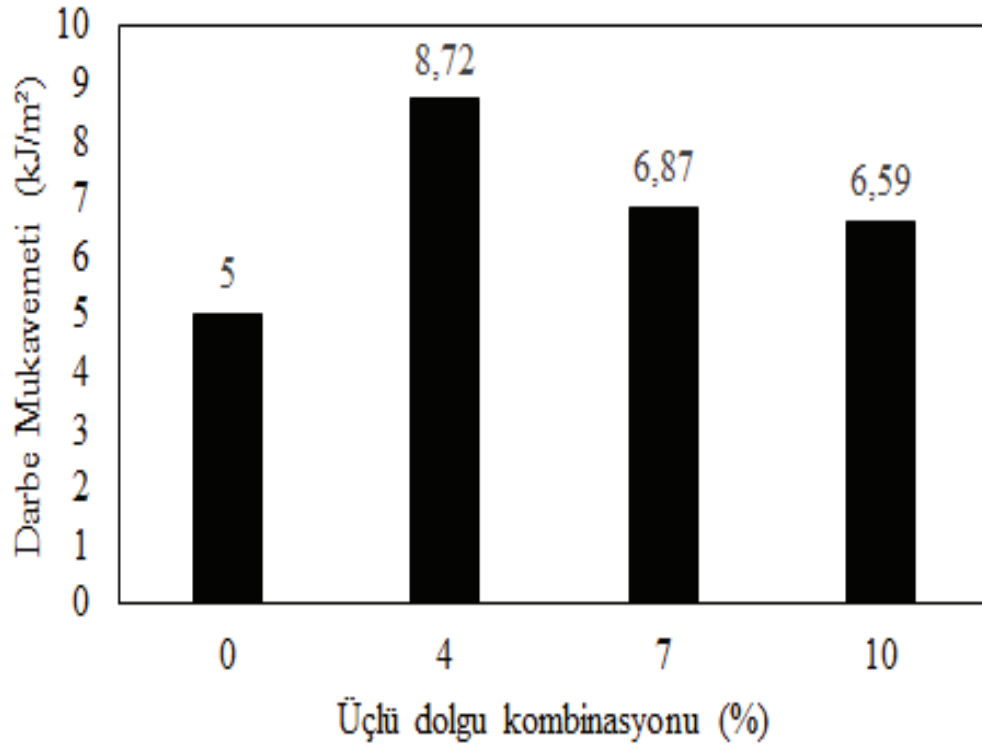
Şekil 4.10 Darbe mukavemetinin karbon siyahı ilavesi ile değişimi

Karbon siyahı oranının darbe mukavemetini etkilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde, karbon siyahı oranı ile darbe mukavemetinin arttığı görülmüştür. Ancak karbon siyahı ilavesi ile hazırlanan numuneler için referans numuneden daha düşük darbe mukavemet değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Darbe mukavemetinin bakır tozu ilavesi ile değişimi

Bakır tozu oranının darbe mukavemetini etkilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, bakır tozu oranı ile darbe mukavemetinin azaldığı ve referans numuneden daha düşük darbe mukavemet değerleri elde edilmiştir. Xia ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada benzer bir şekilde bakır tozunun PA 66'nın darbe mukavemetini azalttığını gözlemlemişlerdir [62]. Kompozitlerin dolgu maddesi oranı arttıkça darbe mukavemetinin düşmesinin nedeni dolgu maddesi ve matris arasındaki ara yüzey etkileşimi zayıf olmasından kaynaklandığı bilinmektedir [63].



Şekil 4.12 Darbe mukavemetinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değişimi

Karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozu ile hazırlanan numunelerin dolgu oranlarının darbe mukavemetini etkilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde, üçlü dolgu kombinasyonu ile hazırlanan PA 6,6'nın darbe mukavemetinde referans numuneye göre artış elde edilmiştir. Dolgu oranı arttıkça darbe mukavemetin arttığı belli bir orandan sonra düştüğü görülmüştür.

Dolgu miktarının PA 6,6'nın darbe mukavemetini etkilediği gözlemlenmiştir. Kullanılan dolguların darbe mukavemet sonuçları karşılaştırıldığında, karbon elyafı ile hazırlanan PA6,6 numunelerin darbe mukavemetinin karbon elyaf oranı ile arttığı ancak bakır tozu ilavesi ile düştüğü görülmüştür.

4.3 Yoğunluk Testi Sonuçları

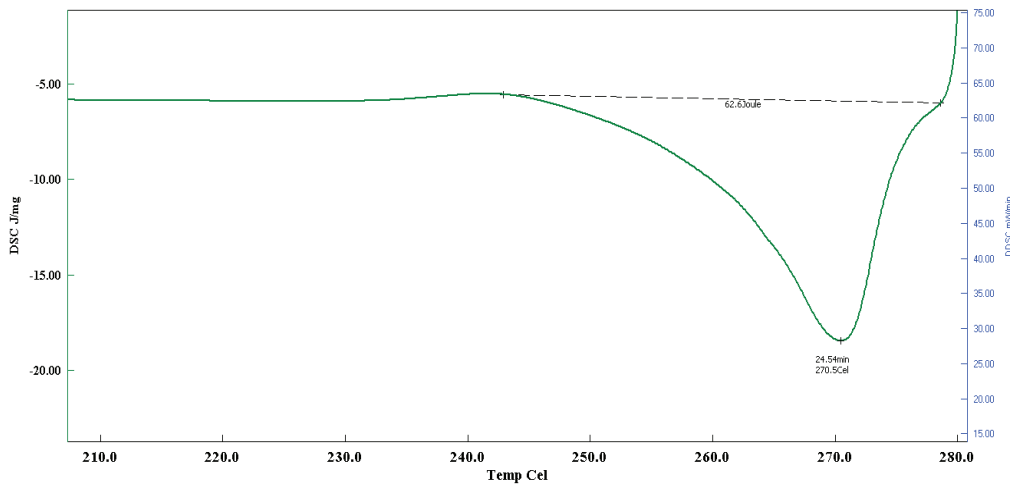
Çalışmada elde edilen yoğunluk test sonuçları Çizelge 4.3' te verilmiştir. Yoğunluk testi sonuçları incelendiğinde, karbon elyafı, karbon siyahı, bakır tozu ve üçlü dolgu kombinasyonu ile hazırlanan numunelerin yoğunluklarının dolgu miktarı ile arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.3 : Yoğunluk testi sonuçları

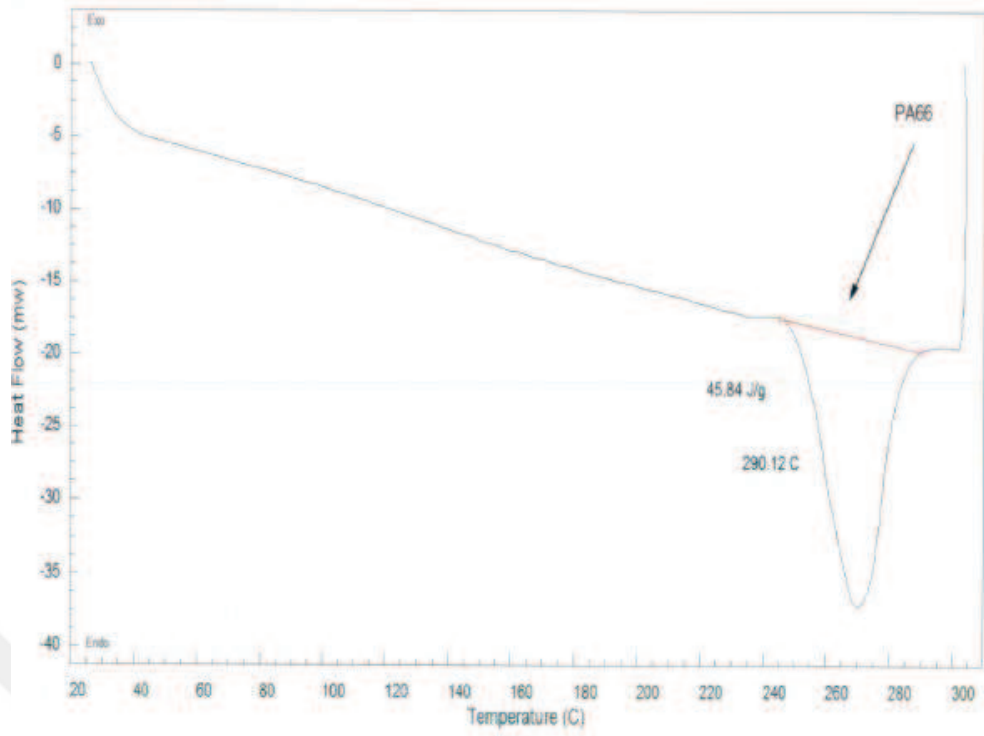
Numune kodu	g/cm ³
PA66 (Ref.)	1,14
PA66CF10	1,17
PA66CF20	1,22
PA66CF30	1,25
PA66CB10	1,09
PA66CB20	1,11
PA66CB30	1,12
PA66B10	1,24
PA66B20	1,36
PA66B30	1,53
PA66CF/CB/B4	1,35
PA66CF/CB/B7	1,40
PA66CF/CB/B10	1,41

4.4 DSC Sonuçları

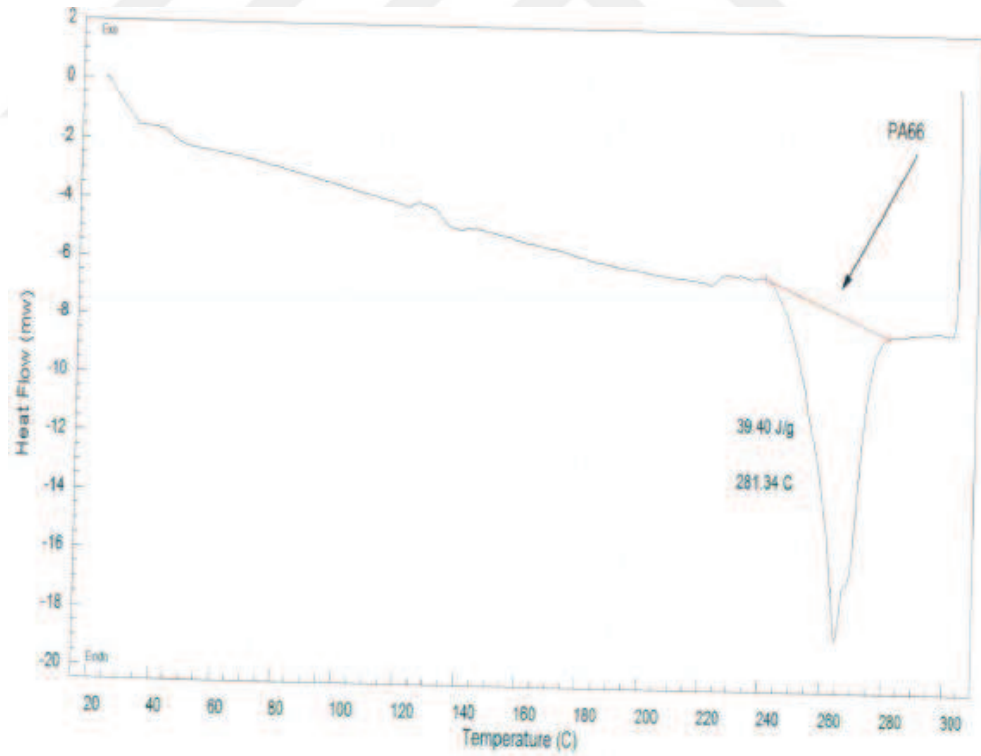
DSC test sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.4’ te topluca verilmiştir. PA 6,6 için kristal erime sıcaklığı (T_m) 270,50 °C olarak bulunmuştur. Karbon elyaf ilavesinin kristal erime sıcaklığını başlangıçta artırdığı daha sonra azalttığı görülmüştür. Ancak referans numuneye göre karbon elyaf ilavesi kristal erime sıcaklığını artırmıştır.



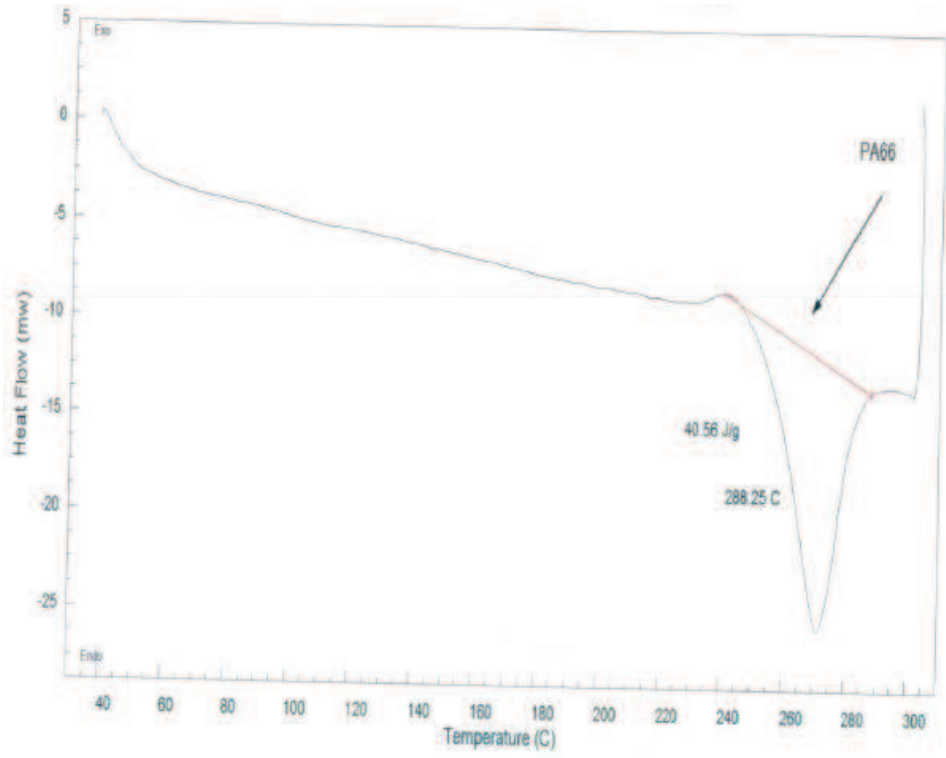
Şekil 4.13 Saf PA 6,6’nın DSC grafiği



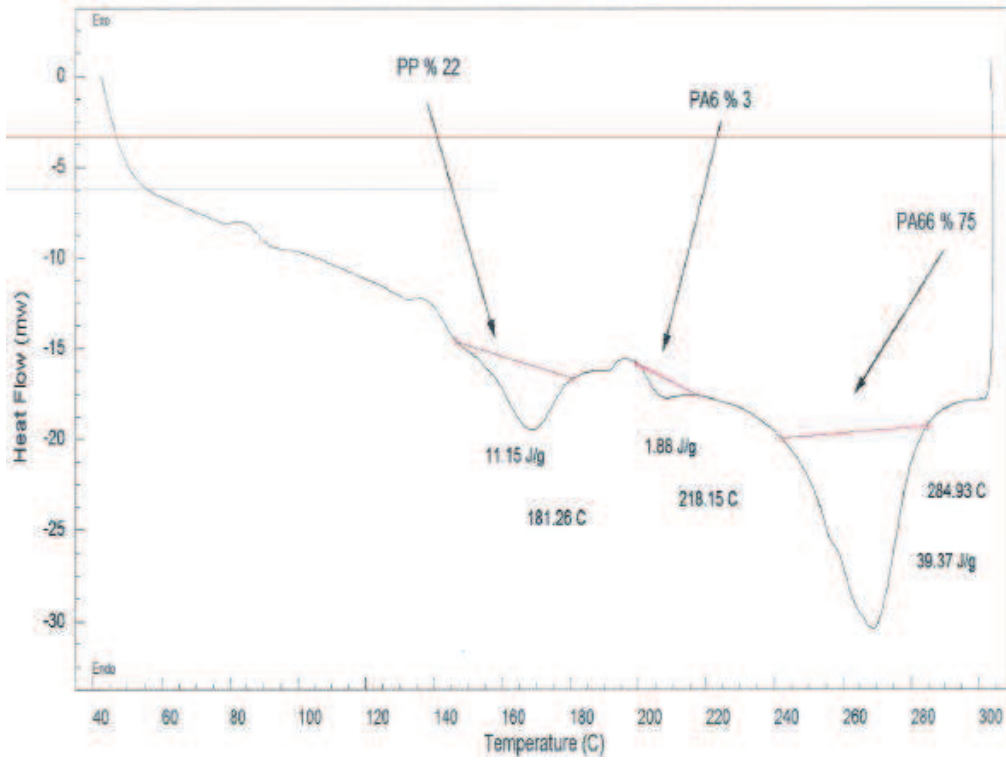
Şekil 4.14 %10 karbon elyaf takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



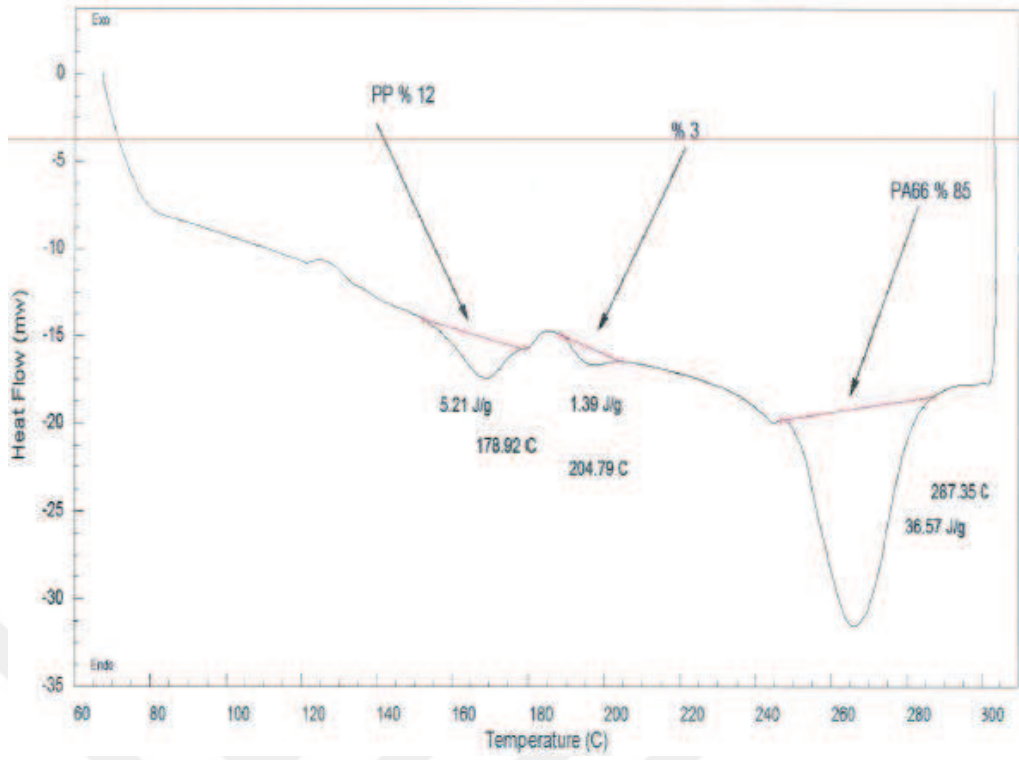
Şekil 4.15 %20 karbon elyaf takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



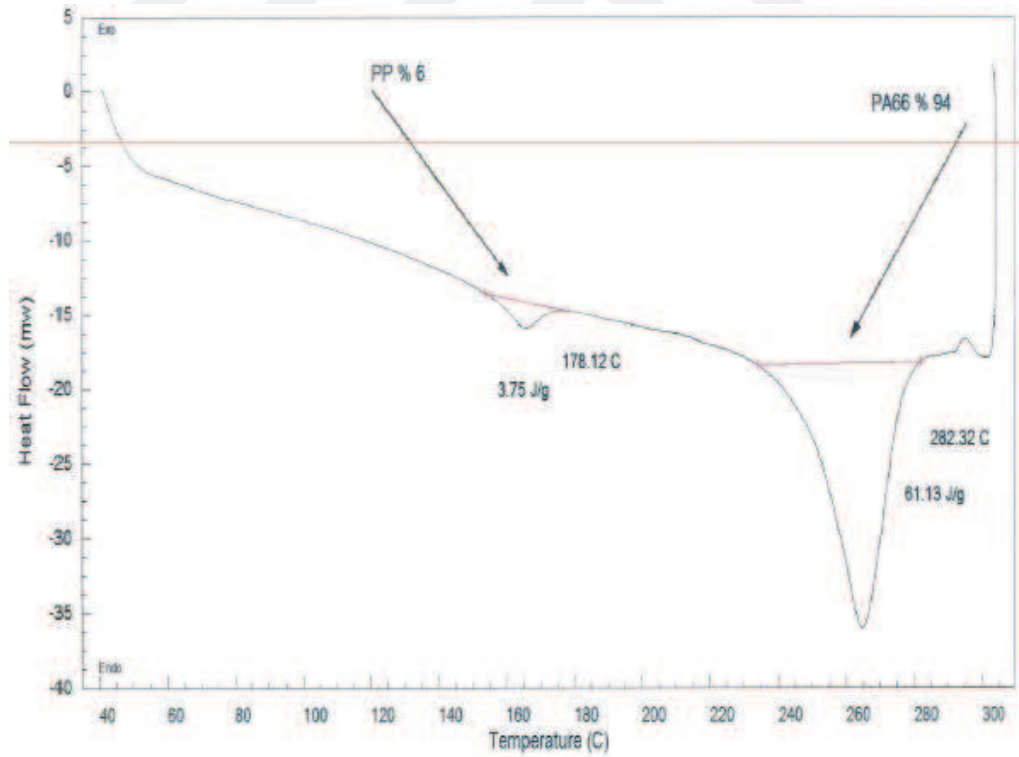
Şekil 4.16 %30 karbon elyaf takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



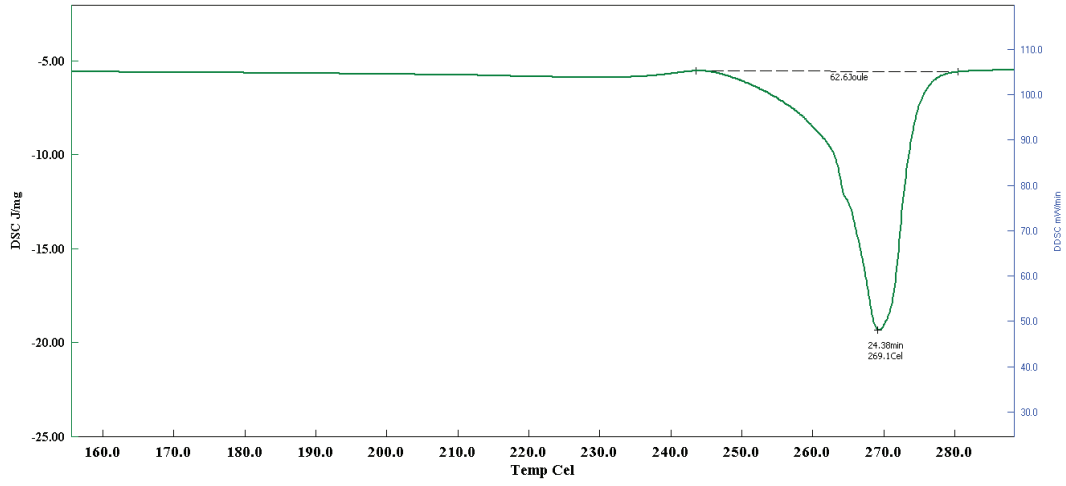
Şekil 4.17 %10 karbon siyah takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



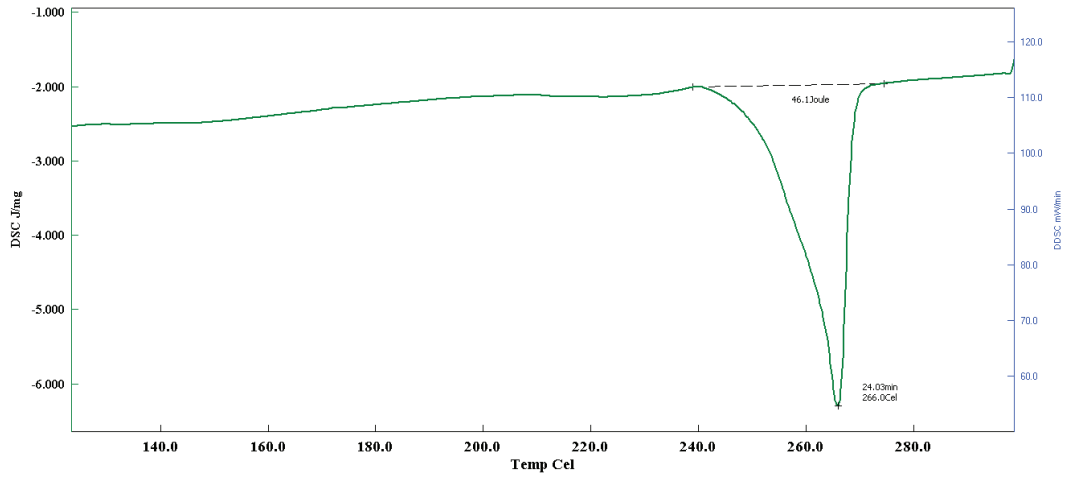
Şekil 4.18 %20 karbon siyah takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



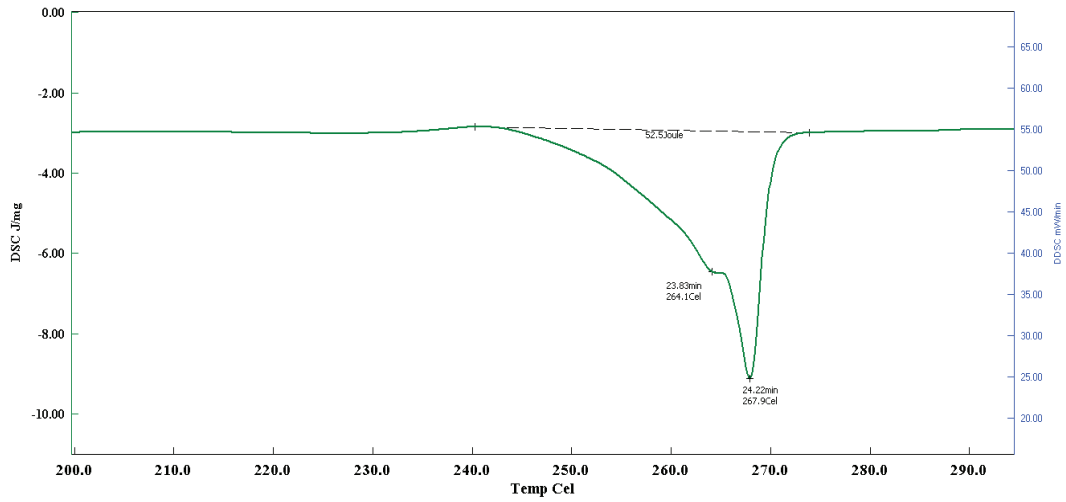
Şekil 4.19 %30 karbon siyah takviyeli PA6,6'nın DSC grafiği



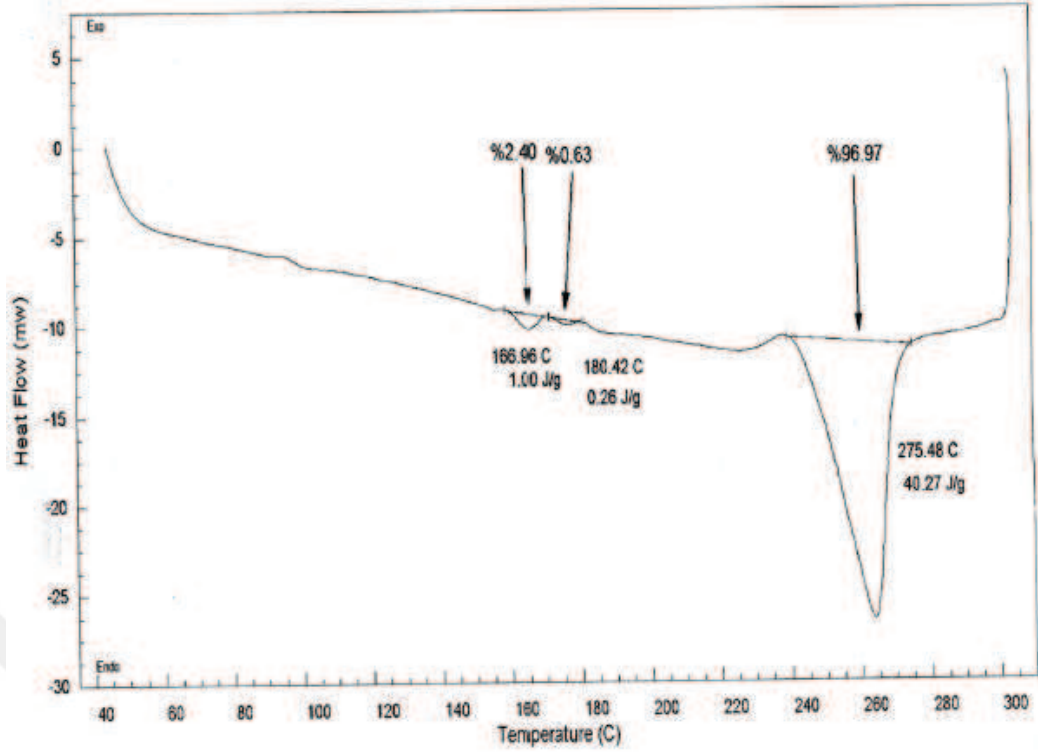
Şekil 4.20 %10 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği



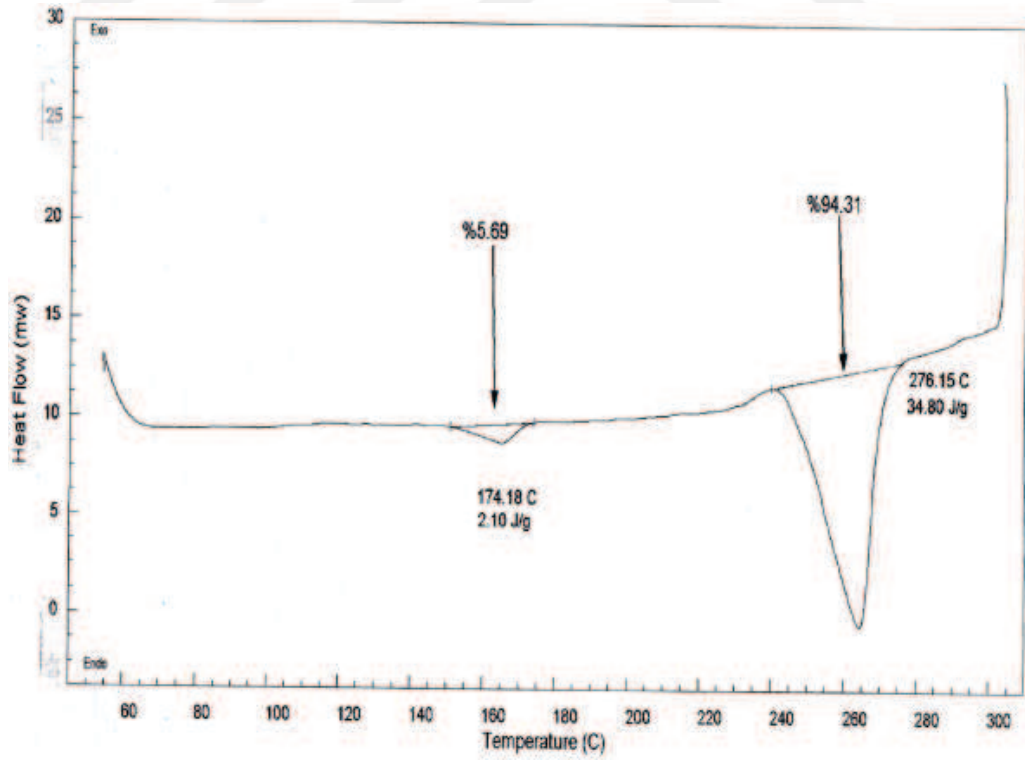
Şekil 4.21 %20 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği



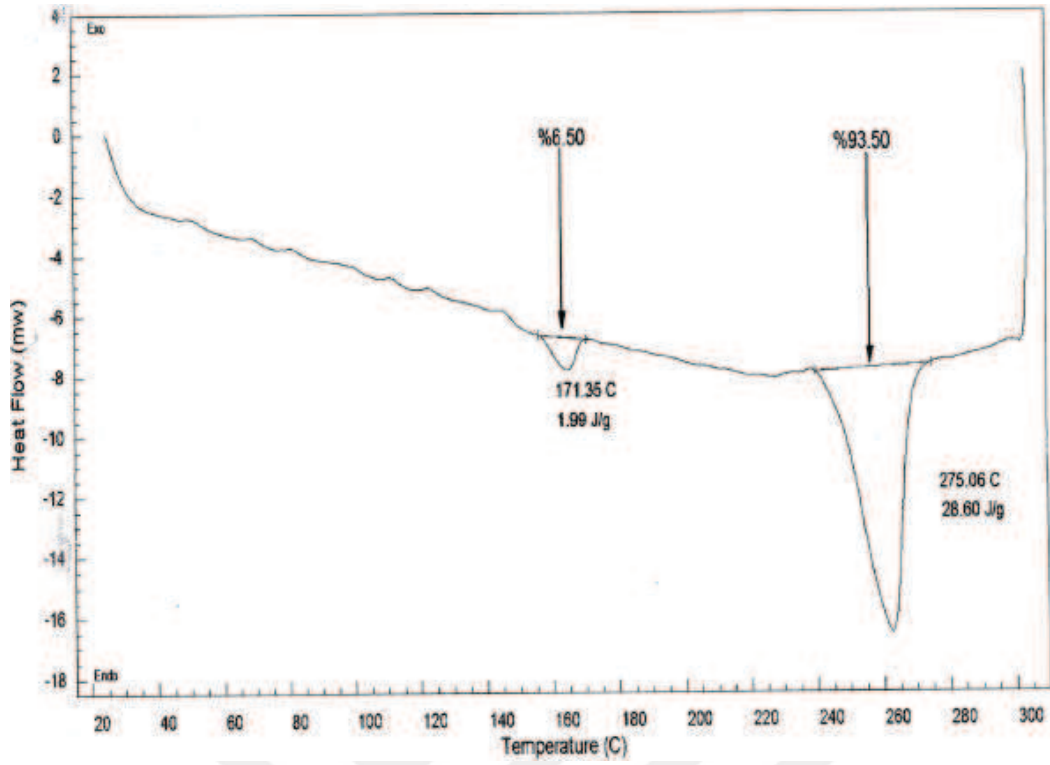
Şekil 4.22 %30 bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği



Şekil 4.23 %4 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği



Şekil 4.24 %7 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği



Şekil 4.25 %10 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu takviyeli PA 6,6'nın DSC grafiği

Çizelge 4.4 : DSC testi sonuçları

Numune kodu	ΔH_m (J/g)	ΔH_m^o (J/g)	δe (mJ/m ²)	T_m (°C)	T_m^o (°C)	X_c (%)	λ (nm)
PA66 (Ref.)	62,57	196	46	270,50	262	31,92	30,82
PA66CF10	45,84	196	46	290,12	262	44,35	17,28
PA66CF20	39,40	196	46	281,34	262	43,25	14,34
PA66CF30	40,56	196	46	288,25	262	40,95	12,96
PA66CB10	39,37	196	46	284,93	262	53,89	10,77
PA66CB20	36,57	196	46	287,35	262	35,65	13,46
PA66CB30	61,13	196	46	282,32	262	41,91	10,77
PA66B10	62,6	196	46	269,10	262	40,11	13,46
PA66B20	46,13	196	46	265,95	262	47,90	10,77
PA66B30	52,5	196	46	267,9	262	31,19	13,46
PA66CF/CB/B4	40,27	196	46	275,48	262	57,48	10,77
PA66CF/CB/B7	34,80	196	46	276,15	262	41,45	13,46
PA66CF/CB/B10	28,60	196	46	275,06	262	40,11	13,46

Karbon elyaf miktarı arttıkça kristalizasyon yüzdesinin azaldığı görülmüştür. Referans numuneye göre karbon elyaf ilavesinin kristalizasyon yüzdesini arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte kristal lamel kalınlıkları incelendiğinde karbon elyaf ilavesi ile kristal lamel kalınlığını azalttığı görülmüştür. Karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan numunelerin erime entalpileri incelendiğinde, karbon elyaf miktarı ile önce azaldığı daha sonra arttığı görülmüştür.

Karbon siyahı ilavesi ile hazırlanan numunelerin kristal erime sıcaklıkları karşılaştırıldığında karbon siyahı miktarı arttıkça kristal erime sıcaklığını ilk olarak arttırdığı daha sonra azalttığı görülmüştür. Ancak referans numuneye göre karbon siyahı ilavesi kristal erime sıcaklığını artırmıştır. Referans numuneye göre karbon siyahı ilavesi ile kristalizasyon yüzdesi arttığı sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte kristal lamel kalınlıkları incelendiğinde referans numuneye göre karbon siyahı ilavesinin kristal lamel kalınlığının azalttığı görülmüştür. Karbon siyahı ilavesinin erime entalpisini önce azalttığı daha sonra arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

Bakır tozu ilavesi ile hazırlanan numunelerin kristal erime sıcaklıkları karşılaştırıldığında bakır tozu ilavesi ile kristal erime sıcaklığının azaldığı sonra arttığı görülmüştür. Referans numuneye göre de bakır tozu ilavesi kristal erime sıcaklığını azaltmıştır. Bakır tozu ilavesi ile kristalizasyon yüzdesinin ilk olarak arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Referans numuneye göre bakır tozu ilavesinin kristalizasyon yüzdesini genel olarak artırdığı görülmüştür. Bununla birlikte kristal lamel kalınlıkları incelendiğinde bakır tozu ilavesi ile kristal lamel kalınlığının önce azaldığı sonra arttığı tespit edilmiştir. Bakır tozu ilavesi ile hazırlanan numunelerin erime entalpileri incelendiğinde ile erime entalpisinin önce azaldığı daha sonra arttığı sonucu elde edilmiştir.

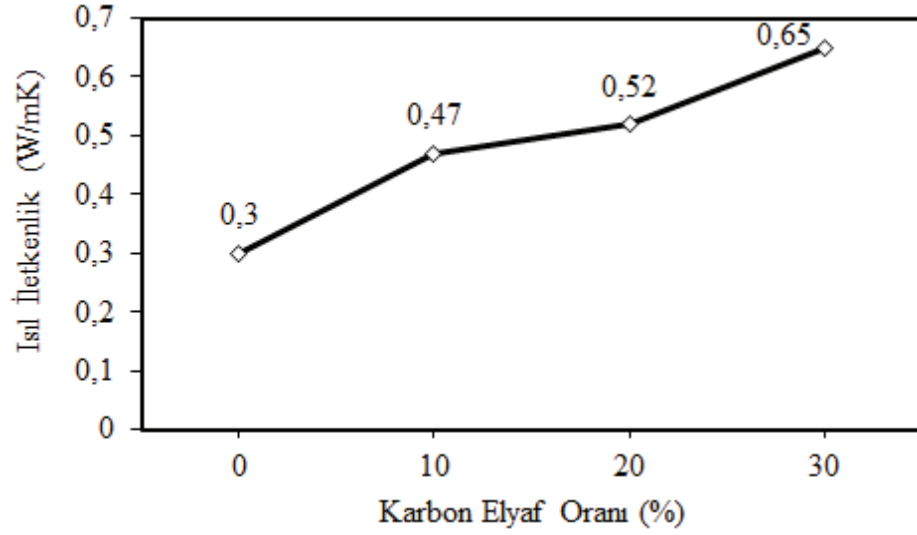
Karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlanan numunelerin kristal erime sıcaklıkları karşılaştırıldığında dolgu miktarı arttıkça kristal erime sıcaklığını ilk olarak arttırdığı daha sonra azalttığı görülmüştür. Ancak referans numuneye göre karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu karbon siyahı ilavesi kristal erime sıcaklığını artırmıştır. Referans numuneye göre karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesinin kristalizasyon yüzdesini artırdığı sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte kristal karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesinin lamel kalınlığını arttırdığı görülmüştür. Referans numuneye göre karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlanan erime entalpisini azalttığı tespit edilmiştir. Kristalizasyon yüzdesinin az olmasına rağmen lamel kalınlığının yüksek olması ve iletken malzemelerin yoğun bir şekilde bulunması ısı iletkenliği artırmıştır.

4.5 Isıl İletkenlik Sonuçları

Çalışmada elde edilen ısı iletkenlik test sonuçları Çizelge 4.5 verilmiştir. Çizelge 4.5'te verilen değerler incelendiğinde; malzemelerin ısı iletkenliğini ilave edilen dolgu miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Karbon elyaf, bakır tozu ve üçlü kombinasyon hazırlanan Poliamid 66 kompozitleri incelendiğinde dolgu miktarına bağlı olarak ısı iletkenliğinin değiştiği görülmüştür.

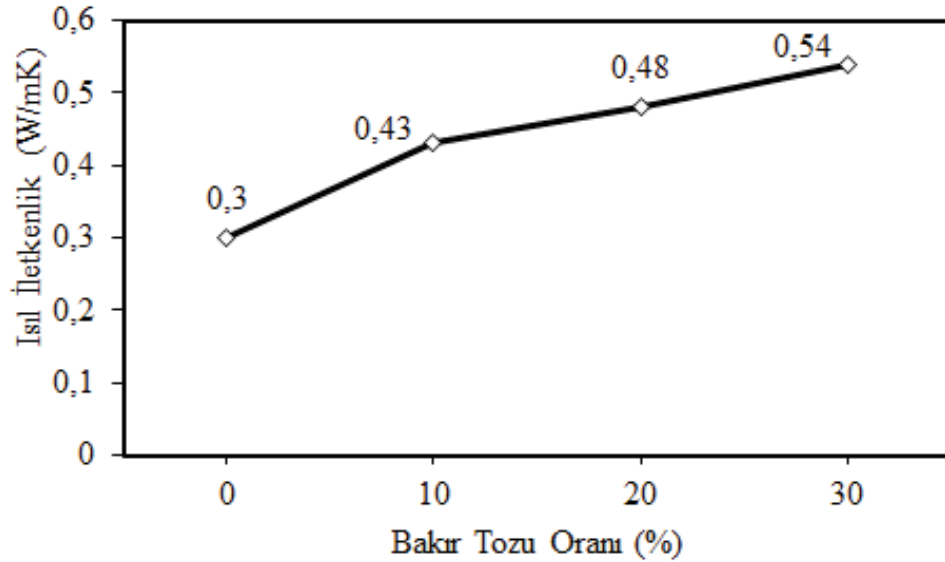
Çizelge 4.5 : Isıl iletkenlik testi sonuçları

Numune kodu	W/mK
PA66 (Ref.)	0.30
PA66CF10	0,47
PA66CF20	0,52
PA66CF30	0,65
PA66B10	0,43
PA66B20	0,48
PA66B30	0,54
PA66CF/CB/B4	0,54
PA66CF/CB/B7	0,56
PA66CF/CB/B10	0.72



Şekil 4.26 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin karbon elyaf ilavesi ile değişimi

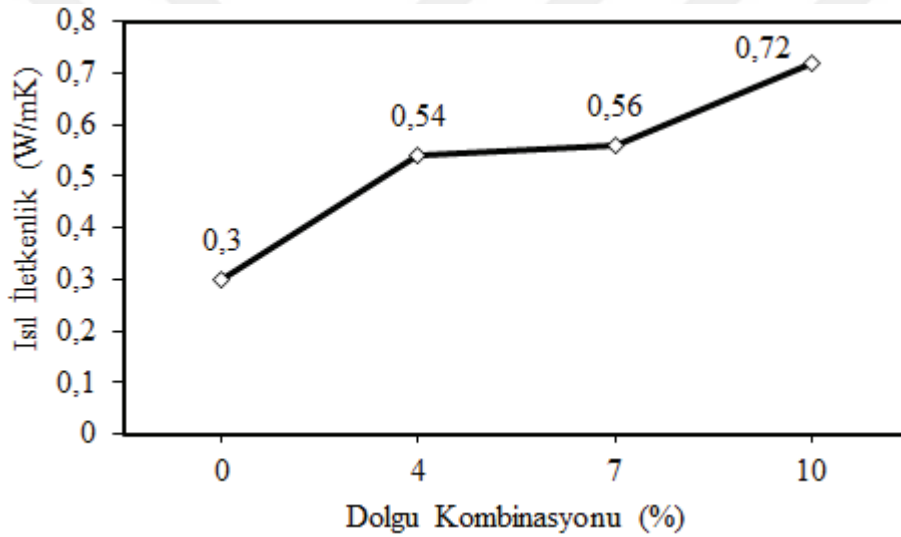
Şekil 4.26 incelendiğinde, karbon elyaf miktarı arttıkça poliamid 6,6 kompozitlerinde ısı iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Referans numuneden daha yüksek ısı iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Karbon elyaf oranı ile PA 6,6'nın ısı iletkenliği 0,3 W/mK'dan 0,65 W/mK'ya yükseldiği gözlemlenmiştir. Heiser ve King yaptıkları çalışmada benzer bir şekilde karbon elyafın PA 6,6'nın ısı iletkenliğini artırdığını gözlemlenmişlerdir [11]. Liu ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada karbon elyafın PA 6,6'nın ısı iletkenliğini artırdığını gözlemlenmişlerdir [7].



Şekil 4.27 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin bakır tozu ilavesi ile değişimi

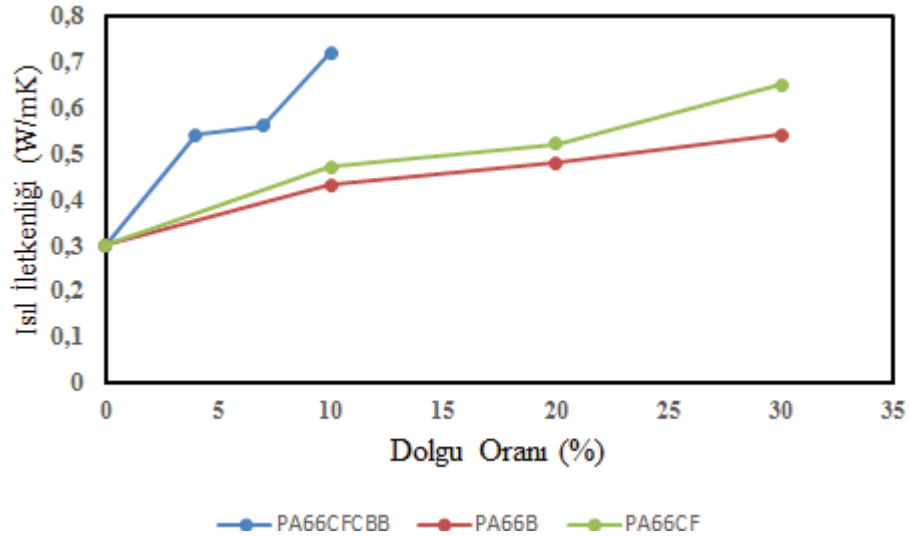
Şekil 4.27 incelendiğinde, başlangıçta PA 66'nın ısı iletkenliği bakır tozu miktarı arttıkça referans numuneye göre arttığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda bakır tozu ile hazırlanan PA 66 kompozitlerinde en yüksek ısı iletkenlik değeri %30 bakır tozu ilave edilen kompozit için elde edilmiştir. Tekçe ve arkadaşları bakır (Cu) ilavesi ile PA 6 kompozitlerini hazırlamışlardır. Yaptıkları çalışmada benzer şekilde, hazırlanan Cu/PA 6 kompozitine bakır ilave edildiğinde kompozitin ısı iletkenliğinde artış gözlemlenmiştir [22].

Karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozu ile hazırlanan numunelerin dolgu oranlarının ısı iletkenliğini etkilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.28 incelendiğinde, üçlü dolgu oranı artırıldığında PA 66'nın ısı iletkenliğinin 0,3 W/mK'dan 0,72 W/mK'ya yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.28 PA 6,6'nın ısı iletkenliğinin karbon elyafı/karbon siyahı/bakır tozunun ilavesi ile değışimi

Şekil 4.29 incelendiğinde, karbon elyafının, bakır tozunun ve üçlü kombinasyon ile hazırlanan PA 66 kompozitlerinin ısı iletkenliğini genel olarak artırdığı gözlemlenmiştir. Bu beklenen bir sonuçtur. İletken dolguların malzemelerin ısı iletkenliklerini geliştirdiği literatürden bilinmektedir. Karbon elyaf, bakır tozu ve üçlü dolgu kombinasyonu ile hazırlanan kompozitlerin ısı iletkenlik sonuçları karşılaştırıldığında, en yüksek ısı iletkenlik değeri, PA66CF/CE/B30 kodlu numune için 0,72 W/mK olarak elde edilmiştir.



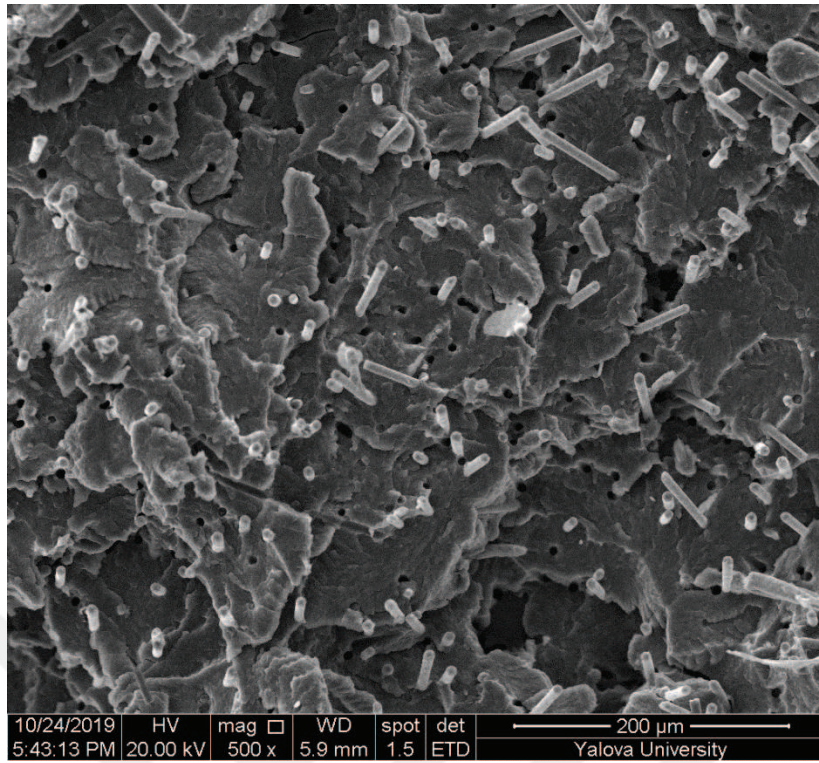
Şekil 4.29 Dolgu oranının PA 6,6'nın ısı iletkenliğine etkisi

PA 66'ya ilave edilen %10'luk üçlü dolgu kombinasyonunda en yüksek ısı iletkenlik değeri elde edilmiştir. Heiser ve King, ağırlıkça %5 karbon siyahı, %30 sentetik grafit ve %20 karbon fiber kullanarak üç farklı Poliamid 6,6 kompozitleri hazırlamışlardır. Yaptıkları çalışmada benzer şekilde Poliamid 6,6 ısı iletkenliğinin geliştirilmesinde üç farklı dolgu malzemesinin de etkili olduğu sonucuna varmışlardır [11]. Karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan numunelerin ısı iletkenlik değerinin bakır tozu ilavesi ile hazırlanan numunelere göre daha yüksek olması karbon elyafının ısı iletkenliğinin bakır tozundan daha yüksek olmasından kaynaklıdır. Bununla birlikte karbon elyafının matris içerisinde dağılımının ve düzgün bir iletim yolu oluşturmamasından da kaynaklandığı düşünülmektedir.

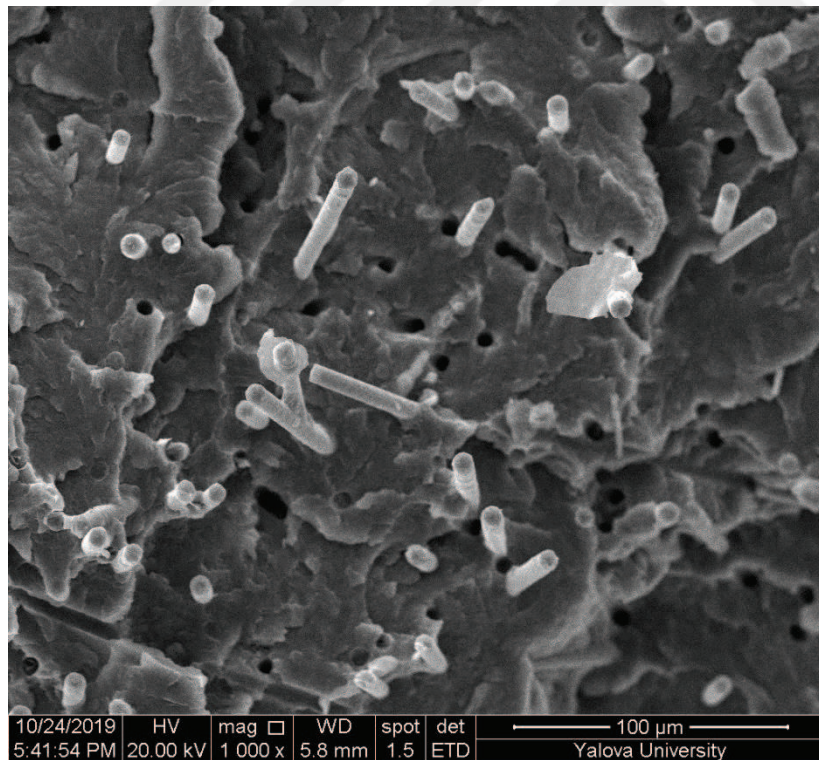
4.6 SEM Mikro Yapı İncelemeleri

Farklı oranlarda karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 kompozitlerinin çekme numunelerinden elde edilen SEM görüntüleri, Şekil 4.30'de %10 karbon elyaf, Şekil 4.31'de %20 karbon elyafı ve Şekil 4.32'de % 30 karbon elyaf şeklinde verilmiştir. %10 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan numunede karbon elyaf dolguları gözlemlenmektedir. Karbon elyaflarının matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir.

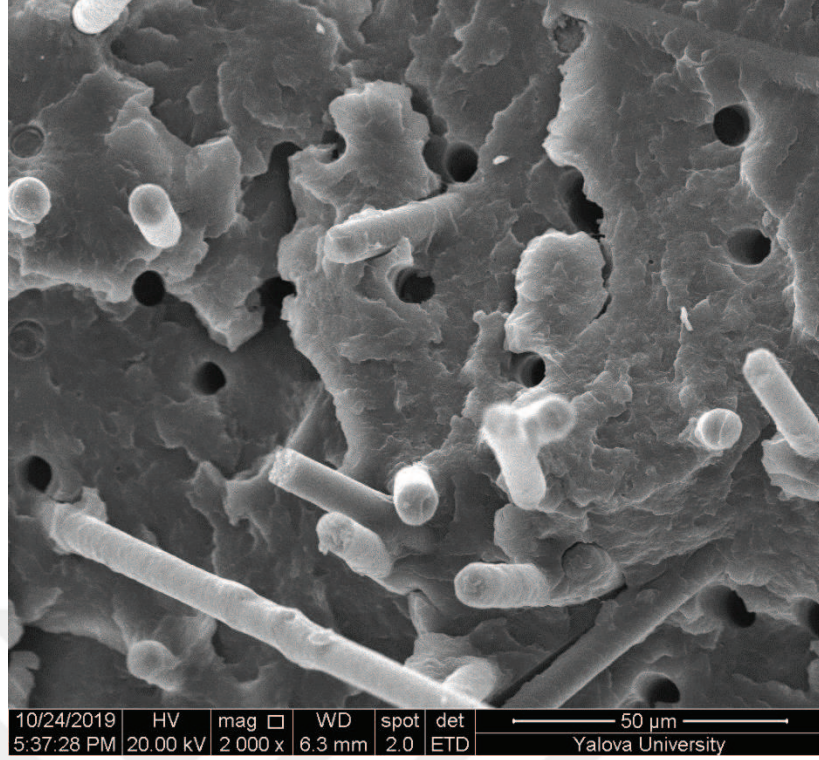
Şekil 4.30'de karbon elyaflarının matrise gömülü olduğu görülmektedir. Bu durum polimer ve dolgu arasında ki ara yüz etkileşiminin iyi olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.1' de verilen çekme testi sonuçları da bu durumu desteklemektedir.



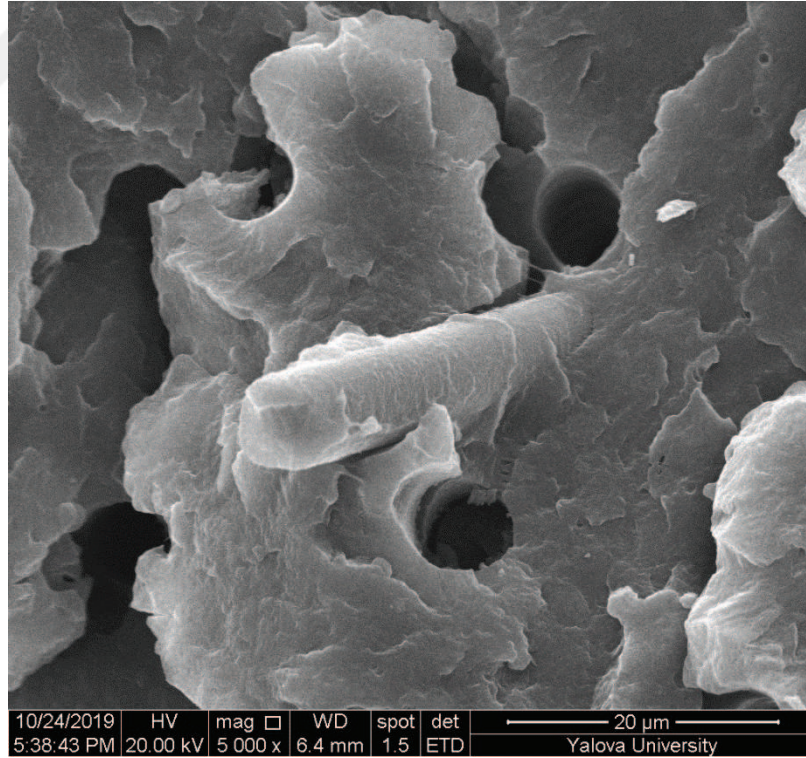
a) x500



b) x1000



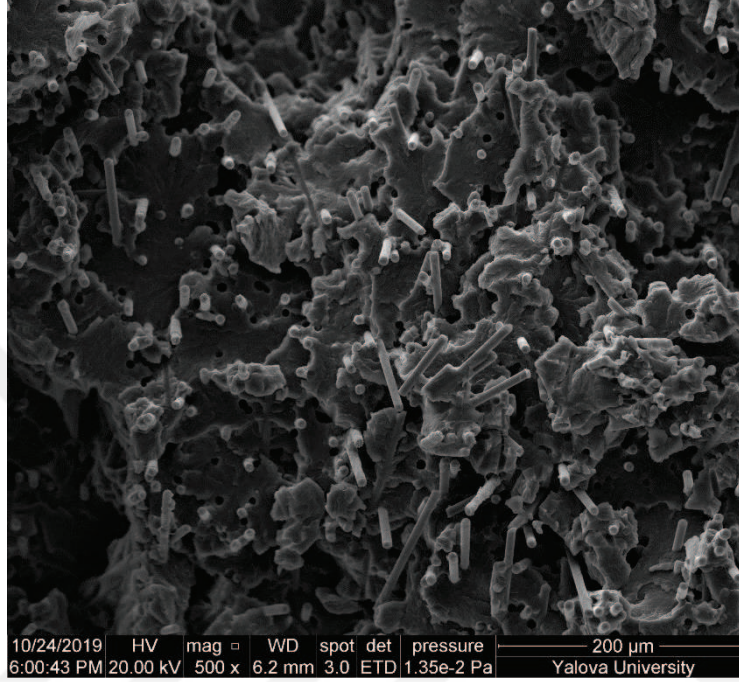
c) x2000



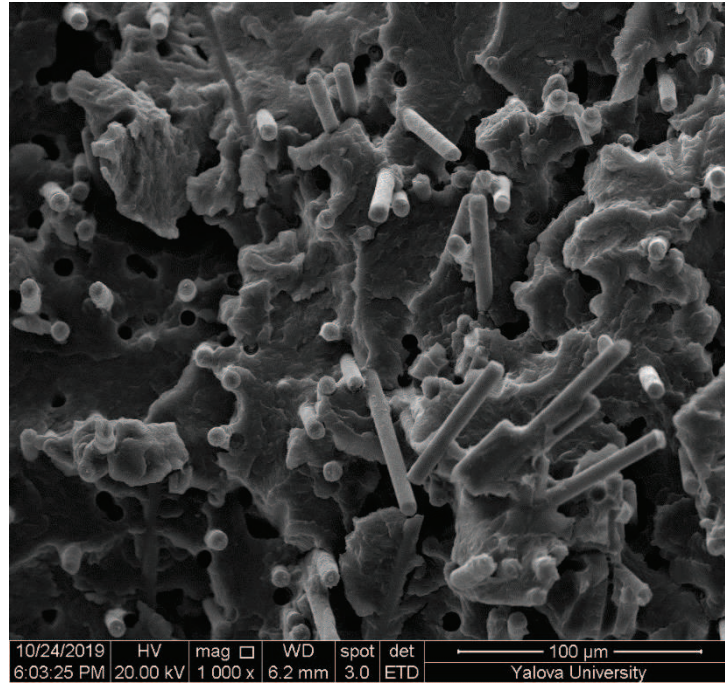
d) x5000

Şekil 4.30 % 10 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66CF10) numunesine ait SEM görüntüleri

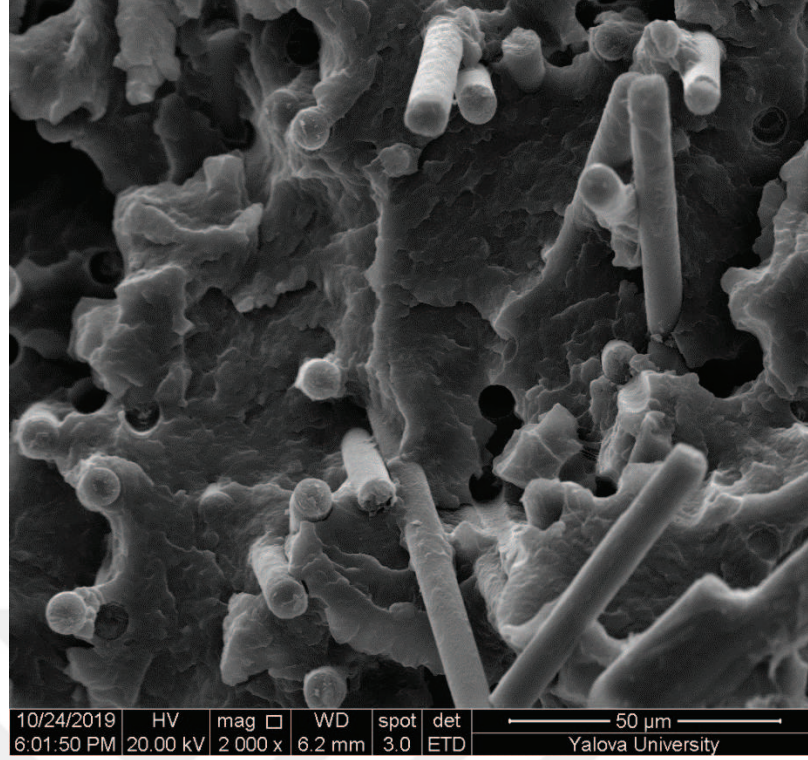
Şekil 4.31’de %20 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6’nın SEM görüntüleri verilmektedir. Karbon elyaflarının matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.31’de karbon elyafları ve polimer arasında iyi bir etkileşim olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1’ de verilen çekme testi sonuçları da bu durumu desteklemektedir.



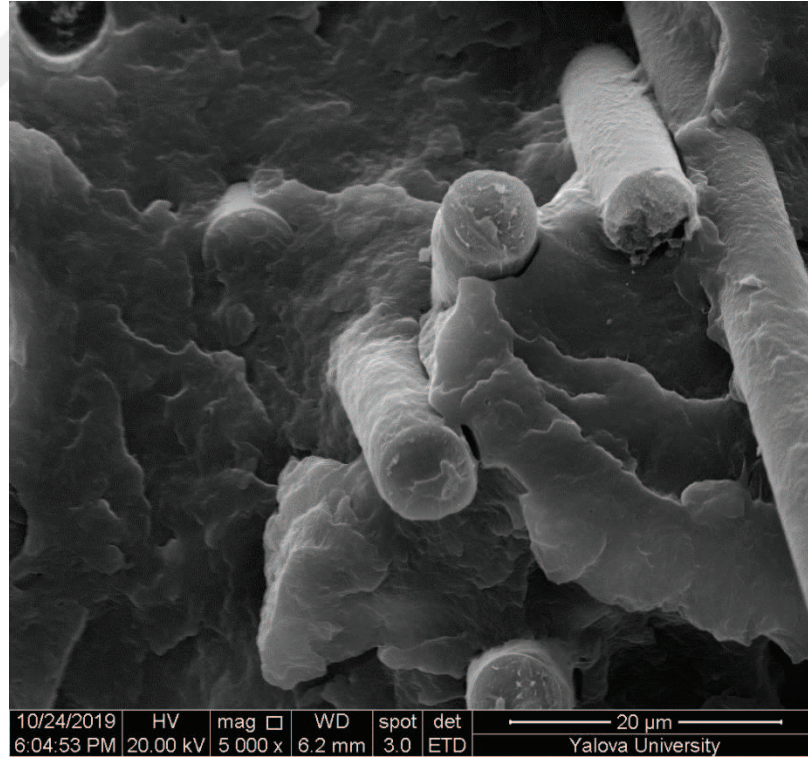
a) x500



b) x1000



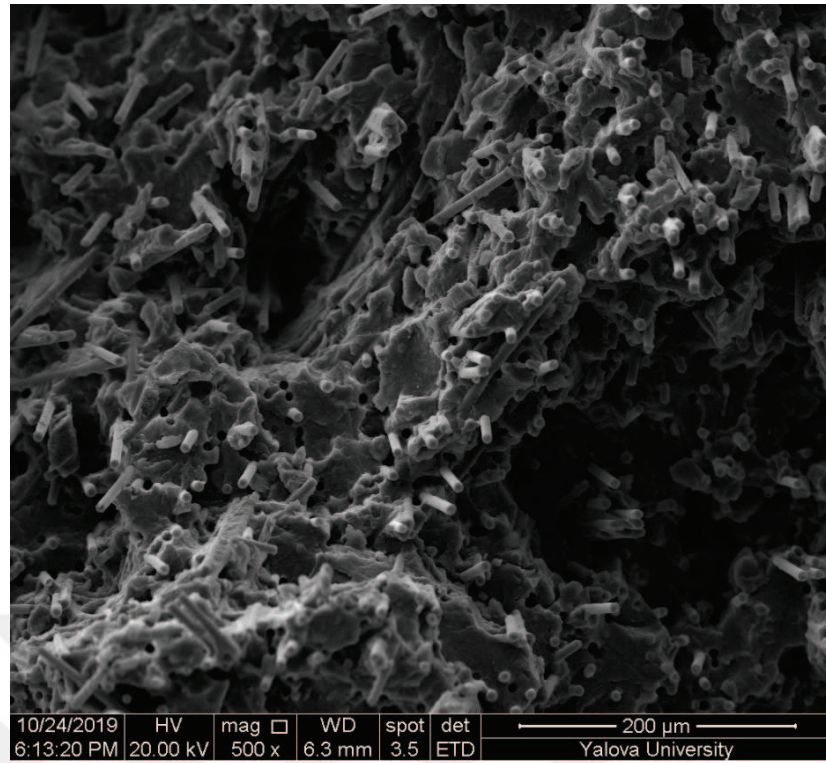
c) x2000



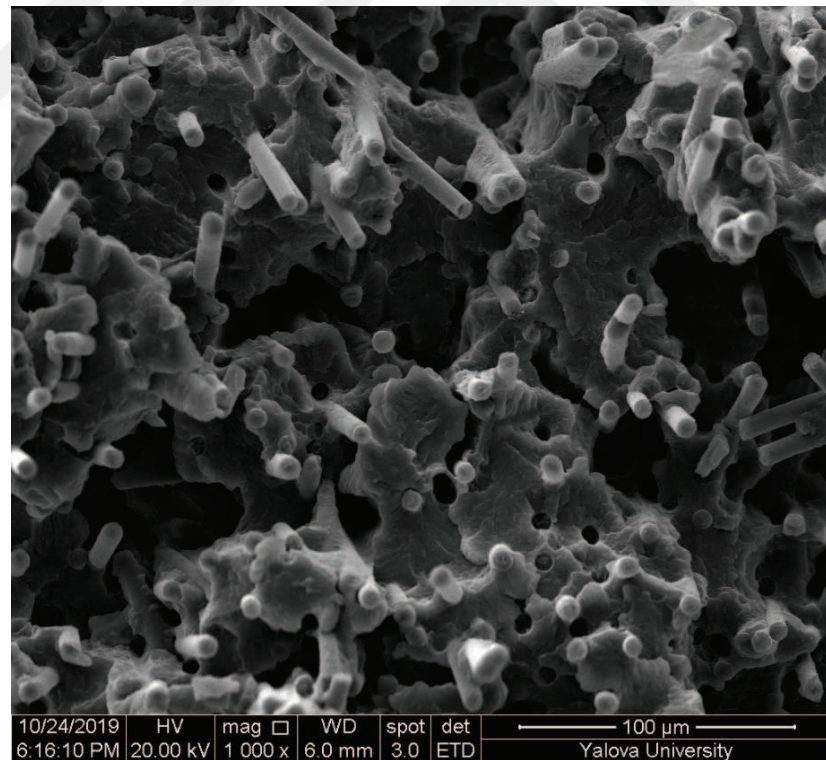
d) x5000

Şekil 4.31 %20 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA6,6 (PA66CF20) numunesine ait SEM görüntüleri

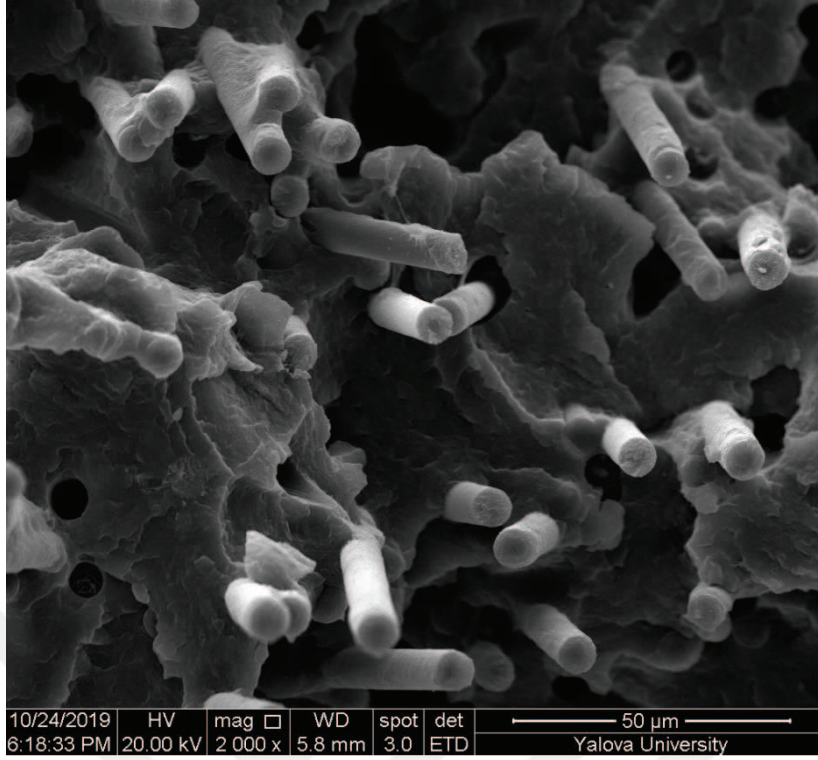
Şekil 4.32’da %30 luk karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA 6,6’nın SEM görüntüleri verilmektedir. Karbon elyaflarının matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.32 (d)’de karbon elyaflar polimer matris içerisinde gömülü olduğu net bir şekilde gözlemlenmektedir. Şekil 4.32’da ki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi karbon elyaf ve PA 6,6 matrisinin etkileşiminin güçlü olduğunu görülmektedir. Bu durumun kompozitin mekanik özelliklerini olumlu etkileyeceği tahmin edilmektedir. Çizelge 4,1’de elde edilen çekme test sonuçları bu tahmini doğrulamaktadır. Literatürde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [7,26]. Kompozitlerin iletkenliğini geliştirmek için kullanılan iletken dolguların iletim yolu oluşturması gerekmektedir [23]. Şekil 4.32’da görüldüğü gibi karbon elyafları polimer matris içerisinde homojen dağılarak iletim yolu oluşturduğu desteklenmektedir. Çizelge 5.4’te verilen ısı iletkenlik sonuçlarında da görüldüğü gibi karbon elyaf ilavesi ile ısı iletkenlik artmıştır.



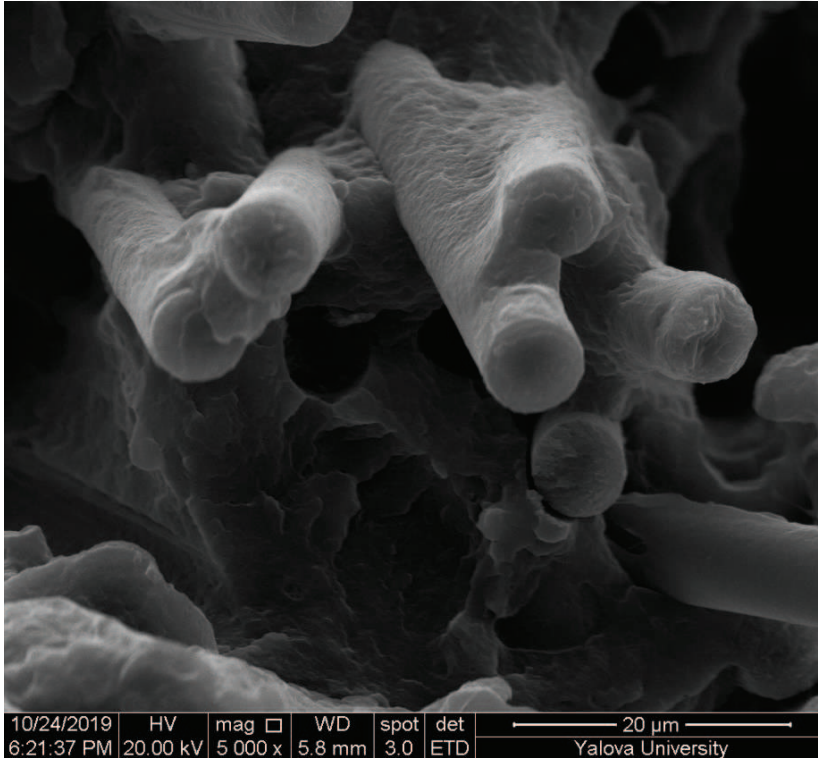
a) x500



b) x1000



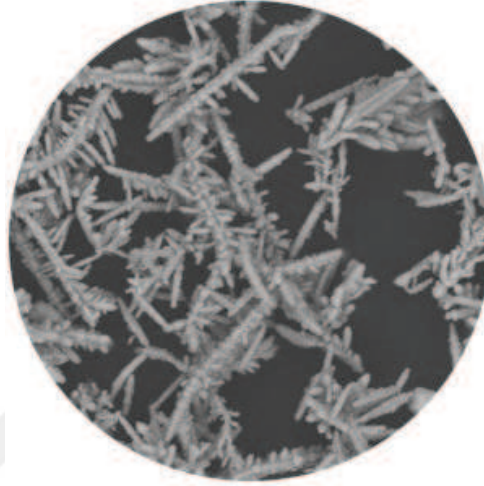
c) x2000



d) x5000

Şekil 4.32 %30 karbon elyaf ilavesi ile hazırlanan PA6,6 (PA66CF30) numunesine ait SEM görüntüleri

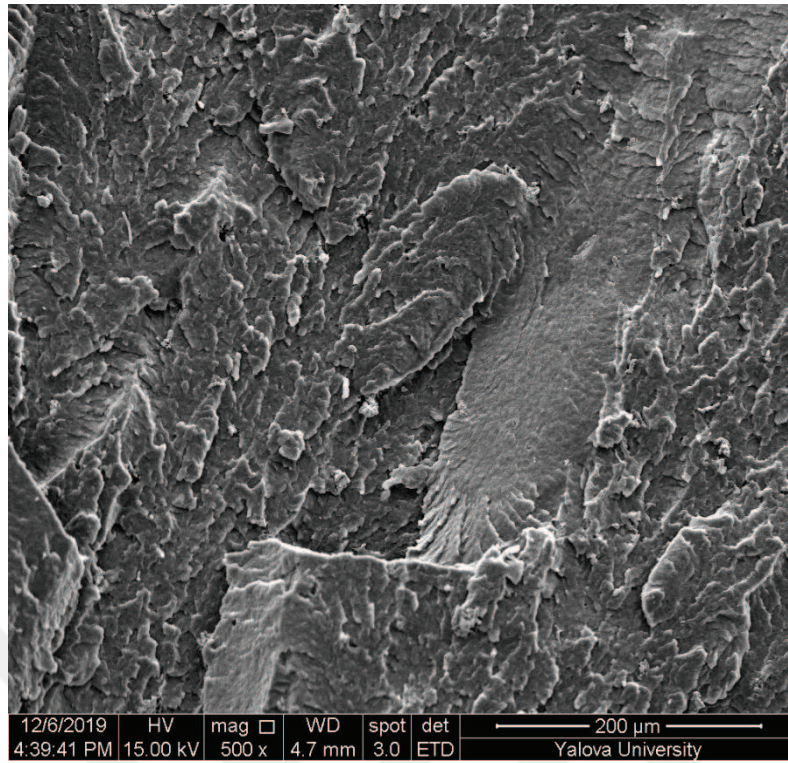
Bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 kompozitlerinin çekme numunelerinden elde edilen SEM görüntüleri, Şekil 4.34’de %10 bakır tozu, Şekil 4.35’de %20 bakır tozu ve Şekil 4.36’de % 30 bakır tozu şeklinde verilmiştir. PA 6,6’ya ilave edilen 10’luk bakır tozunun SEM görüntüsü Şekil 4.34’de görülmektedir. Bakır tozunun SEM görüntüsü Şekil 4.33’de verilmiştir.



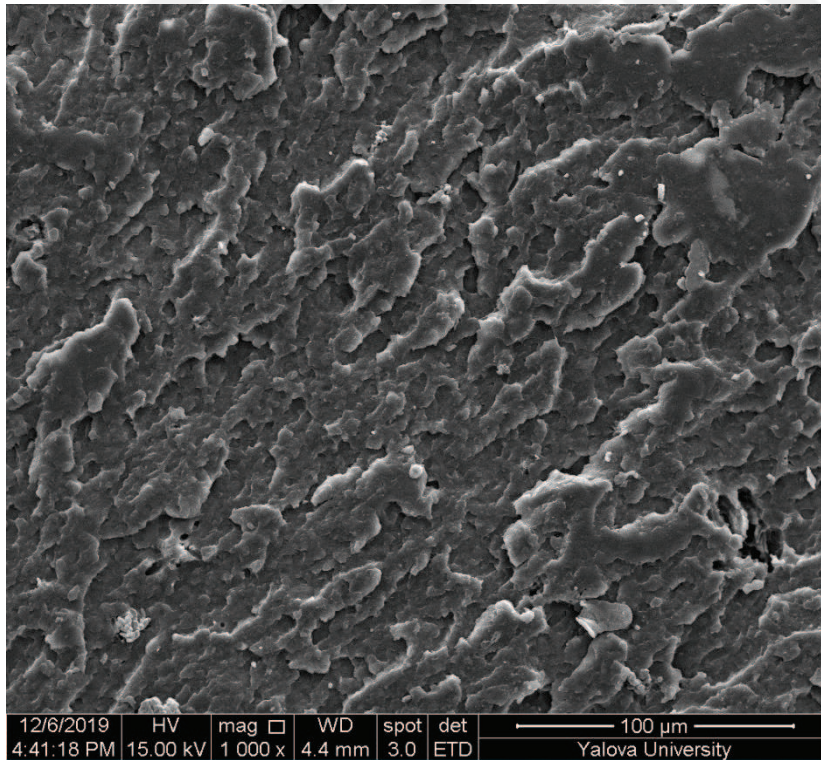
Şekil 4.33 Çalışmada kullanılan bakır tozunun SEM görüntüsü [64]

Şekil 4.35’de %20 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6’nın SEM görüntüleri verilmektedir. Bakır tozu katkılı numunelerin SEM mikroyapısı incelendiğinde matris malzemesinin bakır tozunu çok iyi sardığı, yapı içerisinde tabakalaşma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durumun mekanik özellikler üzerinde olumsuz göstereceği tahmin edilmektedir. Elde edilen çekme test sonuçları da bu tahmini doğrulamaktadır. Yapıda ki tabakalaşmanın çekme doğrultusunda blok şeklinde kopmasının buna neden olduğu tahmin edilmektedir. Yapı içerisinde elektrolitik yöntemle elde edilen bakır tozu yerine atomizasyon yöntemi ile elde edilen bakır tozu kullanılsaydı çekme mukavemetinin daha yüksek olarak elde edileceği düşünülmektedir.

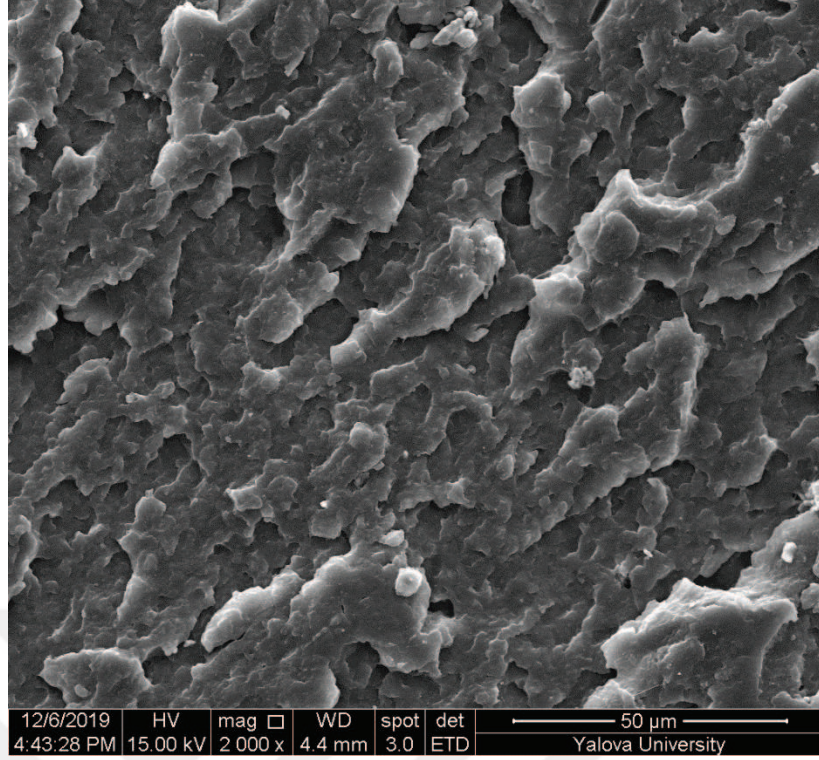
Şekil 4.36’te görüldüğü gibi bakır tozlarının homojen dağılması ısı iletim yolu oluşturmaktadır. Bu durumun PA 6,6’nın ısı iletkenliğini artıracak tahmin edilmektedir. Çizelge 5.4’te verilen ısı iletkenlik sonuçları bu durumu desteklemektedir. Molefi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmişti [23].



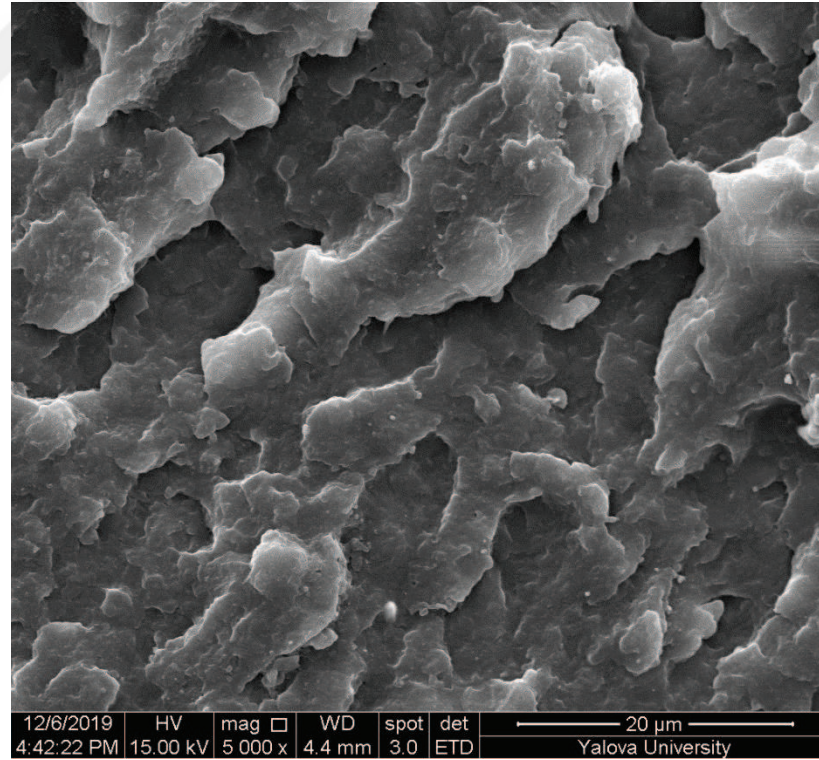
a) x500



b) x1000

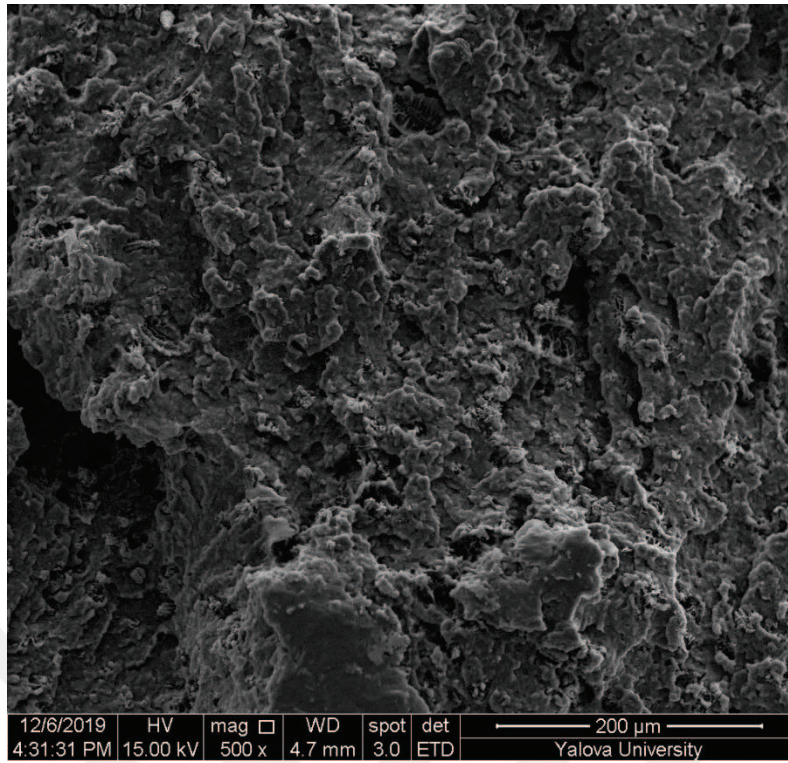


c) x2000

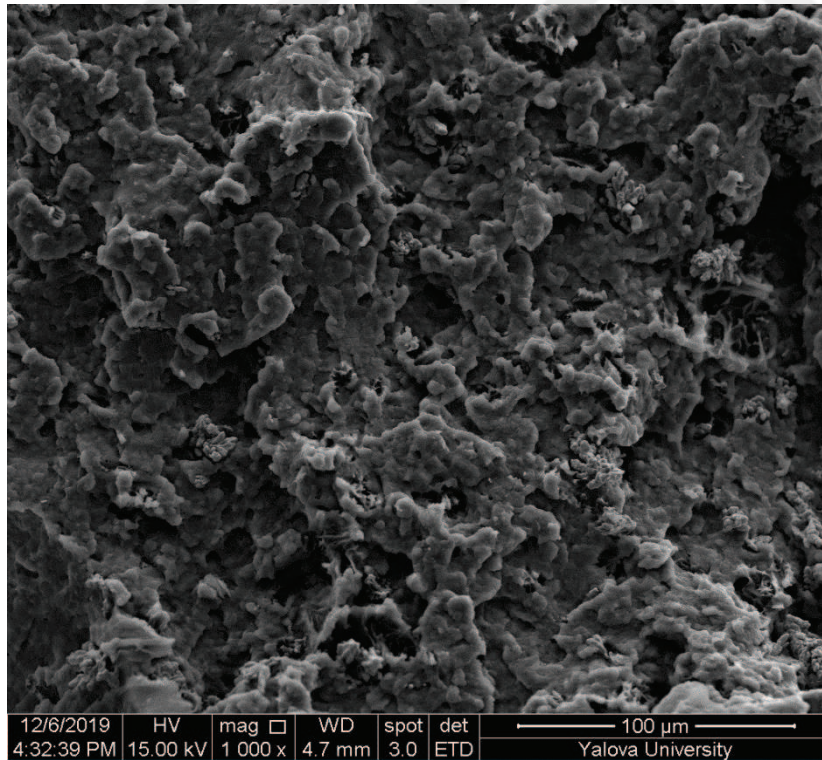


d) x5000

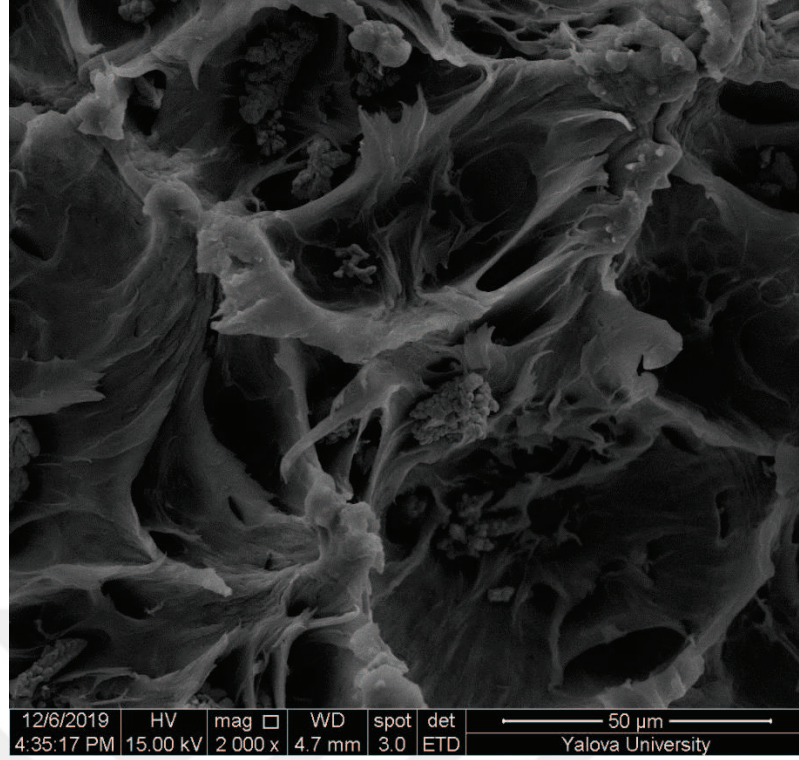
Şekil 4.34 %10 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B10) numunesine ait SEM görüntüleri



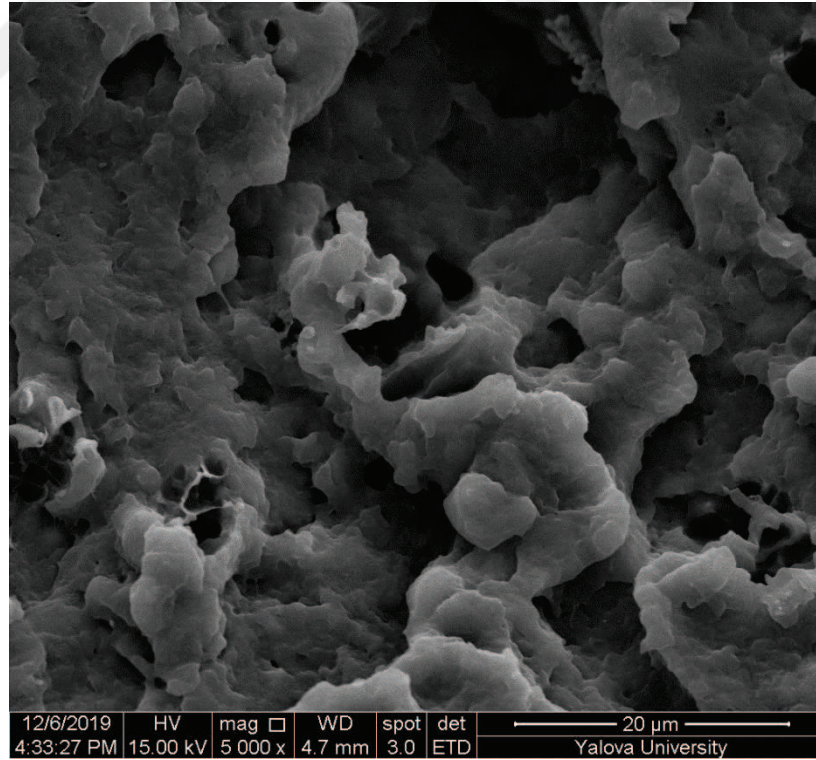
a) x500



b) x1000

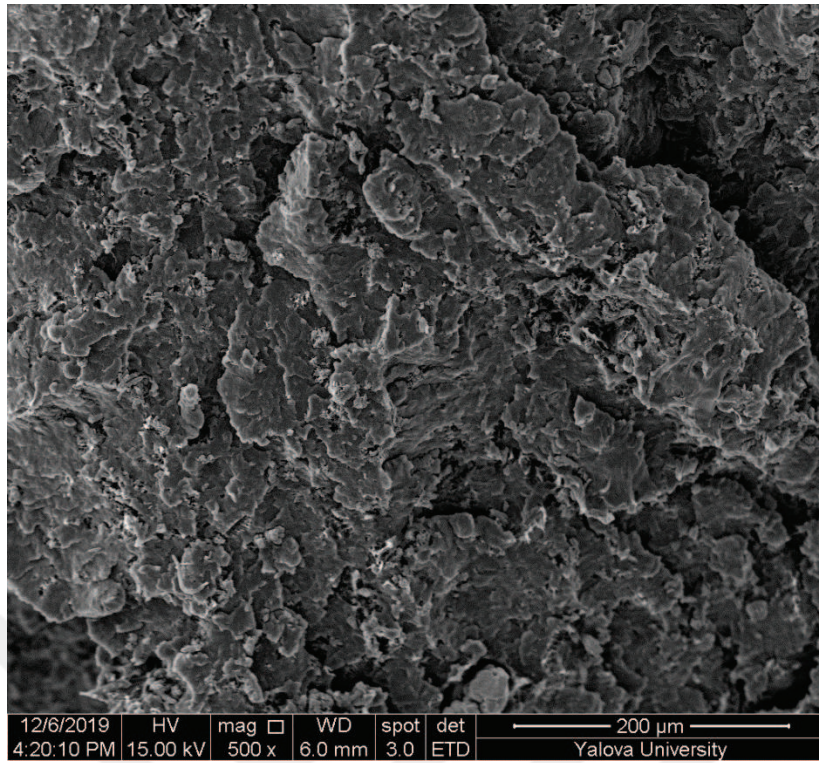


c) x1000

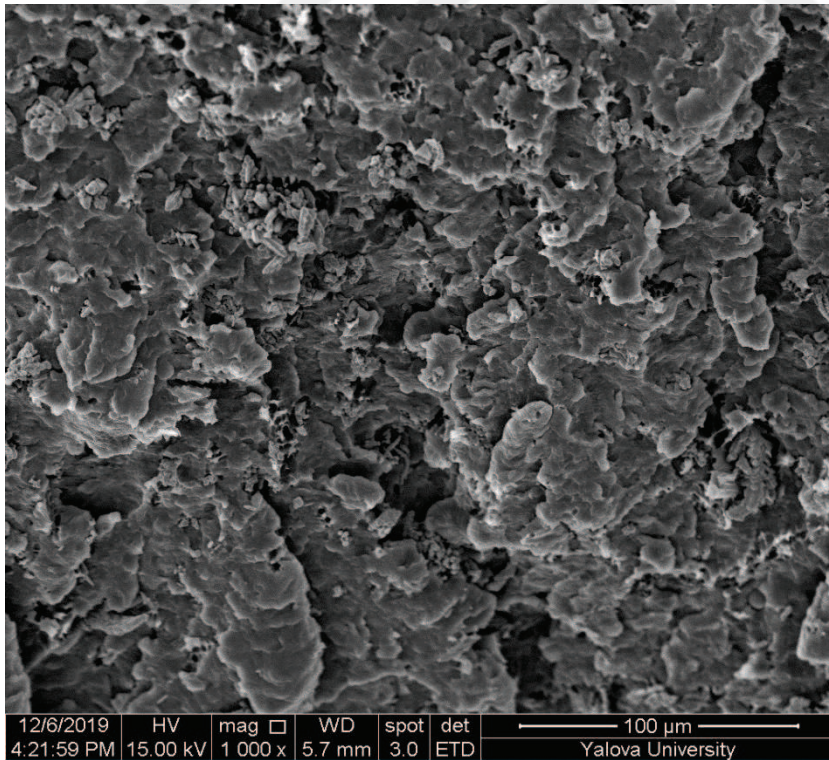


d) x5000

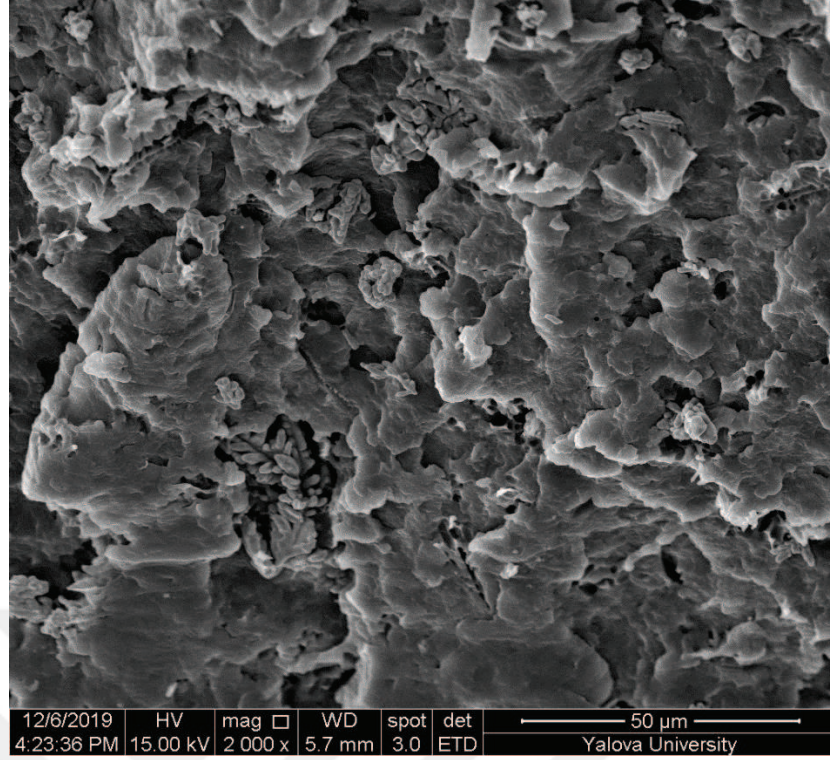
Şekil 4.35 %20 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B20) numunesine ait SEM görüntüleri



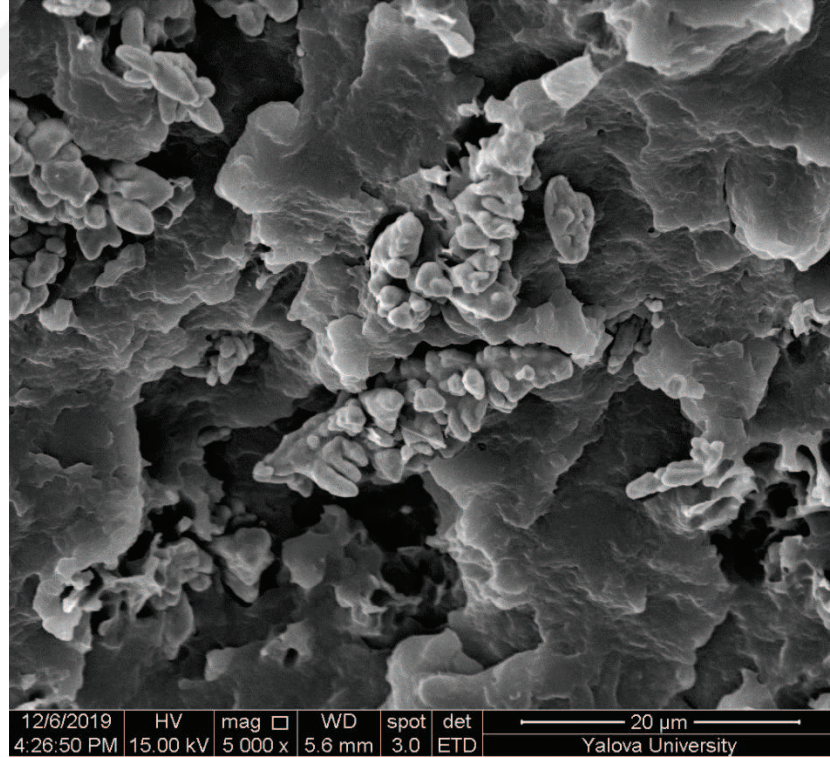
a) x500



b) x1000



c) x2000



d) x5000

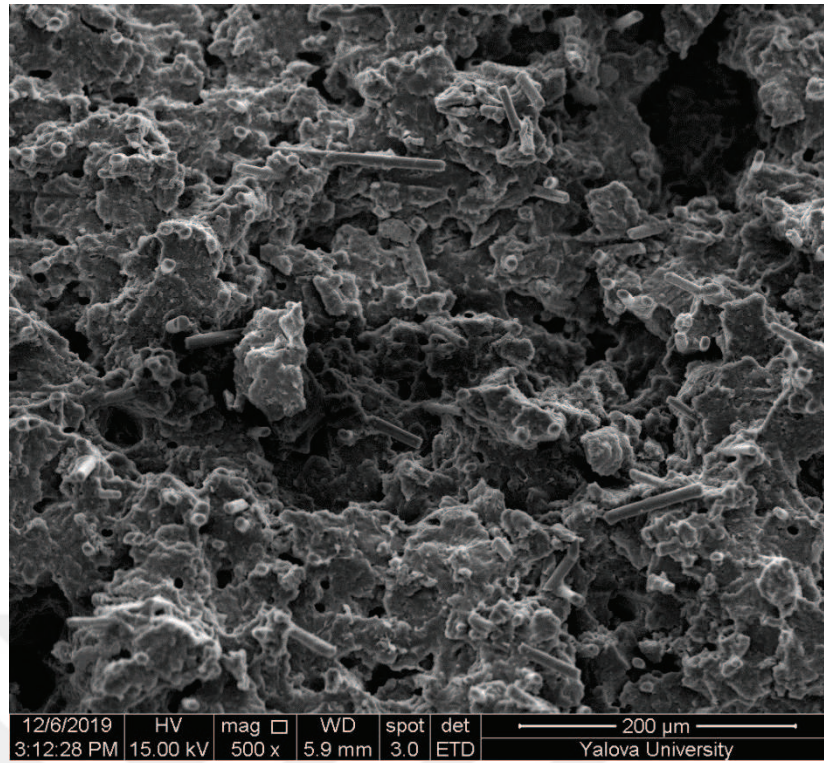
Şekil 4.36 %30 bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6 (PA66B30) numunesine ait SEM görüntüleri

Karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilave edilerek hazırlanan PA 6,6'nın SEM görüntüleri, Şekil 4.37'de %4 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu, Şekil 4.38'de %7 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ve Şekil 4.39'da % 10 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu şeklinde verilmiştir. %4 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlanan numunede dolgular gözlemlenmektedir.

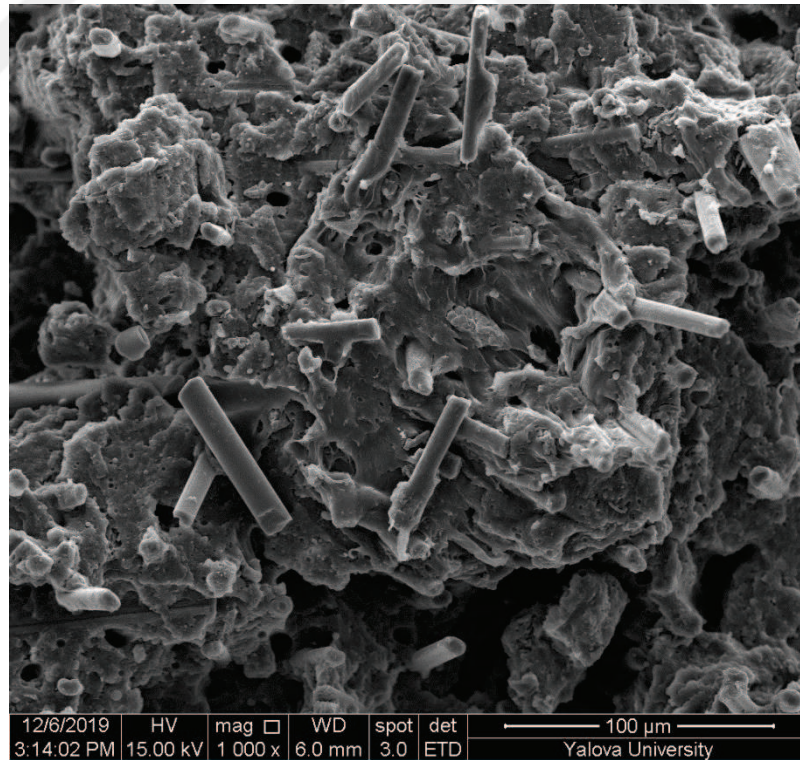
Şekil 4.37'de karbon elyaflarının ve karbon siyahlarının matrise gömülü olduğu görülmektedir. Bu durum polimer ve dolgu arasında ki ara yüz etkileşiminin iyi olduğunu göstermektedir. Karbon elyaf, karbon siyahı ve bakır tozu dolgularının PA 6,6 matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Çizelge 4.1' de verilen çekme testi sonuçları da bu durumu desteklemektedir.

Şekil 4.38'te %7 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilave edilerek ile hazırlanan PA 6,6'nın SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 4.38'te karbon elyaf, karbon siyahı ve bakır tozu dolgularının polimer matrisi ile arasında etkileşim olduğu görülmektedir.

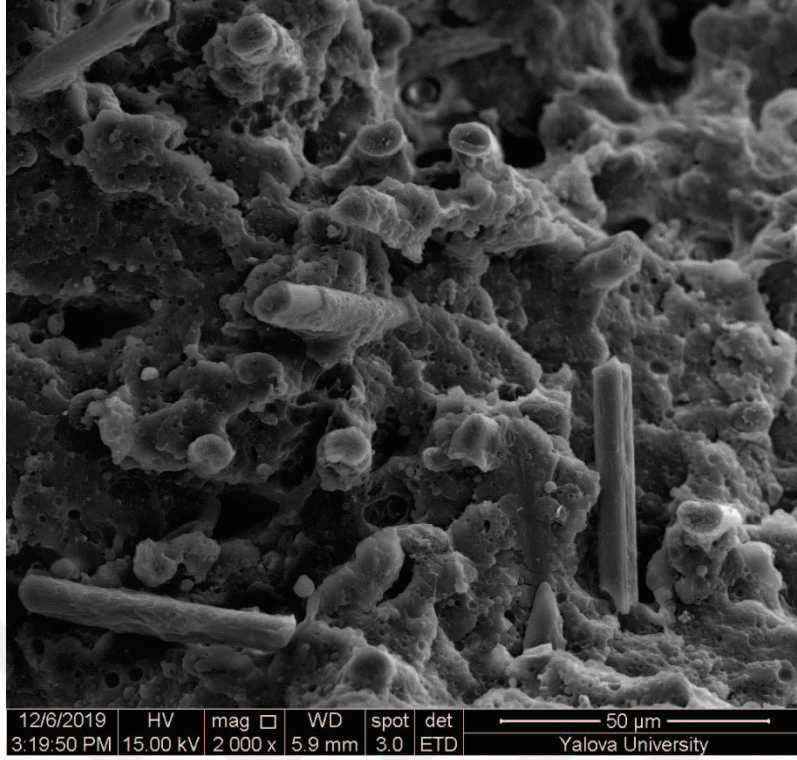
Şekil 4.39'da %10 luk karbon elyaf/karbon siyahı ve bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6'nın SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 4.39'da karbon elyafları ve karbon siyahlarının polimer matris ile etkileşim olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4'te karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlanan PA 6,6'nın ısı iletkenliği arttığı görülmüştür. Şekil 4.39'da görüldüğü gibi karbon elyafları, karbon siyahları ve bakır tozlarının homojen dağılımı bu durumu desteklemektedir.



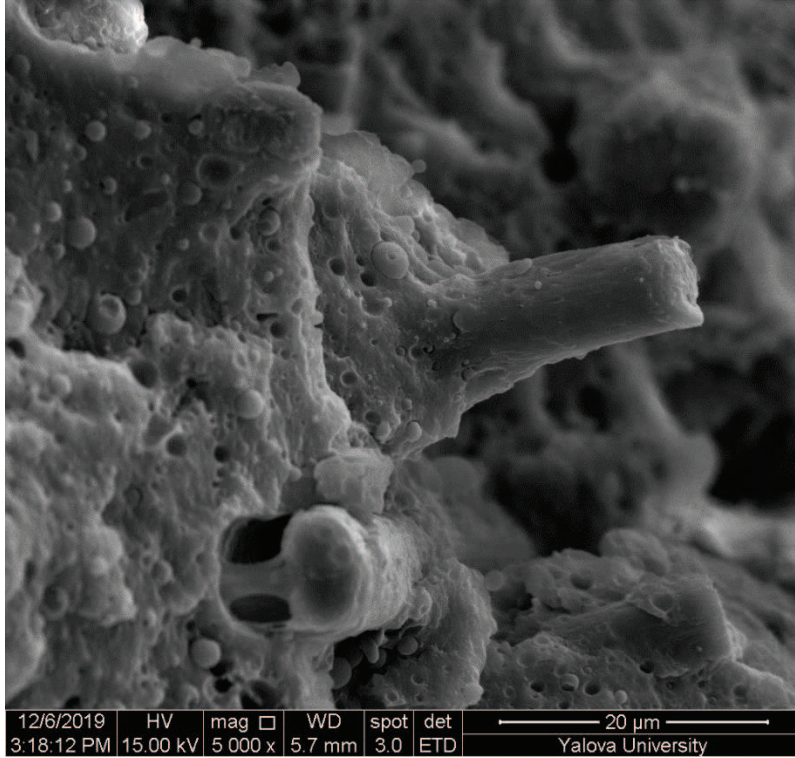
a) x500



b) x1000

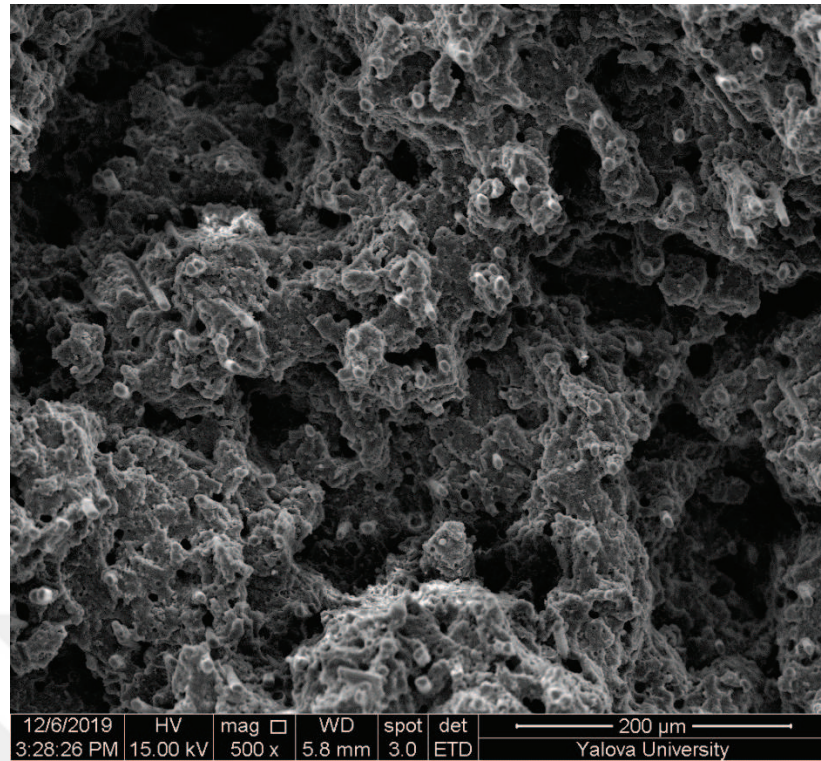


c) x2000

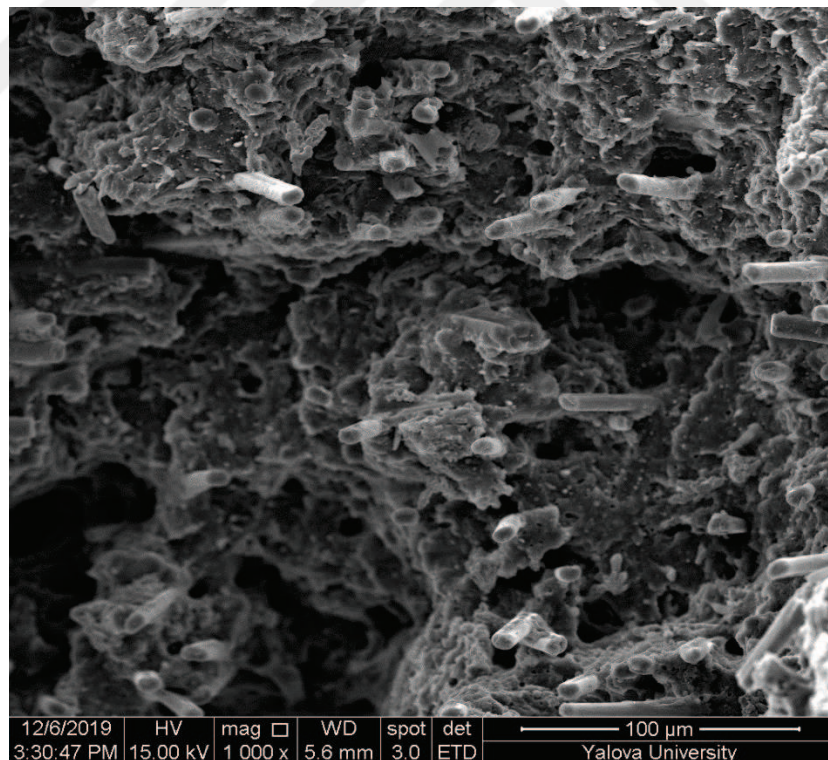


d) x5000

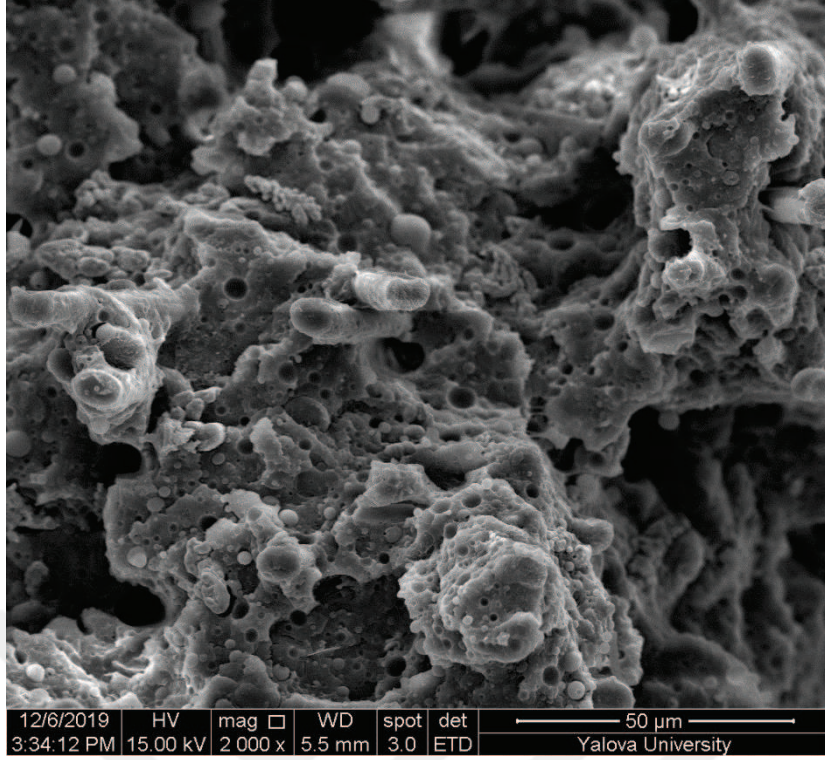
Şekil 4.37 %4 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlana PA 6,6 (PA66CF/CB/B4) numunesine ait SEM görüntüleri



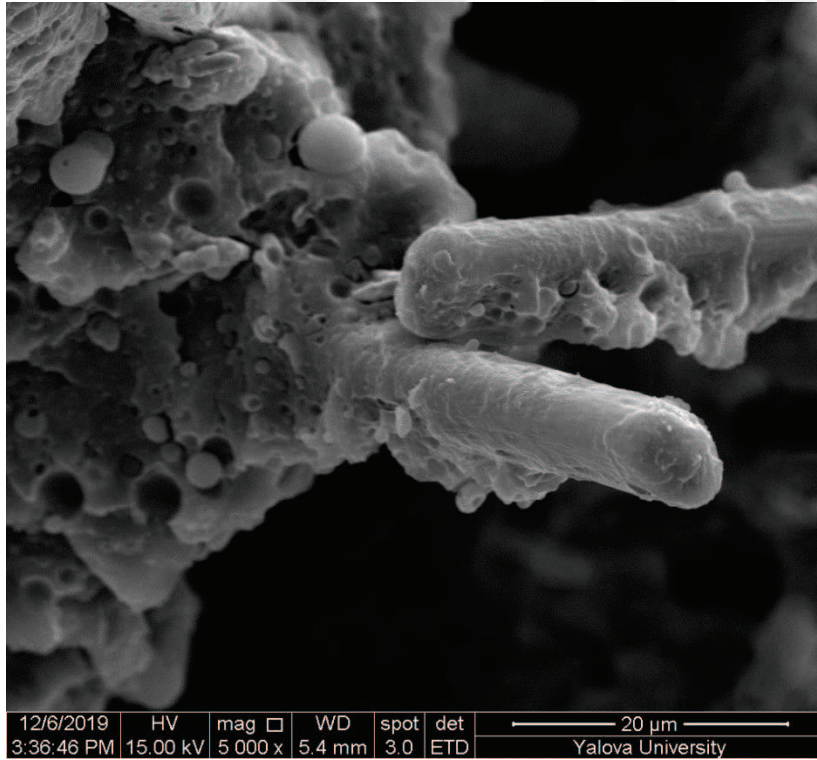
a) x200



b) x1000

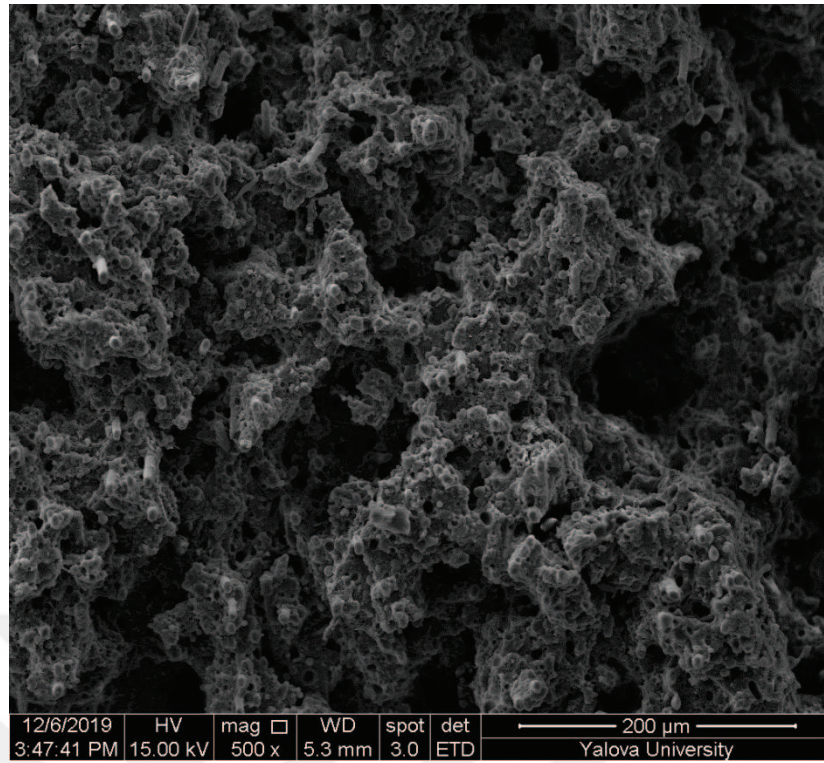


c) x2000

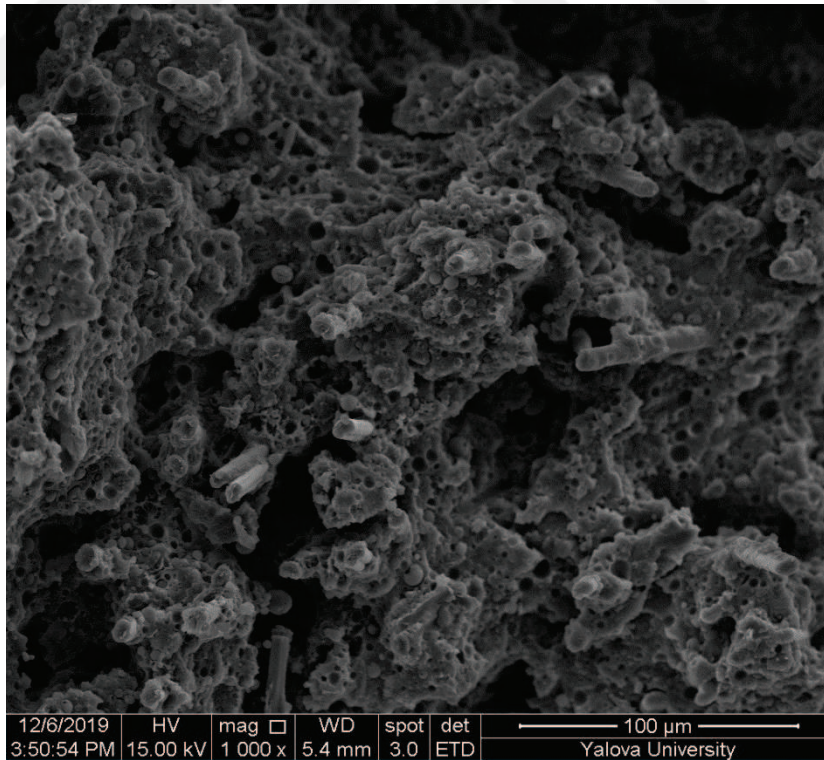


d) x5000

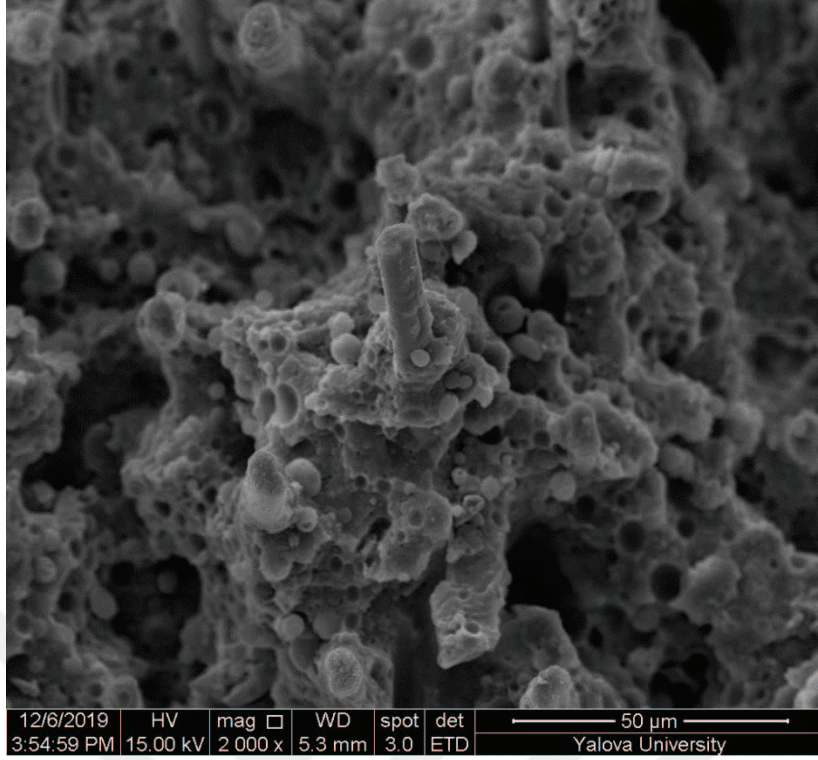
Şekil 4.38 %7 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlana PA 6,6 (PA66CF/CB/B7) numunesine ait SEM görüntüleri



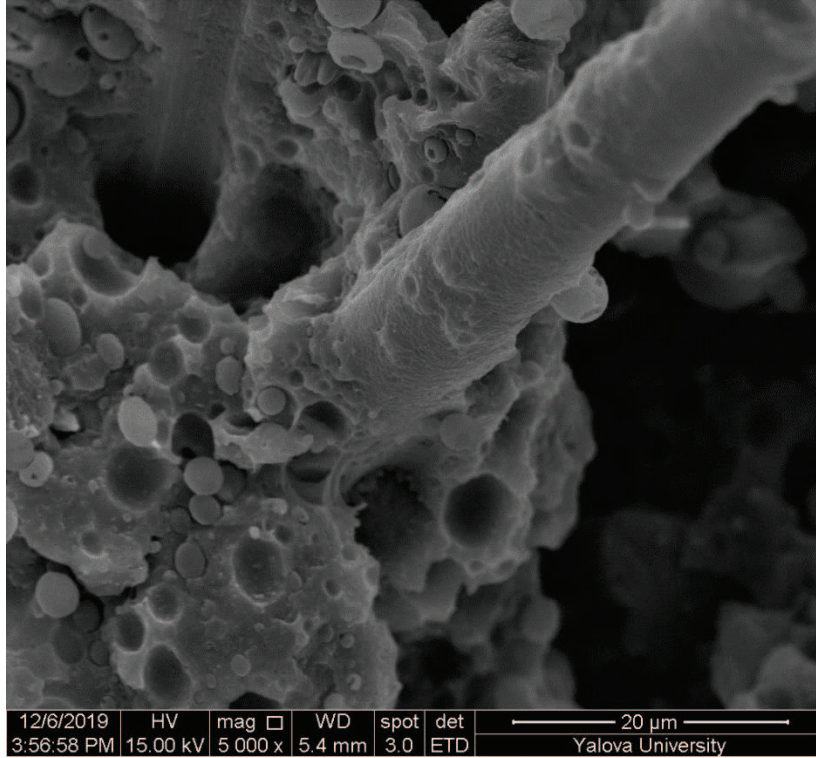
a) x500



b) x1000



c) x2000



d) x5000

Şekil 4.39 % 10 karbon elyaf/karbon siyahı/bakır tozu ilavesi ile hazırlana PA 6,6 (PA66CF/CB/B10) numunesine ait SEM görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada matris malzemesi olarak PA 6,6, dolgu malzemeleri olarak karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozu ve bunların birlikte kombinlenmesiyle elde edilen numunelerin mekanik, ısı ve iletkenlik özelliklerinde meydana gelen değişim deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibi listelenebilir.

1. Karbon elyaf ilavesi çekme mukavemetini artırırken, bakır tozu ilavesi çekme mukavemetini düşürmüştür. Karbon siyahı ilavesi ile referans numuneye göre daha düşük çekme mukavemeti elde edilmiştir.
2. Karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozunun birlikte kullanıldığı üçlü kombinasyonda ise çekme mukavemeti değeri bakır tozundan ve karbon siyahından daha yüksek, karbon elyafından daha düşük olarak tespit edilmiştir.
3. Genel olarak yapı içerisinde katkı miktarının artması elastisite modülünü yükseltmiştir. En yüksek elastisite modülü değeri karbon elyaf oranının %30 olduğu PA66CF30 kodlu numunede olduğu sonucuna varılmıştır.
4. Karbon elyaf ilavesi darbe mukavemetini artırırken, bakır tozu ilavesi darbe mukavemetini düşürmüştür. Karbon siyahı ilavesi ile referans numuneye göre daha düşük darbe mukavemeti sonucu elde edilmiştir.
5. Karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozunun birlikte kullanıldığı üçlü kombinasyonda ise darbe mukavemet değerinin bakır tozundan daha yüksek, karbon elyafından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
6. Referans numuneye göre ayrı ayrı ilave edilen karbon elyaf, bakır tozu, karbon siyahı ve karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozunun birlikte kullanıldığı üçlü kombinasyon ile kristalizasyon yüzdesi artmıştır. Literatürden kristallik arttıkça ısı iletkenliğinin arttığı bilinmektedir [33]. Isı iletkenlik sonuçları da budurumu desteklemiştir. Referans numuneye göre ilave edilen dolgular erime sıcaklığını artırmıştır.
7. Karbon elyaf ve bakır tozu ilavesi ısı iletkenliği artırmıştır. Karbon elyaf ve bakır tozunun ısı iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında en yüksek ısı iletkenlik PA66CF30 kodlu numunede 0,65 W/mK olarak elde edilmiştir.

8. Karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozunun birlikte kullanıldığı üçlü kombinasyonun ısı iletkenlik değeri karbon elyaf ve bakır tozundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm ısı iletkenlik sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek ısı iletkenlik değeri 0.72 W/mK olarak PA66CF/CB/B10 kodlu numunede elde edilmiştir.
9. SEM fotoğrafları incelendiğinde, karbon elyaflarının matris ile iyi etkileşim sağladığı ve mukavemet değerlerinin artırdığı görülmüştür. Bakır tozlu numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise bakır tozu ilavesinin topaklanmaya sebep olarak mukavemet değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.
10. Karbon elyaf, karbon siyahı, bakır tozunun birlikte kullanıldığı üçlü kombinasyonun SEM görüntüleri incelendiğinde dolguların matris içerisinde homojen dağılarak mukavemet değerlerini artırdığı görülmüştür.

Destekleyen Kişi ve Kurum Bilgisi.

Bu tez alışması Yalova Üniveritesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAPKO) tarafından 2018/YL/0017 proje numarası ile desteklenmiştir. Verdikleri destek için Yalova Üniversitesi BAPKO birimine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Bu tez çalışması ayrıca POLİTEM firması tarafından desteklenmiştir. Çalışmanın uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Murat TOPSAKAL' a ve POLİTEM firmasına teşekkür ederiz.





KAYNAKLAR

- [1] Saçak, M., Polimer Teknolojisi, Gazi Kitap Evi, Ankara, Türkiye, 2005.
- [2] Smith W. F., Mazleme Bilimi ve Mühendisliği, 3.baskı, Çeviri Kınıkoğlu N., Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [3] Gür, Poliamid 66 / Sepiyolit Kompozitlerin Üretim Ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Anabilim, Şubat, 2011.
- [4] Öz E. K., Karagöz İ., Öksüz M., Poliamid 6/ Polipropilen (PA 6/PP) Karışımlarının Yapı ve Özellikleri, I. Ulusal Plastik Teknolojileri Sempozyumu, 2015, İstanbul, Türkiye.
- [5] Semiz S., Yüksek Isıl İletimli, Düşük Sürtünme Katsayılı Yeni Nesil Termoplastik Poliüretan, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2017.
- [6] Yuan D., Yan-Fang Gao, Zhao-Xia Guo, Jian Yu, Improved thermal conductivity of ceramic filler-filled polyamide composites by using PA6/PA66 1:1 blend as matrix, Journal of Applied Polymer Science, 134.40 (2017) 45371.
- [7] Liu T., Li J., Wang X., Deng Z., Yu X., Lu A., Yu F. and He J., Preparation and properties of thermal conductive polyamide 6,6 composites, Journal of Thermoplastic Composite, 28.1 (2015) 32-45.
- [8] Muratov D.S., Stepashkin A.A., Anshin S.M., Kuznetsov D. V., Controlling thermal conductivity of high density polyethylene filled with modified hexagonal boron nitride (hBN), Journal of Alloys and Compounds, 735 (2018) 1200-1205.
- [9] Muratov D.S., Kuznetsov D.V., Il'inykh I.A., Mazov I.N., Stepashkin A.A., Tcherdyntsev V.V., Thermal conductivity of polypropylene filled with inorganic particles, Journal of Alloys and Compounds, 586 (2013) 451-454.
- [10] Ha S.M, Kwon O.H, Oh Y.G, Kim Y.S., Lee S.G, Won J.C, Cho K.S, Kim B.B.G and Yoo Y, Thermally conductive polyamide 6/carbon filler composites based on a hybrid filler system, Science and Technology of Advanced Materials, 16.6 (2015) 065001.
- [11] Heiser J. A. and King J.A., Thermally conductive carbon filled nylon 6,6, Polymer Composites, 25.2 (2004) 186–193.
- [12] Yu S., Kim D.K., Park C., Hong S. M., Koo C.M., Thermal conductivity behavior of SiC–Nylon 6,6 and hBN–Nylon 6,6 composites, Research on Chemical Intermediates, 40.1 (2014) 33-40.
- [13] Lee S.M., Shin M.W., Jang H., Effect of carbon-nanotube length on friction and wear of polyamide 6,6 nanocomposites, Wear, South Korea, 320 (2014) 103-110.
- [14] Zhou W., Qi S., An S., Zhao H., Liu N., Thermal conductivity of boron nitride reinforce polyethylene composites, Materials Research Bulletin, Department of Applied Chemistry, School of Science, Northwestern Polytechnical University, 42.10 (2007) 1863-1873.
- [15] Chen H., Ginzburg V.V, Yang J., Yang Y., Liu W., Huang Y., Du L., Chen B., Thermal Conductivity of Polymer based Composites: Fundamentals and Applications, Progress in Polymer Science, 59 (2016) 41-85.
- [16] Raman C, Meneghetti P., Boron nitride finds new applications in thermoplastic compounds, Plastics Additives and Compounding, 10.3 (2008) 26– 31.

- [17] Ishida H, Rimdusit S., Very high thermal conductivity obtained by boron nitride-filled polybenzoxazine. *Thermochim. Acta.*, 320 (1998) 177–186.
- [18] Vadivelu M. A., Kumar R. C. and Joshi G. M., Polymer composites for thermal management: a review, *Composite Interfaces*, 23.9 (2016) 847-872.
- [19] Ahn K., Kim K., Kim M., Kim J., Fabrication of silicon carbonitride- covered boron nitride/Nylon6,6 composite for enhanced thermal conductivity by melt process, *Ceramics International*, 41.2 (2015) 2187-2195.
- [20] Cheewawuttipong W., Fuoka D., Tanoue D., Uematsu H., and Iemoto Y., Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene/ Boron Nitride Composites, *Energy procedia*, 34 (2013) 808-817.
- [21] Xu B. F., Lin Z. D., Du C. M., Lin H. B., Liang K. Y., Qiu W. P. and Yang G. L., Mechanical properties, morphology and thermal conductivity of polyamide composites filled with graphene nanoplatelets, Al₂O₃ and graphite, *Materials Research Innovations*, 19.sub1 (2015) S1-338.
- [22] Tekce H.S., Kumlutas D., and Tavman İ.H., Effect of Particle Shape on Thermal Conductivity of Copper Reinforced Polymer Composites, *Reinforced Plastics and Composites*, Dokuz Eylul University, Mechanical Engineering Department, Turkey, 2007.
- [23] Molefi J. A., Luyt A. S., Krupa I., Comparison of the influence of Cu micro- and nano-particles on the thermal properties of polyethylene/Cu composites, *eXPRESS Polymer Letters*, 2009.
- [24] Agari Y. & Uno T., Thermal Conductivity of Polmer Filled with Carbon Materials: Effect of Conductive Particle Chains on Thermal Conductivity, *Journal of Applied Polymer Science*, 30 (1984) 2225-2235.
- [25] Zhao Y.H, Zhang Y.F, Wu Z.K, Bai S.L., Synergic enhancement of thermal properties of polymer composites by graphene foam and carbon black, *Composites Part B*, 84 (2016) 52-58.
- [26] Li M., Wan Y., Gao Z., Xiong G., Wang X., Wan C., Luo H., Preparation and properties of polyamide 6 thermal conductive composites reinforced with fibers, *Materials and Design*, 51 (2013) 257-261.
- [27] Karabacak K., Düşük Sıcaklıkta Yüksek Darbe Dayanımına Sahip Cam Ve Karbon Elyaf Takviyeli İletken Polamid 6 Ve Poliamid 66 Karışımlarının Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova Üniversitesi, Eylül, 2018.
- [28] Kocatüfek U.E., Poliamid Esaslı Malzemelerde Cam Elyaf Katkısının Sıcak Plaka Kaynağı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim, Dokuz Eylül Üniversitesi, Kasım, 2013.
- [29] Karagöz İ., Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri, Doktora Tezi, Metal Eğitim Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [30] Akyüz Ö.F, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGYAY Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [31] Saylan T., PA 6 Kompozitlerinin Termal, Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Metal Eğitim Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Ekim, 2010.
- [32] Bal H., Thermal and Mechanical Properties of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics, MSc Thesis, Mechanical Engineering, Energy Program, Dokuz Eylul University, November, 2009.
- [33] Karagöz İ, İleri Polimerik Ürün Tasarımı, Yazılmış Yayınlanmamış Ders Notları, Yalova Üniversitesi, 2019.

- [34] Page I.B., Polyamides as Engineering Thermoplastic Materials, Volume 11, Number 1, Rapra Technology, United Kingdom, 2000.
- [35] Stevens M.P., Polymer Chemistry, Third edition, Oxford University Press, New York, 1999.
- [36] Dalgakıran E., Farklı Dolgu Tipleri Ve Oranları Kullanılarak Polipropilen/Poliamid/Etilen-Propilen-Dien-Monome Kompozitlerinin Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Haziran, 2018.
- [37] IHS Markit, Polyamide Elastomers, Thermoplastic, Chemical Economics Handbook, 2018.
- [38] Market Research Report (MRR), Bio- Polyamide Bio-Polyamide Market Analysis By Product (PA 6, PA 66, Specialty Polyamide) By Application, By End use (Textile, Automotive, Coating, Sports, Industrial, Electronics), And Segment Forecasts, 2018 – 2025, 2017.
- [39] Sastri V.R., Plastic in Medical Devices, Journal of William Andrew Applied Science Publishers, (2010), pp.121-173,
- [40] Tunçel K. Ş., Karbon Lif Üretimi Açısından Poliamid 66 (Naylon 66) Liflerinin Değerlendirilmesi ve Termal Stabilizasyon Aşamalarının Yerine Getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi, Ocak, 2013.
- [41] Huang C., Qian X., Yang R., Thermal conductivity of polymers and polymer nanocomposites, Materials Science & Engineering R, 2018.
- [42] Li A., Zhang C., Zhang Y.F., Thermal Conductivity of Graphene- Polymer Composites: Mechanisms, Properties and Applications, Polymers, 9.9 (2017) 437.
- [43] Han, Z. & Fina, A., Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review, Progress in Polymer Science, 36.7 (2010) 914–944.
- [44] Burger N., Laachachi A., Ferriol M., Lutz M., Toniazzi, Ruch D., Review of thermal conductivity in composites: Mechanisms, parameters and theory, Progress in Polymer Science, 61 (2016) 1- 28.
- [45] Leung S. N., Thermally conductive polymer composites and nanocomposites: Processingstructure- property relationships, Composites Part B, 2018.
- [46] Price D.M. & Jarratt M. Thermal conductivity of PTFE and PTFE composites. Thermochim Acta 2002, 2001 392-393:231–6.
- [47] Hu M, Yu D, Wei J., Thermal conductivity determination of small polymer samples by differential scanning calorimetry. Polym Test 26, (2007) 333–7.
- [48] Mark E. J., Polymer Data Handbook, University of Cincinnati, Oxford University press, 1998.
- [49] Ngo I.L. & Byon C., Thermal conductivity of particle-filled polymers// Polymer Science Book Series. No. 1: Research Advances, Practical Applications and Educational Aspects. A. MéndezVilas, A. Solano (Eds.). Badajoz, Spain: Formatex Research Center, 2016, pp. 554–565.
- [50] Dehaghani H.E & Nazempour M., Thermal Conductivity of Nanoparticles Filled Polymers, Smart Nanoparticles Technology, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Iran, 2012 .
- [51] Doğan N., Karbon Nanotüplerin Isıl Analizi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2013.

- [52] Saleem A., Frommann L., Igbal A., Mechanical, Thermal and Electrical Resistivity Properties of Thermoplastic Composites Filled with Carbon Fibers and Carbon Particles, *Journal of Polymer Research*, 14 (2007) 121-127.
- [53] Kumlutas D., Tavmana IS., Coban MT., Thermal conductivity of particle filled polyethylene composite materials. *Compos Sci Technol* 63 (2003) 113–7.
- [54] Boudenne A, Ibos L, Fois M, Majeste JC, Gehin E., Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles. *Composites A* 36 (2005) 1545–54.
- [55] Luyt A.s, Molefi J.A., Krump H., Thermal, mechanical and electrical properties of copper powder filled low-density and linear low-density polyethylene composites, *Polymer Degradation and Stability*, 91 (2005) 1629-1636.
- [56] Hong JP, Yoon SW, Hwang T, Oh JS, Hong SC, Lee Y, Nam JD., Highthermal conductivity epoxy composites with bimodal distribution, 2012.
- [57] Gündüz G., Kaygın B., Al G., Nano Kil Ve Selüloz Nanofibrillerin Poliamid 6.6'nın Termal Özellikleri Üzerinde Etkileri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2017.
- [58] Jialanella G.L., *Advances in Bonding Plastic*, The Dow Chemical Company, USA, 2010, pp 248.
- [59] Sombatsompop N.&Wood A.K., Measurement of Thermal Conductivity of Polymers using an Improved Lee's Disc Apparatus, *Polymer Testing* 16 (1997) 203-223.
- [60] Thermal Analysis Labs, Thermal Conductivity Test Report.
<http://thermalanalysislabs.com/product/tci-thermal-conductivity-analyzer/>
- [61] Medalia A.I., Heckman F.A., Morphology of Aggregates- II. Size and Shape Factors of Carbon Black Aggregates From Electron Microscopy, *Carbon*, 7 (1969) 567-568.
- [62] Xia H, Zou M., Lei Y., He J., Zhang F., Liu T., Li M., LianG D., Effects of the total content of eutectic Sn-Cu alloy and Cu particles used as conductive filler on the structure and properties of polyamide-66 composites, *Polymer Research*, 25.8 (2018) 176.
- [63] Fu S, Feng X, Lauke B, Mai Y, Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate polymer composites, *Compos Part B*, 39 (2008),933–961.
- [64] Pometon, Copper Electrolytic Powder (Not reduced),
<https://www.pometon.com/en/products/electrolytic-copper-powder/copper-electrolytic-powder-not-reduced/>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Rumeysa BEYAZ

Lisans: Polimer Mühendsiliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- [1] Beyaz R., Ekinci A., Öksüz M., Poliamid 6,6'nın Isıl İletkenliğinin Geliştirilmesinde Hegzagonal Bor Nitrürün Etkisi, Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, Aralık 24-25, 2018, İstanbul, Türkiye.
- [2] Beyaz R., Ekinci A., Karagöz İ., Öksüz M., Development of Thermal Conductivity of Polyamide 6,6 With Difference Filling Materials, IMSMATEC'19, June 21-23, 2019, Nevşehir, Türkiye.