



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KARBON FİBER, SİLİSYUM KARBÜR VE MELAMİN POLİFOSFAT
KATKILI POLİBÜTİLEN TEREFTALAT KOMPOZİTLERİN
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buse Fem YILMAZ

Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

OCAK 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KARBON FİBER, SİLİSYUM KARBÜR VE MELAMİN POLİFOSFAT
KATKILI POLİBÜTİLEN TEREFTALAT KOMPOZİTLERİN
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buse Fem YILMAZ

(22435016013)

ORCID: 0000-0001-6564-075X

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Danışman: Doç. Dr. Meral AKKOYUN KURTLU

ORCID: 0000-0002-8113-5534

OCAK 2025

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 22435016013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Buse Fem YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KARBON FİBER, SİLİSYUM KARBÜR VE MELAMİN POLİFOSFAT KATKILI POLİBÜTİLEN TEREFTALAT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Meral AKKOYUN KURTLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Y. Dilek KUT
Bursa Uludağ Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : **28 Ocak 2025**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Buse Fem YILMAZ

İmzası:

[Handwritten signature of Buse Fem YILMAZ]



Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının hazırlanmasında disiplinli çalışma anlayışı ve bilgi birikimiyle bana rehberlik eden ve sürecin her aşamasında sabırla ve özveriyle her zaman yanımda olan, öğrencisi olmaktan onur ve gurur duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Meral AKKOYUN KURTLU'ya,

Prototip üretimlerimin ve test analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için bana kapılarını açan çalışan olmaktan mutluluk duyduğum Epsan Plastik Tic. Ve San. A.Ş. yönetimine, çalışanlarına ve kıymetli AR-GE müdürümüz Ecem TURHAN'a, Bu zorlu süreçte maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim canım annem ve babama, kız kardeşime, arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2025

Buse Fem YILMAZ
(Polimer Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	20
2. KURAMSAL TEMELLER.....	22
2.1 Elektrikli Araçlar.....	22
2.1.1 Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler	23
2.1.1.1 Metaller	24
2.1.1.2 Polimerler	24
2.1.1.3 Kompozitler.....	25
2.1.2 Polimer matrisli kompozitlerin termal iletkenlik özellikleri	27
2.1.3 Polimer matrisli kompozitlerin alev geciktiricilik özellikleri	28
2.1.4 Polimer matrisli kompozitlerin mukavemet özellikleri	29
2.2 Otomotivde Kullanılan Polimer Çeşitleri.....	30
2.2.1 Polibütilen tereftalat	31
2.2.2 Poliamid 6	32
2.2.3 Poliamid 66	32
2.3 Polimer Kompozitlerde Kullanılan Katkılar	33
2.3.1 Karbon elyaf.....	33
2.3.2 Silikon karbür.....	34
2.3.3 Melamin polifosfat	34
2.3.4 Kullanılan diğer katkıları	35
2.4 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	36
2.4.1 Ekstrüzyon	36
2.4.2 Enjeksiyon kalıplama	37
2.4.3 Basma transfer kalıplama.....	38
2.4.4 Pultrüzyon prosesi	38
3. LİTERATÜR ÖZETİ	40
3.1 Karbon Elyaf/Silikon Karbür Kompozitleri	40
3.2 Polimer/Melamin Polifosfat Kompozitleri	40
3.3 Literatürde Yapılan Çalışmalar	41
4. MALZEME VE YÖNTEM	46
4.1 Malzemeler.....	46
4.2 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	49
4.2.1 Ekstrüzyon yöntemi ile PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin üretimi	49

4.2.2 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile plakaların üretimi	50
4.3 Karakterizasyon Yöntemleri	53
4.3.1 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin DSC analizi	53
4.3.2 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin FTIR spektrumları	53
4.3.3 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin termal iletkenlik özellikleri	54
4.3.4 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin mekanik özellikleri	54
4.3.5 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin mikroyapı analizi	55
4.3.6 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin yoğunluk değerleri	55
4.3.7 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin darbe dayanımları	56
4.3.8 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin ısı bozulma sıcaklık değerleri	56
4.3.9 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin alev geciktiricilik değerleri	57
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
5.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Sonuçları	58
5.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi Sonuçları	60
5.3 Yoğunluk Analiz Sonuçları	62
5.4 Mikroyapı Analiz Sonuçları	63
5.5 Mekanik Özelliklerin Analiz Sonuçları	66
5.6 Termal İletkenlik Özelliklerinin Analiz Sonuçları	67
5.7 Isıl Bozunma Sıcaklıkları	69
5.8 Darbe Dayanımı Test Sonuçları	70
5.9 UL94 Alev Geciktiricilik Sonuçları	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Ag	: Gümüş
AIN	: Alüminyum Nitrür
Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
B₄C	: Bor Karbür
BeO	: Berilyum Oksit
BMW	: Bavyera Motor Fabrikaları
BN	: Bor Nitrür
CbN	: Kübik Bor Nitrür
CF	: Karbon Fiber
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
CNT	: Karbon Nanotüp
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Altın
DSC	: Differansiyel Tarama Kalorimetrisi
EP	: Epoksi
Fe₂O₃	: Demir (III) Oksit
FRP	: Lif Takviyeli Polimer
FTIR	: Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi
GF	: Cam Elyaf
GNP	: Grafit Nanoplakalar
Gr	: Grafen
HB	: Yatay Yanma
HDT	: Isı Değişim Sıcaklığı
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MgO	: Magnezyum Oksit
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
MPP	: Melamin Polifosfat

MWCNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler
NH₃	: Amonyak
PA	: Poliamid
PA6	: Poliamid 6
PA6.6	: Poliamid 6.6
PAN	: Peroksiasetil Nitrat
PBT	: Polibütilen Tereftalat
PC/ABS	: Polikarbonat/Akrilonitril Bütadien Stiren
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PHRR	: Tepe Isı Salınım Hızı
PI	: Polimid
pk-HRR	: Düşük Isı Salınım Hızı
PMC	: Polimer Matris Kompozitleri
PP	: Polipropilen
PPMA	: Maleikanhidratla Aşılınmış Polipropilen
PU	: Poliüretan
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu
Si	: Silikon
Si₃N₄	: Silikon Nitrit
SiC	: Silikon Karbür
Tg	: Camsı Geçiş Sıcaklığı
THR	: Toplam Isı Salınımı
TiB	: Titanyum Borür
TiC	: Titanyum Karbür
TiN	: Kalay
TPE	: Termoplastik Elastomer
TSR	: Toplam Duman Salınımı
UL94	: Underwriters Laboratuvarları 94
UV	: Ultraviyole
V0	: Dikey Yanma sınıfı 0
V1	: Dikey Yanma sınıfı 1
V2	: Dikey Yanma sınıfı 2
ZnO	: Çinko Oksit

SEMBOLLER

%	: Yüzde
W/m.K	: Watt/metre-Kelvin
°C	: Santigrat Derece
°F	: Santigrat Fahrenheit
µm	: Mikrometre
g/cm³	: Gram/Santimetre küp
K/dk.	: Kelvin/Dakika
MPa	: Mega Paskal
RH	: Görelî Nem
T_m	: Erime Sıcaklığı
T_c	: Kristalizasyon Sıcaklığı
ΔH_m	: Erime Entalpi Değişimi
ΔH°_m	: %100 Kristalin Malzemenin Erime Entalpi Değişimi
χ_c	: Kristalinite Oranı
cm⁻¹	: 1/Santimetre
IV	: İçsel Viskozite
L/D	: Vida uzunluğu/Vida çapı
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
Rpm	: Devir Sayısı
Kg/saat	: Kilogram/Saat
Pa	: Paskal
m/s	: Metre/Saniye
sn	: Saniye
mm/dk	: Milimetre/Dakika
kN	: Kilo Newton
kJ/m²	: Kilojoule/Metre kare
gr	: Gram
kPa	: Kilopaskal
Hz	: Hertz

ω : Malzemenin ağırlıkça oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Isıl iletken polimerler ve polimer kompozitler.....	28
Çizelge 3.1: CF, SiC ve CF/SiC kompozitlerin özellikleri [33].....	40
Çizelge 3.2: Melamin polifosfat kompozitlerin UL94 özellikleri [34].....	41
Çizelge 4.1: EPIMIX PBT NC'nin mekanik ve termal özellikleri.....	46
Çizelge 4.2: PBT'nin erime ve kristalizasyon entalpi değerleri.....	47
Çizelge 4.3: Silikon karbür'ün yapısal özellikleri.....	48
Çizelge 4.4: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin formülasyonları.....	48
Çizelge 4.5: Ekstrüzyon prosesindeki bölge sıcaklıkları.....	49
Çizelge 4.6: Ekstrüzyon prosesinde kullanılan hız ve devir değerleri.....	49
Çizelge 4.7: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan sıcaklıklar.....	50
Çizelge 4.8: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan parametreler.....	50
Çizelge 4.9: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan kalıp parametreleri.....	51
Çizelge 5.1: PBT/CF/SiC kompozitlerin erime ve kristalizasyon değerleri.....	59
Çizelge 5.2: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin erime ve kristalizasyon değerleri.....	60
Çizelge 5.3: PBT kompozitlerin yoğunluk değerleri.....	63
Çizelge 5.4: PBT kompozitlerin mekanik test sonuçları.....	67
Çizelge 5.5: PBT/CF/SiC kompozitlerin ısı iletkenlik katsayıları.....	68
Çizelge 5.6: PBT kompozitlerin ısı bozunma sıcaklıkları.....	69
Çizelge 5.7: PBT kompozitlerinin izod darbe dayanım değerleri.....	70
Çizelge 5.8: PBT kompozitlerin UL94 testi sonuçları.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Elektrikli aracı oluşturan hareket sisteminin temel elemanları [7].	22
Şekil 2.2: PBT'nin kimyasal yapısı [19].	31
Şekil 2.3: PA6'nın kimyasal yapısı [20].	32
Şekil 2.4: Poliamid 6.6'nın kimyasal yapısı [22].	33
Şekil 2.5: Silikon karbürün kimyasal yapısı [25].	34
Şekil 2.6: Melamin polifosfatın kimyasal yapısı [19].	35
Şekil 2.7: Ekstrüzyon yönteminin şematik görseli [31].	37
Şekil 2.8: Plastik enjeksiyon yöntemi [32].	38
Şekil 4.1: PBT'nin DSC termogramı.	47
Şekil 4.2: PBT'nin FTIR spektrumu.	48
Şekil 4.3: PBT hibrit kompozitlerin granül görselleri.	50
Şekil 4.4: PBT a) Çekme, b) Darbe, c) Isıl iletkenlik, d) UL94.	51
Şekil 4.5: PBT/CF30/SiC10 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	52
Şekil 4.6: PBT/CF20/SiC20 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	52
Şekil 4.7: PBT/CF10/SiC30 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	52
Şekil 4.8: PBT/CF10/SiC30/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	52
Şekil 4.9: PBT/CF20/SiC20/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	52
Şekil 4.10: PBT/CF10/SiC30/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.	53
Şekil 4.11: Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı.	53
Şekil 4.12: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi cihazı.	54
Şekil 4.13: Termal iletkenlik cihazı.	54
Şekil 4.14: Çekme cihazı.	55
Şekil 4.15: Taramalı elektron mikroskobu.	55
Şekil 4.16: Hassas terazi.	56
Şekil 4.17: Darbe testi cihazı.	56
Şekil 4.18: Isıl bozulma sıcaklığı testi cihazı.	57
Şekil 4.19: UL94 test cihazı.	57
Şekil 5.1: PBT/CF/SiC kompozitlerinin DSC termogramları.	59
Şekil 5.2: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin DSC termogramları.	59
Şekil 5.3: PBT ve PBT/CF/SiC kompozitlerin FTIR spektrumları.	60
Şekil 5.4: PBT ve PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin FTIR spektrumları.	61
Şekil 5.5: PBT/CF/SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri.	62
Şekil 5.6: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin yoğunluk değerleri.	63
Şekil 5.7: PBT/CF10/SiC30 kompozitin mikroyapı görüntüleri.	64
Şekil 5.8: PBT kompozitlerin HDT/A ve HDT/B değerleri.	70
Şekil 5.9: PBT kompozitlerin Çentikli izod darbe dayanımları.	71

KARBON FİBER, SİLİSYUM KARBÜR VE MELAMİN POLİFOSFAT KATKILI POLİBÜTİLEN TEREFTALAT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Polibütillen tereftalat (PBT), iyi mekanik, termal ve düşük nem emilimi gibi özellikler sergileyen termoplastik bir malzemedir. Polibütillen tereftalat (PBT) bazlı malzemeler, araç kablo bağlantı kutuları, motor muhafazaları, kaput altı bileşenleri ve daha pek çok zorlu uygulama alanlarında mühendislik plastikleri olarak önemli bir rol oynar.

Son yıllarda, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte araç içinde kullanılan ekipmanların yüksek performansa sahip olması beklenmektedir. Polimerlere eklenen çeşitli katkılar malzemenin ısı ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Polimer kompozitlerin termal olarak iletken olması, özellikle elektronik ürünlerdeki termal sorunları yönetmek için son on yılda giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu malzemeler, elektronik bileşenlerin sıcaklık düzenlemesini iyileştirmek, ısıyı verimli bir şekilde iletme ve dağıtma için geliştirilmiştir. Bu polimerler, elektronik bileşenlerin sıcaklık kontrolünü optimize etmek, ısıyı etkili bir şekilde iletme ve dağıtma için tasarlanmıştır. Hafif yapıları ve esnek olmaları, farklı cihazlara uyum sağlama yeteneğine sahip olmaları ile bilinmektedirler.

Bu araştırmanın amacı, üç farklı katkı maddesi kullanarak (karbon fiber (CF), silisyum karbür (SiC) ve melamin polifosfat (MPP)) ve çeşitli CF ve SiC oranları (ağ. %10, %20 ve %30) ile sabit bir MPP oranında (ağ. %17) polimer kompozit üretimi gerçekleştirmektir. Ayrıca, farklı katkı oranlarının elde edilen polibütillen tereftalat bazlı kompozitlerin fiziksel, mekanik, termal ve mikroyapı özellikleri üzerindeki etkisini araştırılacaktır. Elde edilen kompozitlerin özellikle elektrikli araçlarda kullanılabilecek hafif ve yüksek performanslı malzeme alternatifi olması hedeflenmiştir.

Çalışmada ilk olarak PBT hibrit kompozitler, bir ekstrüderde eriyik karıştırma işlemiyle üretilmiştir. Üretilen örnekler uygulanacak testlerin kontrolü için test plakaları enjeksiyon makinesinde basılmıştır ve elde edilen bu test plakalarının morfolojik, mekanik ve termal özellikleri değerlendirilmiştir.

Mekanik test sonuçları, CF ve MPP eklenerek çekme dayanımının artırıldığını göstermektedir. CF ve MPP'nin birlikte kullanılmasının temel rolü mekanik özellikleri iyileştirmesidir ve bu çalışmada bu amaca ulaşılmıştır. SiC parçacıkları ile ilgili olarak, SiC içeriğinin artmasıyla çekme dayanımında bir azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, kompozitlerin kopmadaki uzama değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Ancak, karbon fiber (CF) ile ters bir etki görülmektedir. Çeşitli katkı (CF ve SiC) oranlarında hazırlanan PBT/SiC/CF/MPP kompozitlerinin taramalı elektron mikroskobu görüntülerinin analizi, aglomerasyonların varlığının olmaksızın PBT matrisinde katkı maddelerinin homojen bir şekilde dağıldığını göstermiştir.

Özetle, her katkı maddesinin farklı bir etkisi olduğundan dolayı, çeşitli katkı maddelerinin kullanımı PBT kompozitlerinin nihai mekanik özelliklerinin düzenlenmesinde esastır.

Anahtar kelimeler: Polibütilen tereftalat kompozitler, Karbon fiber, Silikon karbür, Melamin polifosfat.



INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF CARBON FIBER, SILICON CARBIDE AND MELAMINE POLYPHOSHPATE REINFORCED POLYBUTYLENE TEREPHTHALATE POLYMER COMPOSITES

SUMMARY

Polybutylene terephthalate (PBT) is a thermoplastic material that exhibits good mechanical, thermal, and low moisture absorption properties. Polybutylene terephthalate (PBT) based materials play an important role in engineering plastics in many demanding application areas such as vehicle wiring boxes, engine enclosures, under-hood components and more.

In recent years, with the advancement of technology, the equipment used in vehicles is expected to have high performance. Various additives added to the polymers significantly increase the thermal and mechanical properties of the material. Making polymer composites thermally conductive has become increasingly important over the last decade, especially to manage thermal issues in electronic products. These polymers are designed to optimize the temperature control of electronic components, conduct and distribute heat effectively. They are known for their lightweight structure and flexibility, and their ability to adapt to different devices.

The goal of this research is to investigate the effects of different additives (carbon fiber (CF), silicon carbide (SiC) and melamine polyphosphate (MPP)) on the physical, mechanical and thermal microstructure properties of polybutylene terephthalate materials at various CF and SiC contents (10 wt.%, 20 wt.% and 30 wt.%) and a fixed MP content (17 wt.%). The composites obtained are aimed to be a lightweight and high-performance material alternative that can be used especially in electric vehicles.

In this study, PBT hybrid composites were first produced by melting mixing using an extruder. To control the tests to be applied to the produced samples, the test plates were obtained with an injection molding machine, and the morphological, mechanical and thermal properties of these test plates were evaluated. The mechanical test results showed that the tensile strength was increased by adding CF and MPP. The main role of the combined use of CF and MPP was to improve the mechanical properties. Regarding the SiC particles, a decrease in tensile strength was detected with the increase in the SiC content. Moreover, the elongation at break values of the composites increased. However, the opposite effect was observed with carbon fiber (CF). The analysis of scanning electron microscope images of PBT/SiC/CF/MPP composites prepared with various additive ratios showed that the fillers were distributed homogeneously in the PBT matrix without the presence of agglomerations.

In summary, since each filler has a different effect, the use of various additives is essential in tailoring the final mechanical properties of PBT composites.

Keywords: Polybutylene terephthalate composites, Carbon fiber, Silicon carbide, Melamine polyphosphate.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrikli araçlar, elektrikli bisikletler ve elektrikli arabalar önemli ölçüde gelişmektedir [1]. Gelişen teknoloji ile birlikte araç içinde kullanılan ekipmanların yüksek performansa sahip olması beklenmektedir. Örneğin; küçük bir entegre alanda kolaylıkla montaj edilebilme, hafiflik, süper ısı iletkenliği ve alev geciktirici özelliklere sahip olması gereken mühendislik malzemelerine yönelik gereksinimleri arttırmıştır [2].

Termal olarak iletken polimerik kompozit malzemeler, özellikle elektronik cihazların termal yönetiminde önem kazanmıştır. Bu malzemeler, elektronik bileşenlerin sıcaklık kontrolünü optimize etmek, ısıyı etkili bir şekilde iletme ve dağıtmak için tasarlanmıştır. Hafif yapıları ve esnek olmaları, farklı cihazlara uyum sağlama yeteneğine sahip olmaları ile dikkat çekmektedirler. Özellikle yüksek performanslı elektronik cihazlarda ısının etkili bir şekilde kontrol edilmesinde kilit bir rol oynarlar, cihazların performansını artırır, güvenilirliğini sağlar ve ömrünü uzatır [1-2].

Polibütilen tereftalat, geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesine sahip olan bir polimer malzemedir. Özellikle otomotiv, elektrik, elektronik ve tıbbi endüstrilerde ticari öneme sahiptir. PBT'nin çeşitli avantajları, malzemenin geniş kullanım alanlarına yayılmasını sağlamıştır. PBT, kısa vadeli mekanik özellikler açısından mükemmel bir performans sergiler. Ancak, PBT'nin termal olarak yalıtkan olması, termal iletkenliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanımını sınırlamaktadır.

Polimerlere eklenen çeşitli katkılar ısı iletkenliği, alev geciktiriciliği ve mekanik mukavemet değerlerini önemli ölçüde artırır. Bu bağlamda nitelikli uygulamalar için gerekli spesifikasyonları sağlayabilirler [3]. Karbon fiberler, bakır, gümüş ve alüminyum gibi katkılar genellikle polimerlerdeki termal iletkenliği arttırmak için kullanılırlar. Bunun yanı sıra elektriksel olarak yalıtkan, termal olarak iletken plastiklere yönelik artan bir talep vardır. Alüminyum oksit (Al_2O_3), alüminyum nitrür (AlN), bor nitrür (BN), bor karbür (B_4C) ve silisyum karbür gibi dolgular genellikle polimerlere farklı türdeki işleme yoluyla eklenir [1].

Melamin polifosfat (MPP), etkili bir P-N alev geciktirici olarak bilinir ve özellikle poliamid ve poliesterlerde etkili bir halojen içermeyen alev geciktirici olarak başarıyla kullanılmaktadır [4]. Bu bileşik, yangın güvenliği standartlarını karşılamak ve malzemelerin yangınla mücadele yeteneklerini artırmak için polimer tabanlı malzemelere eklenir. Bu çabalar, özellikle endüstriyel ve elektronik uygulamalarda termal iletkenlik özelliğinin önemli olduğu durumlarda PBT'nin performansını optimize etmek adına gelecekteki potansiyel gelişimlere ışık tutabilir [5].

1.1 Tezin Amacı, Kapsamı ve Hedefleri

Günümüzde malzemelerin termal iletkenliği ve alev geciktiriciliği, birçok endüstriyel uygulama için kritik öneme sahiptir. Literatür incelendiğinde silisyum karbür, karbon fiber ve melamin polifosfat katkılı PBT kompozitlerin ısı iletkenliği ve alev geciktiriciliği üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

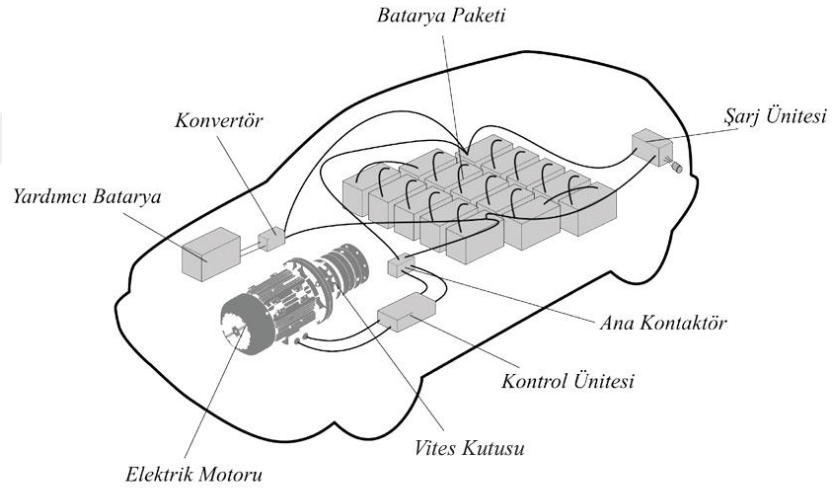
Bu çalışmanın ana hedefi, PBT malzemesine karbon fiber ve silisyum karbür katkılarının eklenmesinin, malzemenin ısı iletkenlik performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Bu anlamda, malzemenin termal iletkenliğini optimize ederek ısı transferini artırma kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Diğer bir yünden, karbon fiber ve silisyum karbür katkılarının PBT malzemesinin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyecektir. Mukavemet, tokluk ve dayanıklılık gibi mekanik özelliklerin değerlendirilmesi, malzemenin genel performansının anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

İlaveten, bu çalışmada melamin polifosfat katkısının eklenmesiyle birlikte, PBT malzemesinin alev geciktirici özelliklerinin ne yönde etkilendiği araştırılması hedeflenmektedir. Bu sayede, malzemenin yangın güvenliği açısından önemli olan alev geciktirici performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Karbon fiber, silisyum karbür ve melamin polifosfat katkılarının bir arada kullanılmasının malzemenin genel özellikleri üzerindeki sinerjistik etkileri değerlendirilecektir. Bu durum, katkılarının farklı oranlarda kombinasyonunun malzemenin performansına olan etkilerinin belirlenmesinde yol gösterici olacaktır. Elde edilen bulgular, endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin optimize edilmesi ve çeşitli gereksinimleri karşılayacak daha gelişmiş kompozit yapıların tasarımına yol açması öngörülmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçların tarihi 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Tarihteki ilk elektrikli aracı, 1835 yılında ABD’li Thomas Davenport üretmiştir [6]. Elektrikli araçlar, fosil yakıtların giderek azalması ve artan yakıt fiyatları nedeniyle alternatif bir ulaşım aracı olarak sunulmaktadır. Bunun yanı sıra toplumda çevre bilincinin artmasıyla birlikte temiz hava salınımı ve küresel ısınma gibi insanların hayatını etkileyen birçok etken nedeniyle bu araçlar giderek daha popüler hale gelmektedir. Şekil 2.1’de elektrikli aracı oluşturan hareket sisteminin temel elemanları yer almaktadır.



Şekil 2.1: Elektrikli aracı oluşturan hareket sisteminin temel elemanları [7].

Elektrikli araçlar üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır: tamamen elektrikli araçlar, hibrit araçlar ve benzinli araçlar. Tamamen elektrikli bir aracı, büyük bir batarya paketi ve bir elektrik motoru oluşturur. Elektrikli otomobiller, aküden elde edilen enerjiyi kullanarak elektrik motorunu çalıştırabilmesi ve yeni frenler sayesinde aküyü şarj edebilmesi gibi avantajlara sahip olsa da hibrit araçlara göre daha ağır akülerin kullanılması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında menzili daha yüksektir ve kendini tamamen amorti etmesi uzun zaman almaktadır. Elektrikli

araçlarda kullanılan bataryaların kapasitesini ve sayısını optimize etmek, aracı hafifleterek menzilini arttırmaktadır.

Araştırmalar sonucu, araç ağırlığında %10'luk bir azalma olduğunda %3-%7 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir [6-7].

Hibrit bir otomobil küçük bir akü, bir elektrik motoru, bir yanmalı motor ve bir yakıt deposundan oluşmaktadır. Hibrit araçlar, elektrik motoru ve içten yanmalı motora sahip olmaları nedeniyle performansta önemli bir artış ve emisyonlarda önemli bir azalma göstermektedirler. Fakat elektrik motoru kullanılarak kat edilebilecek mesafe nitekim daha sınırlıdır.

Benzinli araçlarda enerji, hava ve yakıtın elektrik akımından elektrik üreten hücre sistemi aracılığıyla elde edilmektedir. Bu hücre genellikle bir anot, bir katot ve bir elektrolitten oluşur. Hücreli araçlar, elektrik motorunun ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağladıklarından elektrikli araç kategorisine girmektedirler. Benzinli araçlar bir hücre, bir akü, bir elektrik motoru ve bir aküden oluşmaktadır. Yüksek performans, düşük emisyon, gürültüyü absorplama, hafiflik gibi avantajlara sahip olmalarına rağmen yüksek maliyetler ve hidrojenin üretilmesi, dağıtılması ve depolanmasındaki zorluklar gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Ülkemizde 2020 yılında önceki yıllara göre elektrikli araçlara olan talebin arttığı ve bu elektrikli araçlar arasında hibrit araçların oldukça popüler olduğu yapılan araştırmalar sonucu gözlemlenmektedir [6].

2.1.1 Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler

Otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin kolay ulaşılabilir, çevre dostu, uygun fiyatlı ve güvenli olması beklenmektedir. Bu bağlamda, malzemeler belirlenirken nitelikleri de dikkate alınmalıdır. Günümüzde otomobillerde kullanılan malzemelerin yüzde 55'inin çelik, yüzde 18'inin plastik, yüzde 7'sinin kauçuk, geri kalan kısmını ise çeşitli malzemeler oluşturmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde özellikle iki farklı odak noktası için çeşitli malzemeler geliştirilmiştir. Bu odak noktaları aracın hareket sistemi ve gövdesinin parçalarıdır. Elektrikli araçların hareket sistemleri, elektrik motoru, güç (akü) ve aktarma organlarından oluşur. Bu nedenle işletim sisteminde kullanılan donanımlar doğrudan etkilenmektedir [7].

Bu araçların gelişimiyle birlikte kullanılan ekipmanların da hızlı gelişimini gerektiriyor, çünkü boyutlar küçülürken performansında artırılması gerekiyor.

Bu sebeple, ısı dağılımı en önemli teknolojik zorluklardan biri haline geliyor. Biriken ısı, ciddi hasara yol açabilir ve bir cihazın ömrünü önemli ölçüde kısaltabilir [1].

Araç güvenliği, konfor ve çevre dikkate alınarak gövdede çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Literatürde daha önce daha hafif ve yüksek mukavemetli araçlar elde etmek için plastik ve kompozitler gibi birçok malzemeler üzerinde çalışmalar bulunmaktadır.

2.1.1.1 Metaller

Metaller, tipik bir otomobilin dörtte üçünü oluşturduğundan, verimli kullanım yoluyla ağırlığın azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Çelik, alüminyum ve magnezyum metalleri, çarpışmalarda darbe enerjisini absorplayabilme yeteneği sayesinde otomobillerin önemli bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Metalin kaliteli olması ve iyi birleştirilmiş olması onu araç tasarımında ilk tercih haline getirmiştir.

Otomobillerde yaygın olarak kullanılan metaller yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen yoğunluğu da yüksektir, dolayısıyla diğer malzemelere çok fazla malzeme aktarmaktadırlar. Ağırlığın azaltılması söz konusu olduğunda araç gövdesinde alüminyum veya magnezyum gibi metallerin kullanımı oldukça yaygındır.

Otomotiv endüstrisinde araç ağırlığını azaltmak ve küçük boyutlarına rağmen yüksek mukavemet sağlamak için çelik, döküm ve alüminyumun yerine magnezyum kullanılmaktadır [7].

2.1.1.2 Polimerler

Otomotivde kullanılan çeşitli plastikler vardır ve özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Plastikler, kolay proses edilebilme, düşük üretim maliyetleri ve çeşitli türevlerde üretilibilmelerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Uygulama alanlarına göre plastik seçimi görünüm, sertlik, dayanıklılık, ağırlık ve maliyet eksenlerine göre değerlendirilmektedir [7].

Yüksek performanslı malzemeler, modern araçların yakıt ekonomisini iyileştirmek için kritik yere sahiptir. Hafif malzemeler kullanmak, elektrikli bir aracın ağırlığını azaltarak uzun menzil olanağı ve daha iyi bir performans sağlamaktadır. Birçok

araştırmacı, otomotiv parçalarındaki ağır malzemeleri hafif malzemelerle değiştirmeye çalışmaktadır.

Hafif malzemeler arasında magnezyum, alüminyum, paslanmaz elik, titanyum ve cam ve karbon fiber takviyesi gibi polimer matris kompozitleri bulunmaktadır. Örneğin; BMW'nin Megacity itfaiye aracının yapısı karbon fiberle güçlendirilmiş plastikten (CFRP) üretilmiştir. Nihai sonuca göre pil grubu için ilave 100 kg daha alan elde edilmiştir. Polimerlerin kullanımıyla beraber elektrikli araçlardaki ağırlık, maliyet ve üretilebilirlik gibi temel faktörler iyileştirilmektedir.

2.1.1.3 Kompozitler

Kompozit malzemeler, hafiflik, spesifik modül, özel mukavemet ve korozyon direnci gibi avantajlarından dolayı otomotiv endüstrisinde büyük ilgi görmektedir. Kompozitler, metallere göre daha hafifdirler. Bu nedenle, metal bileşenler yerine şasi tasarımını seçmelerine olanak tanımaktadırlar ve otomotiv endüstrisindeki otomobil parçaların üretiminde giderek daha önemli hale gelmektedirler [9].

Günümüzde tampon, gövde ve güvenlik sistemleri birçok malzemeden yapılmaktadır. Elektrikli araçlara yönelik yeni akü çözümleri ve hidrojenli araçlara uygun yakıt depolama alanları sunarak yeni araçların geliştirilmesini desteklemektedir [10].

Kompozit malzemeler matris elemanlarına göre üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır:

- 1) Metal matrisli
- 2) Seramik matrisli
- 3) Polimer matrisli

Metal matrisli kompozit malzemeler

Magnezyum, alüminyum ve titanyum gibi malzemeler, metal matrisli kompozitlerin (MMK) matrisi olarak kullanılmaktadır. Metaller kullanılacak uygulama ve ihtiyaca göre özelliklerini iyileştirmek için çeşitli katkı malzemeleri ile takviyelendirilmektedir. Örneğin; elik matrisli bir yapıya elastik sertliği ve mukavemeti silisyum karbür gibi lifler eklenerek arttırılabilmektedir. Öte yandan yüksek değerlerdeki termal ve elektriksel iletkenlik, termal genleşme gibi değerlerini de azaltabilmektedir.

Metal matrisli kompozitler, yaygın olarak uzay ve havacılık alanında platform taşıyıcı parçalar, uzay teleskopları, uzay haberleşme cihazlarının reflektör gibi destek ekipmanlarında kullanılmaktadırlar.

Seramik matrisli kompozit malzemeler

Matrisi seramik olan kompozitlerde kullanılan en yaygın olarak SiC, Al₂O₃, Si₃N₄, B₄C, CbN, TiC, TiB, TiN, AlN kullanılmaktadır. Kullanılan bu bileşenler farklı türevde bulunabilir hatta istenen niteliğe göre tek veya birkaçı birlikte kullanılabilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri birimlerin ve uzay gemilerinin gövdeleri bu seramik matrisli kompozitlerin en çok kullanıldıkları alanlardır.

Seramik ve metal matrisli kompozitler sahip oldukları yüksek mukavemet, ısıya karşı direnç gibi avantajlara sahip olsa da en çok tercih edilen malzemeler polimer matrisli kompozitlerdir.

Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemelerin yaygınlaşmasının başlıca nedenleri kullanım avantajları olmaktadır. Bu kompozit yapılar, uygulama alanına bağlı olarak mukavemet, esneklik, hafiflik, darbe dayanımı, dayanıklılık ve benzeri avantajlar gibi önemli avantajlar sunmaktadır [8].

Polimer matrisli kompozitler, takviye elemanlarına göre iki sınıfta incelenebilirler.

- 1) Elyaf takviyeli
- 2) Parçacık takviyeli

Elyaf takviyeli kompozitler, kompozit malzemeler arasında en yaygın kullanılan çeşitlerden biridir. Bu özel malzemelerde en çok tercih edilen takviye dolgusu cam elyafıdır. Takviye dolgusu olarak nitelendirilen bu lifler, kısa kesilmiş parçalar, dokuma kumaş ve uzun gibi farklı şekillerde kullanılabilir ve her bir form, malzemenin özelliklerinde farklı sonuçlar doğurmaktadır. Kompozitlerin performansı, liflerin matristeki oryantasyonuna ve nasıl yerleştiğine bağlı olarak değişmektedir.

Polimer matrisli kompozitlerde matris termoset veya termoplastik formunda olabilir. Plastik reçineler en fazla kullanılan polimer matris malzemelerindendir. Poliester fiyat açısından daha ucuz olduğu için ilk sırayı almaktadır. Lif takviyeli kompozitlerde bileşenlerin boyutları farklıdır ve bu nedenle özellik olarak birbirinden ayrılabilirler.

Parçacık takviyeli kompozitler; Polimer matris içerisinde farklı bir malzemenin parçacıklar halinde bulunduğu kompozitlere parçacık takviyeli kompozitler denilmektedir. Katkı maddeleri fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmek için yaygın olarak kullanılsa dahi çoğu zaman yalnızca maliyetleri azaltmak için kullanılmaktadır. Kompozit yapının performansını etkileyen birçok farklı etken vardır. Bunlar arasında katkının boyutu, hacmi, yüzey enerjisi, düzgün dağılıp dağılmadığı, hacimsel parametreler ve eksen oranı şekli yer almaktadır [11].

2.1.2 Polimer matrisli kompozitlerin termal iletkenlik zellikleri

Polimer matrisli kompozitler, sahip oldukları, mkemmekorozyon direnci, hafiflik ve düşük maliyet v.b avantajları sayesinde endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, polimerlerin ve polimer kompozitlerin düşük termal iletkenlik değerleri, hızlı ısı dağılımını gerektiren alanlarda uygulama alanlarını ciddi şekilde kısıtlamaktadır.

Geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, araştırmacılar yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip polimer kompozitleri tasarlamak için çeşitli araştırmalar yürütmektedir. Bu araştırmalar özellikle, termal olarak iletken yeni katkı maddeleri aramak ve polimer matrisi ile termal olarak iletken katkı maddeleri arasındaki arayüz etkileşimini geliştirmek üzerine yapılmaktadır [12].

Polimerlerin termal iletkenliği genellikle düşüktür ve değer olarak bakıldığında 0.1-0.5 W/m.K aralığındadır. Bu problem, iyi termal iletkenliğe sahip plastik kompozitlerle çözülebilmektedir. Termal iletkenliği artırmak için genellikle kullanılan katkı maddeleri arasında karbon elyaflar veya bakır, gümüş ve alüminyum türevli alüminyum oksit (Al_2O_3), alüminyum nitrür (AlN), bor nitrür (BN), bor karbür (B_4C) ve silisyum karbür gibi seramik katkılar bulunur. Genellikle termal iletkenliği artırmak için tek bir seramik katkı maddesi kullanmak yerine, hibrit dolgular halinde polimer kompozitlerine dahil edilirler.

Termal iletkenliği yüksek polimer kompozitlerin ısı iletimi, eklenen dolgu maddeleri ile birlikte daha karmaşık hale gelmektedir. Bu süreç, termal iletkenlik yolları, termal iletkenlik perkolasyonu ve termoelastik katsayı gibi mekanizmaları içermektedir. Matrise eklenen dolgu maddesinin iyi bir termal iletkenliğe sahip olması haricinde, hacim oranı ve dağılımını da çok önemlidir. Katkı maddesi içeriği yeterli miktarda

kullanılmadığında izole olur. Polimer matrisin varlığı, katkı maddeleri ile polimer matris arasındaki ara yüzlerde yüksek termal direnç oluşturmaktadır.

İyi bir termal iletkenlik değerine ulaşabilmek için, sürekli termal iletim yolları veya ağlar oluşturmak için yeterli miktarda katkı maddesi bulunmalıdır. Termal iletken olan fakat elektrik yalıtkanı olan polimerler, katkı maddesi içermeyenlere göre çok daha düzgün bir sıcaklık dağılımı gösterirler. Katkı maddesi miktarını artırmak, termal iletkenliği artırırken, diğer fiziksel özellikleri olumsuz etkileyebilir. Örneğin; seramik katkı maddeleri, üretim sırasında kalıp aşınmasını artırır ve enjeksiyon kalıplama daha zor hale gelebilir.

Polimerlerde kullanılan çeşitli hibrit katkı maddeleri, termal iletkenliği artırmak için yeni olanaklar sunmaktadır. İki farklı partikül boyutu veya iki farklı tür katkı maddesi kombinasyonu herhangi bir katkı maddesinden daha yüksek bir termal iletkenlik sağlar. Çizelge 2.1’de ısı iletken polimerler ve polimer kompozitlerin tanıtımı görülmektedir [1].

Çizelge 2.1: Isıl iletken polimerler ve polimer kompozitler.

Polimer Matris	Metal Katkılar	Karbon Katkılar	Seramik Katkılar	Kullanım Alanları
PP	Cu	Grafen	BN	Uzay
PE	Ag	CNT	Al ₂ O ₃	Elektronik
PS	Al	CF	MgO	Enerji

2.1.3 Polimer matrisli kompozitlerin alev geciktiricilik özellikleri

Polimerler, mekanik ve elektriksel özellikler gibi çeşitli malzeme özelliklerini gerçekleştirme konusunda metaller ve seramiklerle rekabet halindedir. Fakat, çoğu polimer organik maddelerden oluştuğu için alev ve yüksek sıcaklığa karşı savunmasızdır. Buna ilave olarak, farklı türde organik maddeler içeren polimerlerin yanması sonucu çeşitli gaz tehlikeleri meydana gelebilir. Bu nedenle, yangın zararını en aza indirmek için alev geciktirici polimer kompozitlerin geliştirilmesi için önemli bir talep vardır. Bu bakış açısıyla, yüksek sıcaklık koşullarında yanıcı gaz bileşenlerine dönüşme olasılığı düşük hatta stabil polimerlerin tasarlanması ve sentezlenmesi kritik bir yere sahiptir.

Alev geciktirici olarak nitelendirilen katkılar, polimerlerin yangın performansını daha da güçlendirmek için eklenebilir [13].

Birçok alev geciktirici katkı, polimerlerin ve kompozitlerin alev geciktirme özelliklerini artırmak için kullanılmıştır. Bu katkılar halojen bazlı veya halojen içermeyen hidratlı inorganikler olarak eklenebilir. Ancak, halojen bazlı alev geciktirici katkıların sağlık ve çevre üzerindeki zararlı etkileri sebebiyle potansiyel uygulamaları sınırlıdır. Bu nedenle, metal hidroksitler, fosfor, bor içeren bileşikler ve inorganik kil dolgular gibi halojen içermeyen katkı maddeleri üzerine pek çok çalışma yapılmaktadır. Halojen içermeyen katkı maddelerinin mekanik dayanım ve alev geciktirme performansını iyileştirme konusundaki etkinliğini gösteren birçok araştırma makalesi bulunmaktadır [14].

Alev geciktiriciler yüksek sıcaklıklarda, yani yanmanın başladığı yerlerde etki göstermektedir ve genellikle polimerle doğrudan etkileşime girmeden deformasyon süreci aracılığıyla çalışmaktadır. Alev geciktirici katkıların, polimer matris ile uyumlu olacak şekilde modifiye edilmesi ve maliyet etkin olması gerekir; ayrıca, polimer tamamen dekompoze olmaya başlamadan veya polimer dekompozisyonu başlamadan önce yeterli zaman içinde brom salınımı yapmalıdır [13].

2.1.4 Polimer matrisli kompozitlerin mukavemet özellikleri

Kompozitler, havacılık, otomotiv, yalıtım ve diğer birçok sektörde en yeni ekipmanların geliştirilmesinde çok önemli bir yere sahiptirler. Bu malzemeler, farklı mühendislik uygulamaları için gereken özellikleri karşılayabilme kapasitesine sahip olup, önemli bir güç-ağırlık oranı sağlamaktadır. En çok tercih edilen ve farklı kombinasyona sahip kompozit türü polimer matrisli kompozitlerdir. Polimer matrisli kompozitler, yüksek özgül mukavemet, kolay proses edilebilme ve düşük ağırlık gibi avantajları sayesinde mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Polimer matrisli malzemelere çeşitli katkıların eklenmesi ile birlikte, sertlik ve dayanıklılık gibi önemli mukavemet özellikleri büyük ölçüde artmaktadır. Literatürden örneklerle bakılacak olursa, çoğu polimer matris kompozit, istenen mekanik özellikleri sağlamak için farklı inorganik katkılar (örneğin, silikon karbür, alüminyum oksit, silika, magnezyum hidroksit, çinko oksit vb.) ile takviyelendirilmiştir [15].

Polimer matrisli kompozitlerde (PMK), güçlendirici takviye katkıları olarak sentetik lifler (cam, karbon, kevlar vb.) veya doğal lifler (jüt, sisal, muz, bambu vb.) kullanılabilir. Sentetik lifler, doğal liflere kıyasla daha düşük yoğunluk ve daha yüksek

özgül mukavemet değerlerine sahip olduklarından, özellikle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [16]. Elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özellikleri, elyafın türü, oranı, yönelimi ve matris içerisindeki dağılımı ile fazlar arası yük transferi mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir.

Diğer bir yönden katkı maddelerinin kullanılmasının temel nedeni, kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek ve bileşenin maliyetini azaltmaktır.

Literatürde birçok kaynak, polimerde katkı maddesi olarak kullanılacak malzeme sayısını araştırmayı önermektedir ve bazı durumlarda hem elyaf hem de katkı kombinasyonunun kullanmanın avantajlarını sunmaktadırlar [15].

Geleneksel metal matrisli yöntemler pahalıdır ve ayrıca korozyona neden olabilmektedirler; bazı durumlarda ise ağır kaldırma ekipmanları gerektirdiğinden zaman alıcı olabilmektedirler. Bu yüzden, fiber takviyeli polimerler (FRP) daha çok tercih edilmektedir, çünkü hafif, korozyona dayanıklı, daha iyi güç ve sertlik sağlamaktadırlar [17].

2.2 Otomotivde Kullanılan Polimer Çeşitleri

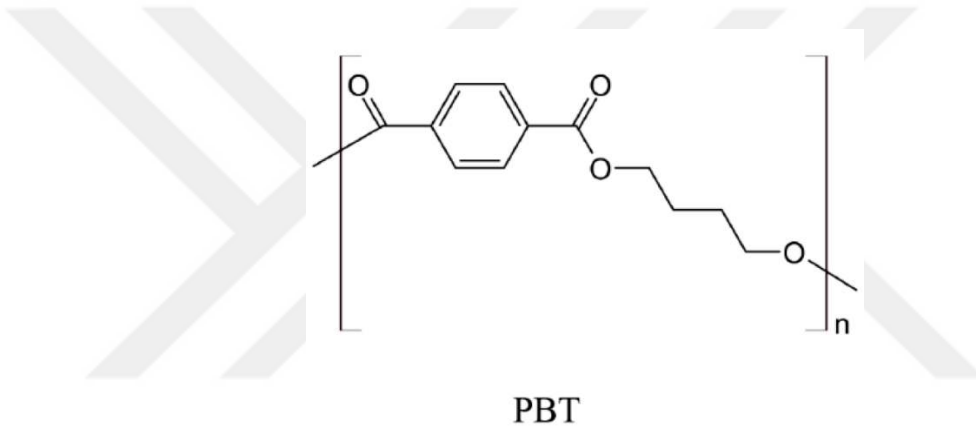
Polimerler, evsel ürünlerden endüstriyel uygulamalara kadar çeşitli alanlarda kullanılmak üzere tercih edilen malzemeler olmuştur. Polimerlerin kullanım uygulamalarından başarı elde edilen en önemli endüstriyel sektörlerden birisi otomotiv sektörü olmuştur. Bu malzemelerin sağladığı yüksek mukavemet/ağırlık oranı, düşük korozyon, yanıcılık özellikleri, sertlik, tokluk, elektrik yalıtımı, termal direnç, renk olanakları, gürültü ve titreşim sönümleme özellikleri, tasarımda esneklik, montaj kolaylığı, güvenlik, güvenilirlik vb. gibi sunulan özellikler, polimerlerin otomobillerde kullanımını çok verimli bir hale getirmiştir. Polimerler ilk olarak 1970'lerin başlarında estetik özellikler sektöründe bir aracın iç kısmında estetik olarak örneğin kaplama, deri, ahşap işçiliği, vb. alanlarda kullanıldılar. 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında ise aracın farlar, tamponlar, çamurluklar vb. gibi çok parçasında kullanıldılar. 2000 ile 2010 arasındaki dönemde, sahip oldukları potansiyel sayesinde hız kazandılar, böylece çelik ve alüminyum gibi geleneksel metallerin yerini alarak ağırlıktan tasarruf etme perspektifinden çok mantıklı olan yapısal ve yarı yapısal uygulamalarda yer aldılar.

Bazı yaygın örnekler, araba tamponları için polikarbonat/akrilonitril-bütadien stiren (PC/ABS) kompozitleri, cam katkılı poliamid (PA) ve talk içeren polietilen tereftalat/polibütilen tereftalattır (PET/PBT) [18].

2.2.1 Polibütilen tereftalat

Polibütilen tereftalat (PBT), geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesine sahip olan yarı kristalin bir termoplastiktir (Şekil 2.2). Tür olarak poliestester sınıfına dahildir.

Bu malzeme, çözücülere karşı yüksek dirence sahiptir ve şekillendirme sırasında minimum oranda bir büzülme göstermektedir. Ayrıca, kısa vadeli şartlarda, mekanik olarak güçlüdür ve 150°C'ye kadar ısı dayanım göstermektedir. Bu sıcaklık, cam elyaf takviyesi ile 200°C'ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 2.2: PBT'nin kimyasal yapısı [19].

Özellikle otomotiv, elektrik ve elektronik, tıbbi endüstrilerde ticari öneme sahiptir. PBT'nin çeşitli avantajları, malzemenin geniş kullanım alanlarına yayılmasını sağlamıştır. PBT, kısa vadeli mekanik özellikler açısından mükemmel bir performans sergiler. Yüksek mukavemet, tokluk ve sağlamlığa ek olarak, iyi sürünme direnci, boyutsal stabilite, düşük nem emme, leke direnci ve işlenebilirlik gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler, PBT'nin fiş konektörleri, röleler, klavyeler, anahtarlar, dağıtım kutuları ve fiber optik kablo kılıfları gibi birçok uygulama alanında kullanılmasını mümkün kılar. Ancak, PBT'nin termal olarak yalıtkan olması, termal iletkenliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanımını sınırlamaktadır. PBT polimeri 0,18-0,23 W/m.K aralığında ısı iletkenlik değerine sahiptir ve bu durum malzemenin termal iletkenlik açısından yetersiz olduğunu göstermektedir.

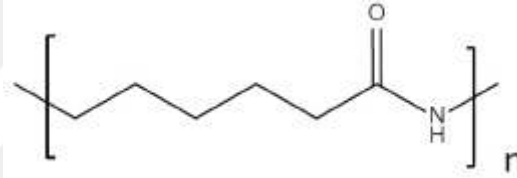
Diğer bir yönden saf PBT oldukça yanıcıdır. Aleve maruz kaldığında damlamayı önlemek ve yanma sırasında malzemenin bütünlüğünün korunmasına yardımcı olmak

için bazı katkıları PBT'ye eklenir. Özellikle yangına dayanıklılığı artırmak için PBT'ye fosfor bazlı bileşikler eklenir [19].

Literatürde, PBT bazlı kompozitlerin termal ve elektriksel iletkenliklerini artırmaya yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [5].

2.2.2 Poliamid 6

Poliamid 6 (PA6) veya sektörde bilinen diğer ismi ile Nylon 6, mühendislik plastikleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek molarite, kristal kütle ve düşük nem aktivitesi ile termal olarak stabil bir malzemedir. Cam elyaf, karbon elyaf ve benzeri pek çok elyaf ile güçlendirilmiş, ısı ve alev dayanımı yüksek, mineral katkılı farklı yapılarda birçok ürün çeşidi bulunmaktadır. PA6 ürünleri özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te PA 6'nın kimyasal yapısı verilmiştir [20].



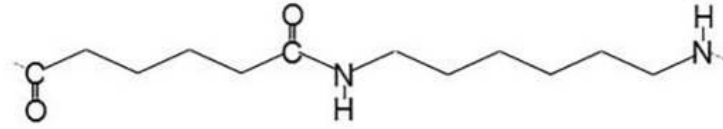
Şekil 2.3: PA6'nın kimyasal yapısı [20].

2.2.3 Poliamid 66

Tüm plastiklerin en uzununu olarak adlandırılan poliamid 6.6 (PA66), yüksek erime noktasına sahip yarı kristalin bir polimerdir. Bu malzemenin kullanım sıcaklığı 120°C iken erime sıcaklığı 265°C'dir. Cam elyaf ve benzeri elyaflarla güçlendirilmiş, ısıya dayanıklı, mineral dolgu ve alev geciktiricili, UV korumalı gibi farklı değerlere sahip birçok ürün çeşidi bulunmaktadır. Poliamid 6.6'nın kimyasal bileşimi şekil 2.4'te gösterilmektedir. Yüksek mukavemet ve sertlik göstermektedir. Diğer bir yönden ısı deformasyonuna karşı dayanıklıdır. Ani darbelere karşı yüksek dirence sahiptir. Ek olarak; PA66, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek eğilme ve çekme dayanımı gösterir ve yük altında çalışmak için ideal bir malzemedir. Mekanik açıdan daha fazla performans beklenen uygulamalar için cam elyaf ile takvilendirilmişlerdir. Bu sayede, sertlik ve yorulma direnci gibi özellikleri iyileşmektedir.

Dielektrik özelliği oldukça etkilidir. Dielektrik özelliği, elektriksel yalıtıklık gerektiren parçalarda, örneğin; kondansatörler ve devre elemanları gibi elektronik uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra yağlayıcılara, kimyasal

temizleyicilere ve deterjanlara, alifatik solventlere, su ve tuz çözeltilerine karşı mükemmel bir direnç göstermektedir [21-22].



Şekil 2.4: Poliamid 6.6'nın kimyasal yapısı [22].

2.3 Polimer Kompozitlerde Kullanılan Katkılar

Uygulama alanına ve niteliğe göre polimerlerin yetersiz olduğu durumlarda yapıya farklı katkı maddeleri eklenerek mekanik, termal ve elektriksel özellikleri iyileştirilebilmektedir.

2.3.1 Karbon elyaf

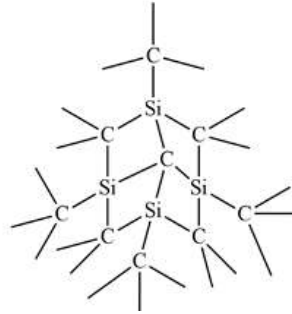
Karbon elyaf, polimer matrisli kompozitlerde sahip oldukları olağanüstü mukavemet ve sertlikten dolayı en çok kullanılan yüksek performanslı malzemelerden biridir. Bunun yanı sıra yüksek elektriksel iletkenlik, asit ve baz gibi kimyasallara karşı dayanım, düşük ağırlık ve termal genleşme göstermesinden dolayı yaygın olarak otomotiv ve savunma sanayinde kullanılmaktadır [23].

Karbon fiberler çekme modüllerine göre dört farklı sınıfa ayrılmaktadırlar; standart, orta, yüksek ve ultra yüksek modül. Karbon elyafların ortalama çapı 4-10 µm'dir ve sürekli ve kesilmiş şekillerde bulunmaktadır. Elyafların üretiminde hammadde olarak poliaklonitil (PAN), selüloz ve zift kullanılmaktadır. Üretildikleri hammaddelere göre isimlendirilmektedirler. PAN bazlı karbon fiberler %95 karbon içermektedir.

Karbon elyaf kısmen kimyasal, kısmen de mekanik bir işlemle elde edilmektedir. İlk önce uzun elyaf şeritleri gerilir (tel çekilir) ve daha sonra elyafların yanmasını önlemek için oksijenle temas etmeden çok yüksek sıcaklıklara ısıtılmaktadır. Karbonizasyon sırasında elyaftaki atomlar şiddetli bir şekilde titreşmekte ve karbon olmayan atomların çoğu dışarı atılmaktadır. Bu, uzun, sıkı bir şekilde bağlanmış karbon atomu zincirlerinden oluşan ve yalnızca birkaç karbon olmayan atom bırakan lifli bir yapı meydana getirmektedir [24].

2.3.2 Silikon karbür

Silikon karbür (SiC) seramik yüksek dayanıklılığı ve modülü, ısı direnci, korozyon ve aşınma direnci ile düşük yoğunluğuyla bilinir (Şekil 2.5). Bu özellikleri nedeniyle, özellikle havacılık, otomotiv ve enerji sektörlerinde geniş bir kullanım bulmuştur. Ancak, bu alanlardaki gelişmelerle birlikte, daha yüksek standartlara sahip SiC seramiklere olan talep artmıştır [25]. Silikon karbür, genellikle yüksek sıcaklık ve aşınma direnci gerektiren endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Malzemenin termal iletkenliği, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında ısıyı etkili bir şekilde ileterek ve dağıtarak malzemenin genel termal performansını artırır. Bu özellik, elektronik cihazların termal yönetimi, yüksek sıcaklıkta çalışan motor parçalarının soğutulması, metalurji işlemleri ve uzay araştırmaları gibi birçok uygulama alanında önemli avantajlar sağlar. Silikon karbürün yüksek termal iletkenliği, ısıнын homojen bir şekilde yayılmasına yardımcı olur ve sıcaklık gradyanlarını minimize eder. Bu, malzemenin dayanıklılığını ve performansını artırarak aşınma, yorulma ve termal streslere karşı direncini güçlendirir. Sonuç olarak, silikon karbürün termal iletkenlik özellikleri, birçok endüstriyel uygulama için güvenilir ve etkili bir malzeme seçeneği olmasını sağlar [1].



Şekil 2.5: Silikon karbürün kimyasal yapısı [25].

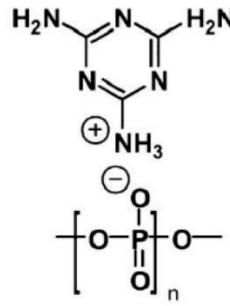
2.3.3 Melamin polifosfat

Melamin polifosfat (MPP), etkili bir P-N alev geciktirici olarak bilinir ve özellikle poliamid ve poliesterlerde etkili bir halojen içermeyen alev geciktirici olarak başarıyla kullanılmaktadır [4]. Bu kullanım, MPP'nin mükemmel termal stabilitesi, düşük maliyeti ve düşük duman ve toksisite özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar, MPP'nin hem gaz fazında hem de kondanse fazında etki gösterebileceğini ortaya koymuştur. Kondanse fazda, fosfor, katalitik karbonlaşma etkisi aracılığıyla sıkı karbon katmanının oluşumunu hızlandırabilir, bu da iç matrisin

dış ısı ve oksijenle temasını etkili bir şekilde engelleyerek daha yüksek alev geciktirme sağlar. Gaz fazında ise MPP, yüksek sıcaklık ortamlarında yanıcı organik buharları ve oksijeni seyrekleştiren CO₂ ve NH₃ gibi inert gazları üretebilir. Ayrıca, fosfor, polimer pirolizinden kaynaklanan aktif radikallerin yayılmasını engelleyerek yangının yayılmasını inhibe edebilir [26].

Melamin polifosfat (Şekil 2.6) kullanımının temel amacı, malzemenin alev almasını geciktirerek ve yanma süresini azaltarak yangına karşı direncini artırmaktır. Bu, özellikle elektronik cihazların, kabloların ve diğer plastik ürünlerin kullanıldığı uygulamalarda önemli bir özelliktir. Melamin polifosfat, çeşitli endüstrilerde yangına dayanıklı özelliklerin gerektiği yerlerde kullanılır. Melamin polifosfatın kullanımı, özellikle yangına karşı hassas uygulamalarda, malzemelerin yangın direncini ve güvenliğini artırmak amacıyla yapılan bir dizi üründe yaygındır. Bu bileşik, yangın güvenliği standartlarını karşılamak ve malzemelerin yangınla mücadele yeteneklerini artırmak için polimer tabanlı malzemelere eklenir.



MPP

Şekil 2.6: Melamin polifosfatın kimyasal yapısı [19].

2.3.4 Kullanılan diğer katkılar

Alüminyum oksit (Al₂O₃), düşük maliyeti, nispeten yüksek termal iletkenliği ve yüksek elektrik direnci nedeniyle çeşitli uygulamalarda kullanılan bir katkı malzemesidir [27]. Literatürde daha önce 10 µm boyutunda olan Al₂O₃ bir epoksi kompozit içerisinde takviye katkısı olarak kullanılmıştır. Analizler sonucu, kompozitin iletkenlik değeri 4,3 W/ (m.K) olarak bulunmuştur [27].

Çinko oksit (ZnO) yarı iletken bir katkı malzemesidir. En sık kauçuk endüstrisinde kullanılmaktadır. Uygulama alanına göre örnek olarak araba lastikleri dönerken çok fazla ısı üretmektedir. ZnO hem vulkanizasyon katalizörü olarak hem de lastiklerin ısı dağıtımını açısından önemli olan termal iletkenliğini geliştirmek için de katkı malzemesi

olarak kullanılmaktadır. ZnO'nun yüksek termal iletkenliği sayesinde kompozit malzemeleri voltaj kontrolünde kullanılmak üzere uygun hale getirmektedir [28].

Berilyum oksit (BeO), metalik olmayan malzemelerden daha yüksek bir termal iletkenlik göstermektedir. Bunun yanı sıra mükemmel korozyon direncine ve elektriksel yalıtım özelliklerine sahip olmaktadır [29].

Grafit, bir karbon mineralidir ve elmaştan çok farklı özelliklere sahiptir. Bakır'dan 20 kat daha fazla elektriksel iletkenlik gösterir. Aynı zamanda mükemmel bir termal iletkenidir. Bir çalışmada, en yüksek düzlem içi ısı iletkenlik değeri ağırlıkça %40 sentetik grafit katkılı kompozit için 9,24 W/m.K olarak ölçülmüştür [30].

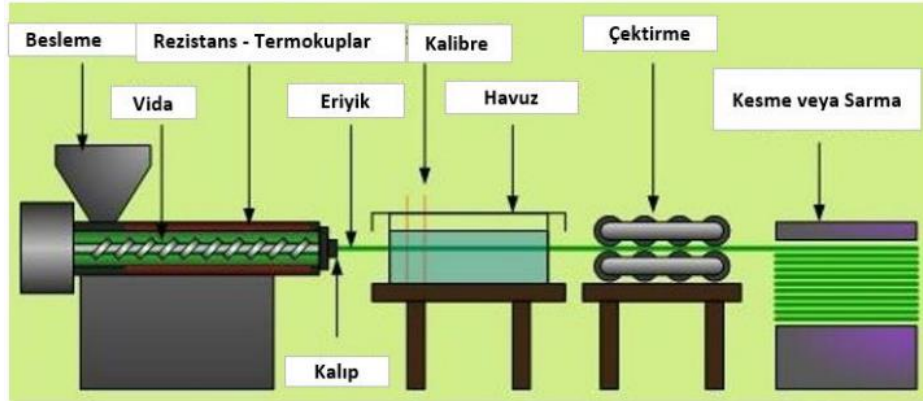
2.4 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Termoplastik polimerler, polimer imalat endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimer kompozitlerin üretiminde dikkat edilmesi gereken en kritik nokta, katkı maddelerinin yapısıdır. Polimer kompozitlerde, katkı maddelerinin polimer yapı içerisinde homojen olarak dağılması gerekmektedir. Çünkü bu sayede istenilen nitelikte malzemeye ulaşılabilir. Ekstrüzyon prosesi, polimerik malzemeler ve katkı maddelerinin eşit bir şekilde karıştırılmasını sağlayan bir proses yöntemidir.

Enjeksiyon kalıplama işlemi, polimerlere veya polimer kompozitlere kalıp aracılığıyla istenilen geometriyi vererek verimli bir üretim yöntemi sağlar. Bu yöntem zamanla gelişmiş ve seri üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4.1 Ekstrüzyon

Termoplastik malzemeler, basınçlı bir vida ve ısıtıcıya sahip bir ekstrüderde eriyik hale getirilir ve vida aracılığıyla ekstrüder çıkışında bulunan kalıptan geçirilerek istenen geometride şekillendirilir (Şekil 2.7). Bu, sürekli bir akış yöntemiyle gerçekleşir. Plastik malzeme, bir sonraki aşamada soğutulmak üzere işleme alınarak nihai şeklini alır. Ekstrüde edilmiş plastik malzeme, formlu kalibratörlerden geçirilir ve soğutma havuzu boyunca ilerletilir. Ardından, uzun fitiller halinde bulunan polimer bıçaklı bir sistem aracılığıyla kesme işlemine tabi tutulur ve son ürün şekline getirilir.



Şekil 2.7: Ekstrüzyon yönteminin şematik görseli [31].

Sıcaklık, ekstrüzyonun en kritik parametrelerinin arasında yer almaktadır. Eriyik malzemenin durumu ve kalitesi nihai ürün kalitesi ile proses stabilitesini doğrudan etkileyen kritik faktörlerdendir. Ekstrüzyonun sıcaklık parametreleri, son ürünün moleküler ağırlığı ve kristalleşme davranışı üzerinde etkili olmaktadır.

Sistem içerisinde yer alan vidanın hızı, ekstrüzyon prosesinin diğer önemli bir parametresidir. Polimeri eriyik hale getirmek için mekanik enerji ve ısı enerjisinden faydalanılmaktadır. Polimerin eriyik halde besleme kısmına aktarılabilmesi için vida hızının uygun bir şekilde belirlenmesi gereklidir [3].

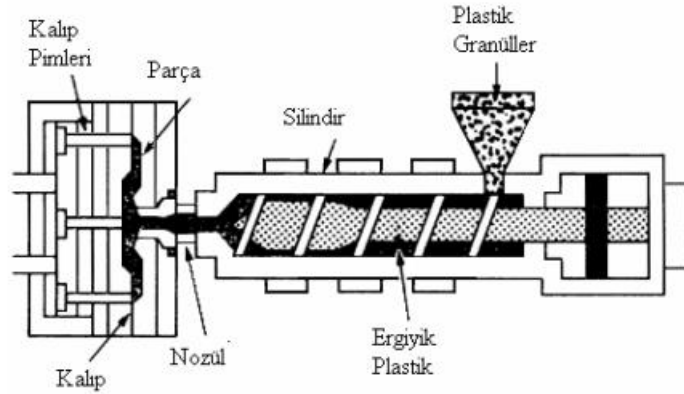
Basıncıta bu prosesin diğer önemli parametreleri arasında yer almaktadır. Basıncı etkileyen faktörler arasında termoplastik malzemenin viskozitesi ve vidanın hızı bulunmaktadır. Basınç yeterli seviyede olmaz hatta düşük olursa, eriyik malzeme kalıba yeterli bir şekilde ilerletilemez ve malzeme istenilen formda kalıptan çıkamaz. Eğer basınç yüksek olur ise, vidayı döndüren motor üzerinde aşırı yük oluşur ve bu durum motorun arızalanması gibi teknik sorunlara yol açabilir.

2.4.2 Enjeksiyon kalıplama

Elyaf takviyeli termoplastiklerin üretiminde en çok kullanılan ve tercih edilen proses enjeksiyon kalıplamadır (Şekil 2.8). Farklı tonajlarda olan enjeksiyon makineleri, her bir kalıplama döngüsünde farklı gramajlara sahip parçaları kalıplayabilme kapasitesine sahiptir.

Boyutları 3-6 mm arasında olan plastik granüller, enjeksiyon makinalarına beslenen ön karışımlar olarak bilinmektedir. Bu yöntemde genellikle palet formunda granüller kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama işleminde, polimer eriyik hale gelene kadar ısıtılır. Daha sonra, üretilecek parçanın formuna göre uygun bir kalıba yüksek basınçla

enjekte edilmektedir. Parça, nihai halini alana kadar soğutulur ve ardından kalıp içerisindeki iticiler ile dışarı çıkartılır veya şekillenen parça robotik bir sistemle alınır [3].



Şekil 2.8: Plastik enjeksiyon yöntemi [32].

2.4.3 Basma transfer kalıplama

Basma transfer yöntemi, özellikle karmaşık ve yüksek dayanımlı elyaf takviyeli polimerlerin yüksek basınç altında üretimi için uygun üretim yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde polimer olarak genellikle; poliester, fenolik ve epoksi reçineler tercih edilirken, elyaf olarak ise grafit, cam ve asbest kullanılmaktadır.

Transfer kalıplamada kullanılan kalıp, dişi ve erkek olarak iki parçadan oluşur ve bu kalıp elektrik kullanılarak ısıtılır. Döküm kalıplama sürecinde, reçinenin ilave edilmiş olduğu preform veya matkap kullanılarak açık bir kalıba yerleştirilir. Bu yöntem, küçük parçaların üretimi için uygun bir kalıp kullanarak oda sıcaklığında ve düşük basınçta kullanım için idealdir. Termoset reçineler ve elyaflar kalıp içine yerleştirildikten sonra, yaklaşık olarak 130-340 kPa basınca tabii tutulurlar. Kullanılan kalıplar, elyaf takviyeli polimerlerden veya metal alçılardan imal edilirler.

2.4.4 Pultrüzyon prosesi

Sürekli elyaflar, ilk olarak bir reçine tankından geçirilir. Daha sonra elde edilen bu elyaf demetleri sıcak bir kalıp içerisinde sertleştirilir.

Pultrüzyon tekniği, ekstrüzyon prosesine benzemektedir. Fakat ekstrüzyon işleminde üretilen parça, kalıba basınç ile enjekte edilip şekillendirilirken, pultrüzyon işleminde kalıba çekilir. Pultrüzyon yöntemi ile levhalar, farklı profiller ve çubuklar üretilmektedir.

Bu teknikte, yüksek üretim sayesinde tek bir işlem ile polimer matrisli kompozit malzemelerin üretilmesine olanak tanır. Daha optimum bir polimerleşme işlemi için sertleştirme veya kürleştirme işleminde mikro dalga tekniği kullanılabilir. İki farklı pultrüzyon tekniği olan; kuru ve yaş pultrüzyon teknikleri ayrı olarak uygulanmaktadır. Yaş pultrüzyonunda, reçine tankından geçirilir ve kalıplanıp sertleştirilirken, kuru olan işlemde yumuşayan polimer, direkt şekillendirilir.

Yaş pultrüzyon işlemi, özellikle maliyetin düşük olması gereken uygulamalarda, kuru pultrüzyon yöntemi ise mukavemetin ön planda olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Başta poliester polimerler olmak üzere, poliamid, epoksi reçineleri grafit ve cam takviye katkıları pultrüzyon prosesinde kullanılan malzemelerdendir.



3. LİTERATÜR ÖZETİ

3.1 Karbon Elyaf/Silikon Karbür Kompozitleri

Diğer mühendislik malzemelerine kıyasla, elyaf takviyeli seramik matrisli yapılar yüksek sıcaklıklarda yüksek özgül mukavemet sunmaktadır. Bu nedenle, CF/SiC kompozitleri, yüksek mekanik ve termal yüklere maruz kalan hafif yapılar ve bileşenler için önemli malzemelerdir. CF/SiC kompozitleri, üstün mekanik özellikleri, oksidasyon ve aşınma direnci ile yapısal parçalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

CF/SiC kompozitlerinin mekanik ve termal özellikleri, kompozitin mikroyapısı ve kompozitte kullanılan katkı maddelerinin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir (Çizelge 3.1). Elyaf yapısına bağlı olarak, CF/SiC kompozitleri yüksek derecede anizotropik malzeme gibi davranabilirler, bu nedenle ısıl iletkenlik ve ısıl genleşme katsayısı hesaplamalarında basit karışım kuralları geçerli olmayabilir.

Aynı zamanda mekanik özellikler, kompozitin üretim yöntemine, elyafların ve katkıların türüne, hacim içeriği ve mimarisi ile de ilişkili olmaktadır.

Çizelge 3.1: CF, SiC ve CF/SiC kompozitlerin özellikleri [33].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl İletkenlik (W/m.K)
CF	1,76	10,0
SiC	3,21	300
CF/SiC	2,38	29,0

3.2 Polimer/Melamin Polifosfat Kompozitleri

Son zamanlarda, sürdürülebilirlik konusunun öne çıkmasıyla beraber ticari halojen içermeyen alev geciktiriciler, artan bir araştırma ilgisi kazanmıştır. Fosfor ve azot bileşenlerinden oluşan birçok malzeme, özellikle fosfatlar, melamin, amonyum polifosfat, melamin polifosfat ve melamin fosfat üzerinde çalışılmıştır.

Melamin polifosfat, melamin ve fosfat grubu olmak üzere iki farklı yapıya sahip olup, alev geciktirme süreci sırasında fosforilasyon ve katyonik çapraz bağlanma ile polimer

yüzeyinde bir kömür katmanı oluşumunu teşvik edebilir ve intümesan bir etki sağlayabilir. Bu etki kömür oluşumu ile ilişkilidir; ancak kömür oluşumu, aynı zamanda mevcut intümesan alev geciktiricisinin seviyesi ve termal bozunma özellikleri ile de ilişkili olmaktadır.

Son yıllarda araştırmacılar, melamin polifosfatların alev geciktirici ve termal stabiliteyi etkin bir şekilde iyileştirebileceğine inanmaktadır ve bu nedenle hibrit yapılar geniş bir şekilde incelenmektedir.

Çizelge 3.2: Melamin polifosfat kompozitlerin UL94 özellikleri [34].

Malzeme	UL94
Si-PU	Başarısız
Si-PU/MPP	V1
Si-TPE/MPP	V2
PA6/GF/MPP	HB

3.3 Literatürde Yapılan Çalışmalar

Literatür incelendiğinde, Hsiao ve arkadaşları tarafından yürütülen son çalışma, polibütilen tereftalat temelli kompozit malzemelerin termal iletkenlik ve elektriksel direnç özellikleri üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli bulgular sunmaktadır [35]. Bu araştırma kapsamında, karbon fiber ve bor nitrür ilavesinin PBT/CF/BN kompozitlerinin özellikleri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, BN ilavesinin PBT/BN kompozitlerinin termal iletkenlik değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. BN içeriğinin artışıyla birlikte, ısıl iletkenlik değerleri kademeli olarak yükselmiştir. Ancak, aynı zamanda BN ilavesinin elektriksel iletkenliği azalttığı rapor edilmiştir.

Bu durum, BN'nin termal iletkenlikte olumlu bir etkisi olmasına rağmen elektriksel iletkenliği düşürücü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, karbon fiber ilavesinin PBT/BN kompozitlerinin termal iletkenliği üzerinde olumlu bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Özellikle, ağırlıkça %30'a kadar karbon fiber ilavesi, daha yüksek termal iletkenlik değerlerine yol açmıştır. Bu durum, karbon fiberin termal iletkenliği artırma potansiyeli olduğunu ve kompozit malzemelerin termal özelliklerini iyileştirmek için stratejik bir katkı olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar, PBT temelli kompozit malzemelerin termal ve elektriksel özelliklerini optimize etme çabalarında CF ve BN gibi katkı maddelerinin seçilmiş ve kontrollü kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bu bulgular, malzeme bilimi ve endüstriyel

uygulamalarda termal iletkenlik ve elektriksel özelliklerin tasarımı üzerinde etkili stratejiler geliştirmek isteyen araştırmacılara rehberlik edebilir.

Xia ve arkadaşları PBT/cam elyaf (GF)-SiC kompozitlerinin hazırlanması için yeni bir yöntem üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Cam elyaf yüzeyleri SiC partikülleri ile kaplanmış ve ardından işlem gören GF'ler (GF-SiC) PBT ile karıştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, SiC partiküllerinin bazılarının GF yüzeylerine dağılmış olduğunu, diğerlerinin ise yüzeylerden düşerek GF etrafına yayıldığını göstermektedir. Bu hibrit kompozitlerin ısı iletkenlikleri, GF-SiC oranının artmasıyla birlikte yükselmiştir. Ağırlıkça %30 GF-SiC içeren kompozitlerin ısı iletkenliği saf polimere kıyasla neredeyse %160'luk bir artış göstererek 0,6392 W/m.K değerine ulaşmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçları değerlendirildiğinde, GF-SiC partiküllerinin PBT'nin kristalinitesini artırdığını, ancak erime sıcaklığı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Buna ilave olarak, tüm kompozitlerin kristalleşme sıcaklığı (T_c) ve camsı geçiş sıcaklıkları daha yüksek sıcaklıklara kaymıştır. PBT matrisine GF-SiC eklenmesi, PBT/GF-SiC kompozitlerinin termal stabilitesini belirgin şekilde artırmıştır [36].

Bir diğer çalışmada, Kim ve arkadaşları, polibütilen tereftalat matrisli kompozit malzemelerin termal iletkenlik özellikleri üzerinde farklı boyutlardaki çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT) kullanımının etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir.

Bu çalışma, kısa ve uzun MWCNT'lerin PBT kompozitlerinde termal iletkenliği nasıl etkilediğini anlamak amacıyla tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ağırlıkça %20 oranında kısa MWCNT ilavesi, PBT matrisine en yüksek termal iletkenlik değerini (1,170 W/m.K) kazandırmıştır. Diğer taraftan, aynı oranda uzun MWCNT ilavesi ise daha yüksek bir termal iletkenlik değeri 1,652 W/m.K sergilemiştir. Bu bulgular, MWCNT'lerin PBT kompozitlerinde termal iletkenliği artırma kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu etkinin MWCNT partikül boyutuyla yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, kompozit malzeme tasarımında MWCNT kullanımının, termal performansı stratejik bir şekilde optimize etmek için önemli bir yol olabileceğine işaret etmektedir [37].

Yenier ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, polibütilen tereftalat kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen sentetik grafit ve karbon fiberin etkisi incelenmiştir. Farklı ağırlık oranlarında (%10-40) sentetik grafit ve karbon fiber ile

Üretilen PBT kompozitler, bir çift vidalı ekstrüder kullanılarak üretilmiş ve ardından termal, morfolojik ve mekanik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalara göre, karbon fiberin ağırlık oranı arttıkça PBT'nin çekme mukavemeti ve bükülme mukavemeti de artmıştır. Ancak, sentetik grafit yüklemesi çekme mukavemetini azaltmış ve bükülme mukavemetini dşrmştir. En yüksek ısı iletkenlik değerleri, ağırlıkça %40 sentetik grafit katkılı kompozit ve ağırlıkça %40 karbon fiber takviyeli kompozit için sırasıyla 9,24 ve 3,41 W/m.K olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, sentetik grafit ve karbon fiberin PBT bazlı kompozit malzemelerin özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ve malzeme tasarımımda bu katkı maddelerinin stratejik kullanımının önemli olduğunu göstermektedir [5].

Tianle ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, epoksinin termal iletkenliğini artırmak amacıyla karbon temelli nanokatkıları, silikon karbür mikropartiküller ve grafit nanoplakalar (GNP) kullanılmıştır. Sonuçlar, epoksiye ağırlıkça %12 GNPs veya ağırlıkça %71,7 SiC eklenmesiyle elde edilen termal iletkenlik değerinde belirgin artışlar olduğunu göstermiştir. Bu durum, termal iletkenliğin saf epoksiye göre sırasıyla 6,3 ve 20,7 kat arttığını göstermektedir [38].

Benzer bir şekilde, Srinivas ve arkadaşları termal iletkenliği artırmak için grafen (Gr), SiC ve bu ikisinin birleşimi olan hibrit (Gr-SiC) partiküllerini epoksiye ekleyerek kompozit yapıların özelliklerini incelemişler. Bu alışma, özellikle ağırlıkça %20 SiC, %20 Gr ve %60 epoksi içeren hibrit kompozitin termal iletkenliğinin, katkısız epoksiye kıyasla %136 arttığını göstermiştir. Ayrıca, ağırlıkça %40 katkılı epoksi kompozitlerde önemli ölçüde termal iletkenlik artışı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, karbon temelli nanokatkıların ve silikon karbür mikropartiküllerin epoksi kompozitlerin termal iletkenliğini geliştirmede etkili olduğunu ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalar ile aynı yönde ilerlediğini göstermektedir [39].

Bir diğer çalışmada, elektriksel ve termal iletkenlikleri geliştirmek amacıyla, (SiC/CF) hibrit katkı maddeleri epoksi reçine kompozitlerine eklenmiştir. Fourier dönüşümü kızılıtesi spektroskopisi sonuçları, SiC hacimce oranındaki artışla ilişkili olarak karboksilik asit O-H germe ve aldehit C-H germe piklerinin derinleştiği grlmştir. Taramalı elektron mikroskop görüntüleri, SiC'nin hacimce oranının artmasıyla birlikte fiber ve matris arasındaki arayüzey bağının iyileştiğini göstermiştir. Sonuçlara bakıldığında, frekans değeri arttıkça dielektrik sabitlerin düşük oranda azaldığı

gösterilmiştir. Bu anlamda, 102 Hz ile 104 Hz arasında dielektrik sabitleri düşük ve neredeyse sabit kalırken, 104 Hz sonrasında artış görülmüş ve 105 Hz ile 106 Hz arasında gevşeme pikleri ortaya çıkmıştır. Ağırlıkça %30 SiC/CF hibrit katkı maddeleri içeren epoksi (EP)/CF kompozitlerinde dielektrik sabiti ve $\tan\delta$ değerlerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Kompozitlerin elektriksel iletkenliği, ısıtıl işlemin etkisiyle zincir düzeninin artması nedeniyle artmıştır. EP/CF kompozitlerinin elektriksel iletkenliği, SiC hacimce oranı arttıkça azalmıştır. Bu durum, elektriksel olarak yalıtkan olan SiC katkısına bağlanmaktadır. Hacimce %30 SiC içeren EP/CF kompozitin camsı geçiş sıcaklığının (T_g) diğer kompozitlerinden daha yüksek ve termal iletkenliğinin dokuz kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışma, hacimce %30 SiC/CF hibrit katkılar ile elde edilen yüksek termal iletkenlikli epoksi kompozitlerin potansiyelini vurgulamaktadır [40].

Wei ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmada polimid (PI) ve melamin polifosfat makromoleküler katkıların cam elyaf takviyeli poliamid 66 (PA66) malzemesindeki sinerjistik karbonlaşma ve alev geciktirici davranışı incelenmiştir. Bu etki, PI polimerinin fosfor içeriğiyle birlikte daha iyi karbon oluşturma yeteneğinden kaynaklanmakta olduğu anlaşılmıştır. Araştırma sonuçları, MPP eklenmesiyle karşılaştırıldığında, uygun bir orandaki MPP/PI karışımının daha iyi alev geciktirici ve karbonlaşma yeteneği sergilediğini göstermektedir. Ağırlıkça %11,9 MPP ve ağırlıkça %5,1 PI içeren PA66 kompozit yapının %33,9 oranında LOI değeri artışına ve UL94 V-0 derecesini geçmeye olanak tanıdığı görülmüştür. Bu karışımda, tepe noktalarında daha düşük ısı salınım hızı ($pk-HRR$), daha düşük toplam ısı salınımı (THR) değeri, daha düşük toplam duman salınımı (TSR) değeri ve daha yüksek bir kalıntı verim elde etmiştir. Sonuçlar, MPP ve PI arasındaki sinerjistik alev geciktirici etkiyi PA66 kompozitinde doğrulamıştır. MPP ve PI, PA66 matrisiyle etkileşime girerek daha fazla karbon içeren kalıntıyı kilitlemiş ve daha sıkı bir karbon tabakası oluşturmuştur, bu durum da yanma yoğunluğunun azalmasına ve yakıtların salınımının azalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, MPP/PI sisteminin artan alev geciktirici etkisi, PA66'daki kondanse fazda karbon oluşturma yeteneğinin ve daha güçlü bir bariyer etkisinin sonucu olduğu görülmüştür [41].

Xuejun ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmada SiC ve MPP ile modifiye edilmiş SiC/MPP karışımı epoksi reçine (EP) içerisine eklenmiştir ve bu kompozit yapıların yüksek termal iletkenlik ve alev geciktirici performans gösterdiği

saptanmıştır. EP/SiC/MPP kompozitleri, 60°C sıcaklıkta 2 saat boyunca karıştırılarak hazırlanmış ve ardından 150°C sıcaklıkta 8 saat boyunca sertleştirilmiş. Sonuçlara bakıldığında, EP/SiC/MPP kompozitlerinin alev geciktirici özellikleri UL-94 dikey yanma ve koni kalorimetre testi ile incelenmiş, ağırlıkça %20 SiC/MPP içeren EP/SiC/MPP20 kompozitinin UL-94 sınıfının V1 olduğu gösterilmiş. Ayrıca, saf epoksiye kıyasla kompozitlerin tepe ısı salınım hızının (PHRR) 800'den 304 kW/m değerine düşürüldüğü görülmüştür. EP/SiC/MPP20 kompozitlerinin termal iletkenliği 0,53 W/m.K olarak elde edilmiştir ve bu değer saf epoksiye göre neredeyse 2,5 kat daha yüksek olduğu gösterilmiş (0,21 W/m.K). Hazırlanan EP/SiC/MPP kompozitleri geliştirilmiş alev geciktirici ve termal iletkenlik özellik sergilemişlerdir [42].

Literatürde, PBT bazlı kompozitlerin termal ve elektriksel iletkenliklerini artırmaya yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Önceki çalışmalar, termal iletken ağlarının rastgele oluşmasının, ısı iletimine olumlu bir katkı sağladığını belirtmiştir. Ancak, literatürde SiC parçacıklarının ısı iletkenliğini artırmak amacıyla kullanıldığı çok sınırlı sayıda çalışma rapor edilmiştir. Polimer bazlı kompozitlerin termal iletkenliğini geliştirmek için SiC parçacıkları kullanılmış olsada, bu alandaki araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle bu tez çalışması, PBT'nin termal özelliklerini geliştirme amacını taşıyarak, malzemenin kullanım alanlarını genişletilmesi hedeflenmektedir.

Bu çabalar, özellikle endüstriyel ve elektronik uygulamalarda termal iletkenliğin önemli olduğu durumlarda PBT'nin performansını optimize etmek adına gelecekteki çalışmalara öncü olabileceği öngörülmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Malzemeler

Bu tez çalışmasında, PBT matris malzemesi olarak EPSAN PLASTİK firmasından tedarik edilen katkısız ve şeffaf renkli EPIMIX PBT NC (IV: 1,0) polimeri kullanılmıştır. Tedarik edilen baz polimer kullanılmadan önce test edilmiştir. Kullanılan PBT'nin test sonuçları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: EPIMIX PBT NC'nin mekanik ve termal özellikleri.

Özellik	Deneysel Parametreler	Değer	Birim	Standart
Yoğunluk	-	1,30	g/cm ³	ISO 1183
Nem absorpsiyonu	%50 RH, 23°C	0,2	%	ISO 62
Kopma gerilimi	23°C	42	Mpa	ISO 527
Uzama gerilimi	23°C	8	%	ISO 527
Çekme modülü	23°C	2300	Mpa	ISO 527
Erime sıcaklığı	10 K/dk	226	°C	ISO 11357

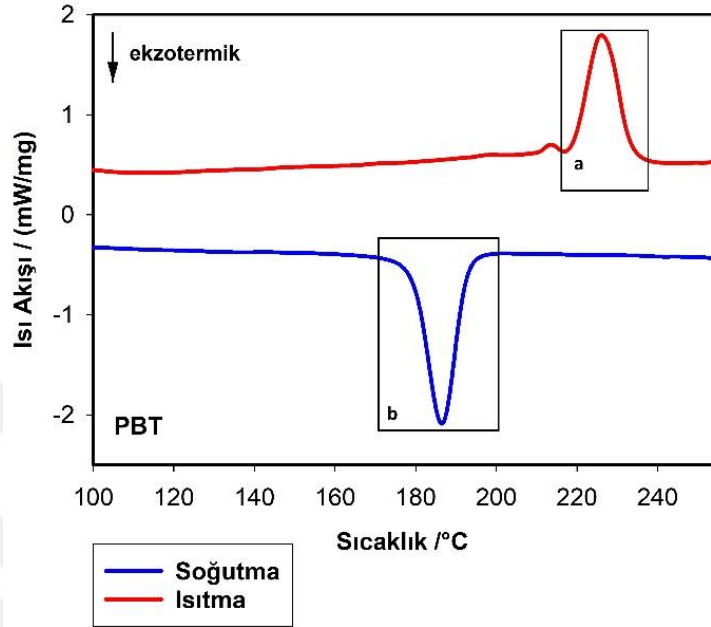
Tez çalışmasında kullanılan saf PBT'nin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sonuçları Şekil 4.1 ile Çizelge 4.1'de verilirken Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopi analiz sonuçları Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

DSC eğrisinde verilen a bölgesi, endotermik yani ısı alan bir reaksiyonu göstermektedir. Bu bölgenin içerisinde olan pik değeri erime sıcaklığını belirtmektedir. PBT malzemesinin erime sıcaklığı (T_m) 226°C'dir. Aynı bölge içerisinde son ve başlangıç durumlarının enerjileri de (ΔH_m) 35,06 J/g olarak verilmiştir. Termogramda bulunan b bölgesi ise ekzotermik yani ısı veren bir reaksiyonu göstermektedir. Bu bölgede yer alan pik sıcaklığı kristalizasyon sıcaklık değerini vermektedir. PBT malzemesinin kristalizasyon sıcaklığı (T_c) 186,5°C'dir. Kristalizasyon yüzdesi (χ_c) ise %22,61 olarak tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar Polyma, DSC 214 cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

PBT ve hibrit polimer karışımlarının kristalinite oranları (χ_c) hesaplanırken Denklem 4.1'de yer alan formül kullanılmıştır. ΔH_m , erime entalpisini, ω malzemenin ağırlıkça

oranını, ΔH°_m %100 kristalin PBT'nin erime entalpisini göstermektedir. Literatürden alınan veriler neticesinde ΔH°_m değeri 145 J/g olarak baz alınmıştır [43].

$$\chi_c = \Delta H_m / (\Delta H^{\circ}_m) \quad (4.1)$$



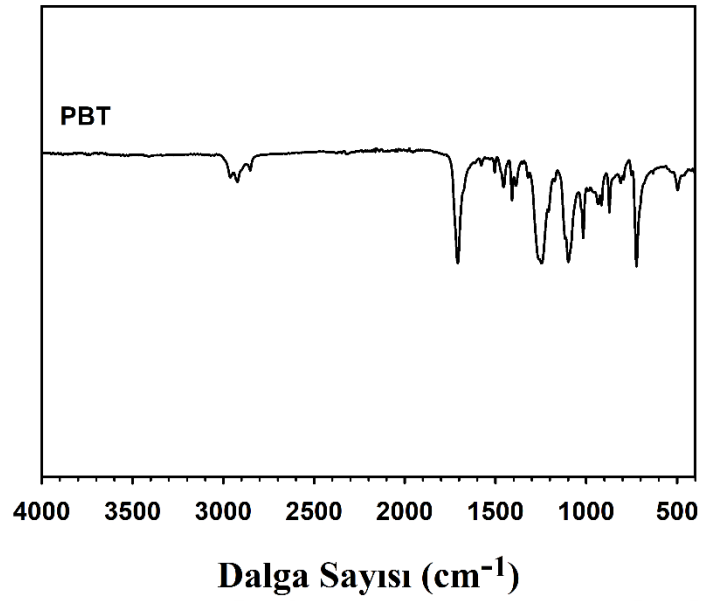
Şekil 4.1: PBT'nin DSC termogramı.

Çizelge 4.2: PBT'nin erime ve kristalizasyon entalpi değerleri.

Numune	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH_m (J/g)	χ_c (%)
PBT	226	186,5	35,06	22,61

PBT'nin FTIR spektrumu incelendiğinde bu polimerin karakteristik pikleri gözlemlenmektedir. C-H bağlarındaki asimetric ve simetric gerilme titreşimleri 2954-2960 cm^{-1} aralığında tespit edilmiştir (PBT'nin CH_2 gruplarının titreşimleri). PBT spektrumundaki 1710 cm^{-1} ve 725 cm^{-1} 'deki keskin zirveler sırasıyla ester grubu C=O gerilme titreşimi ve aromatik halka C-H düzlem dışı deformasyonu olarak gösterilebilmektedir [44].

Poliüretan bazlı boyutlandırmaya sahip karbon elyaf, CF (CF.OS. U1-6 MM) (Yoğunluk: 0,5 g/cm^3) Apply Carbon tarafından temin edilmiştir. Silikon karbür (50 μm) Ataman Kimya firmasından ve MPP (Melapur 200) (Yoğunluk: 1,85 g/cm^3) BASF firmasından sağlanmıştır. DOW firmasından elde edilen Elvaloy PTW malzemesi (Yoğunluk: 0,94 g/cm^3) matris ve katkıları arasındaki arayüzey iyileştirilmesi için uyumlaştırıcı ajan olarak kullanılmıştır. Silikon karbürün yapısal özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.2: PBT'nin FTIR spektrumu.

Çizelge 4.3: Silikon karbür'ün yapısal özellikleri.

Özellik	Sonuç	Birim
Yoğunluk	~3,20	gr/cm ³
SiC	98,00	%
Fe ₂ O ₃	0,24	%
C-içermeyen	0,50	%
Manyetik parçacık	0,12	%

Matris olarak PBT, katkı olarak CF, SiC ve MPP kullanılarak Çizelge 4.4'te belirtilen kompozisyonlar hazırlanmıştır. PBT/CF/SiC/MPP kompozitleri hazırlanmadan önce kalıplama işleminde sorun yaşanmaması adına PBT polimeri ve tüm katkılar, etüvde 80°C sıcaklıkta 4 saat boyunca kurutulmuştur.

Çizelge 4.4: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin formülasyonları.

Numune	PBT (ağ. %)	CF (ağ. %)	SiC (ağ. %)	MPP (ağ. %)
PBT	100	-	-	-
PBT/CF10SiC30	60	10	30	-
PBT/CF20SiC20	60	20	20	-
PBT/CF30SiC10	60	30	10	-
PBT/CF10SiC30MPP	43	10	30	17
PBT/CF20SiC20MPP	43	20	20	17
PBT/CF30SiC10MPP	43	30	10	17

4.2 Polimer Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

4.2.1 Ekstrüzyon yöntemi ile PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin üretimi

Katkıların ve polimerin kurutma işleminin ardından formülasyonlardaki oranlara göre tüm malzemeler hazırlanmıştır. Ardından homojen kompozitler elde etmek için ve polimer içerisine eklenecek katkıların matris içerisinde uygun şekilde dağılılabilmesi için hazırlanan tüm formülasyonlar EPSAN bünyesinde bulunan L/D oranı 26 mm olan birlikte dönen çift vidalı ekstrüder (COPERION ZSK 26 ekstrüder) kullanılarak karıştırılmıştır. Bunun yanı sıra karıştırma sırasında her bir katkı ekstrüderde bulunan farklı besleme kovanlarından yapı içerisine dahil edilmiştir. Sistemin devamında, ekstrüderden çıkan sıcak filamentler oda sıcaklığındaki su banyosunda soğutulmuştur. Son aşamada, soğutulan filamentler granatör olarak adlandırılan kırma makinesi ile granüller elde edilmiştir. Ekstrüzyon prosesinde kullanılan tüm parametreler Çizelge 4.5 ve 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.5: Ekstrüzyon prosesindeki bölge sıcaklıkları.

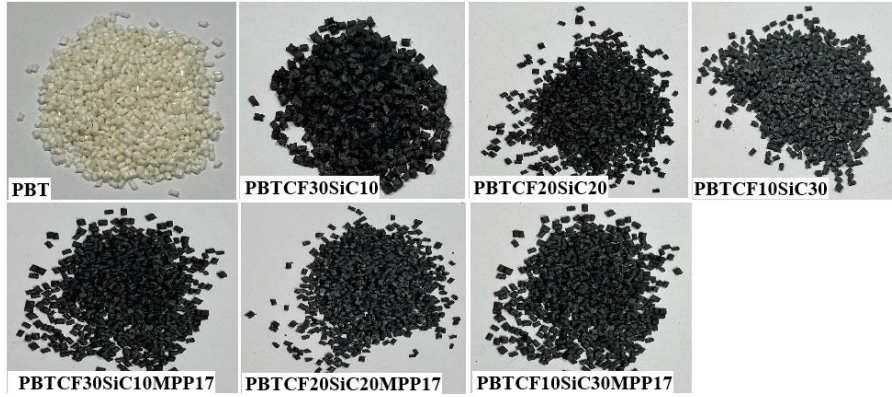
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Eriyik
200	270	260	250	245	235	235	235	235	250	254
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)

Çizelge 4.6: Ekstrüzyon prosesinde kullanılan hız ve devir değerleri.

Parametreler	Değerler
Motor devri (rpm)	800
Tork (%)	80
Yan besleme devri (rpm)	60
Üretim hızı (kg/saat)	25
Granatör devri (rpm)	30

Proses sıcaklıkları, çalışmada kullanılan PBT'nin erime sıcaklığına (226°C) göre belirlenmiştir. Ekstrüzyon makinesindeki vida torku, vidanın hızına bağlı olarak değişmektedir. Vida torku, vida hızının artmasıyla birlikte artmaktadır. Bu proses için vida torku %80 olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışmada kullanılan ekstrüderin maksimum tork değeri %90'dır. Bu değer sonrası motorun üzerine aşırı bir yük biner ve sistem kendini otomatik olarak durdurur hatta kendini kilitlemektedir. Granatör veya kırıcı hızı ekstrüderden çıkan filamentin su banyosu sonrası yatay düzlemdeki hareket hızına göre 30 rpm olarak ayarlanmıştır. Üretilen granüllerin eni ortalama olarak 2,35 mm, boyları ise 3,0 mm'dir. Tüm granüllerin sabit bir boyutta

üretilebilmesi için granatör sonrası elekten geçirme işlemi yapılmıştır. Tüm kompozisyonlara ait granül görselleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: PBT hibrit kompozitlerin granül görselleri.

4.2.2 Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile plakaların üretimi

Ekstrüzyon prosesi ile hazırlanan PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin granülleri sırasıyla etüvde 80°C sıcaklıkta 2 saat boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından hazırlanan PBT/CF/SiC/MPP hibrit polimer kompozitlerin karakterizasyonu için enjeksiyon kalıplama yöntemi ile belirlenen plakalar 170 mm×10 mm×4 mm, 80 mm×10 mm×4 mm ve 125 mm×12 mm×0,8/1,6/3,2 mm boyutlarında üretilmiştir. Tüm plakalar EPSAN firması bünyesinde bulunan enjeksiyon kalıplama makinesi (Jon Wai 150 T) kullanılarak aynı kalıbın farklı gözlerinden üretilmiştir. Enjeksiyon kalıplama prosesine ait proses parametreleri Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.7: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan sıcaklıklar.

Düze	1	2	3
240 (°C)	230 (°C)	230 (°C)	230 (°C)

Çizelge 4.8: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan parametreler.

Parametreler	1	2	3	4	5	6
Enjeksiyon basıncı (Pa)	100	100	100	100	100	100
Enjeksiyon hızı (m/s)	18	15	12	10	9	8
Ütölüme Basıncı (Pa)	80	80	80	80	-	-
Ütölüme Hızı (m/s)	8	8	8	8	-	-
Ütölüme Zamanı (sn)	1	1	1	1	-	-
Mal Alma Basıncı (Pa)	80	80	80	-	-	-

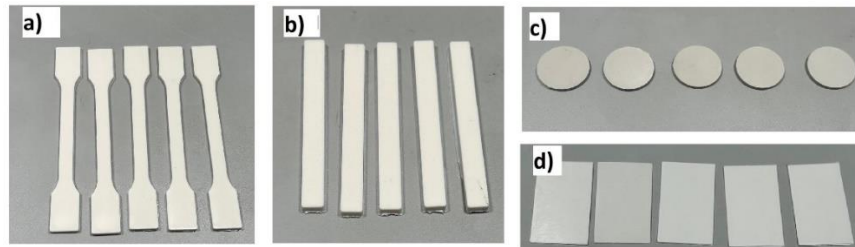
Çizelge 4.8 (devam): Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan parametreler.

Mal Alma Hızı (m/s)	40	40	40	-	-	-
---------------------	----	----	----	---	---	---

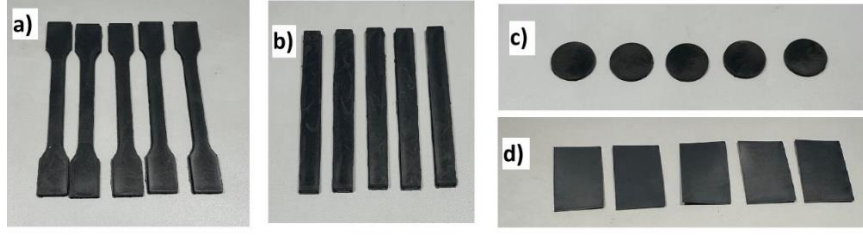
Çizelge 4.9: Enjeksiyon kalıplama prosesinde kullanılan kalıp parametreleri.

Parametreler	Değerler
Mengene bekleme zamanı (sn)	3
Soğuma zamanı (sn)	25
Kalıp ısıtıcı sıcaklığı (°C)	80

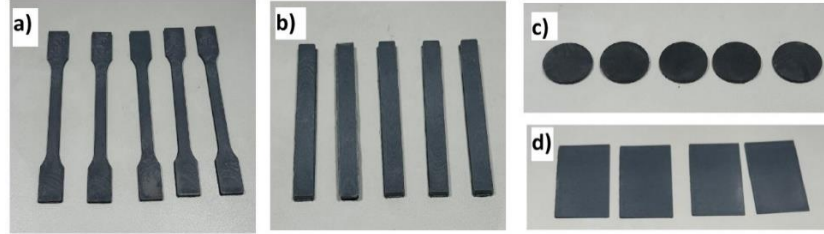
Enjeksiyon kalıplama sırasında proses sıcaklıkları, malzemenin erime sıcaklığının yaklaşık olarak 10-20°C üzerinde çalışılmaktadır. Bunun nedeni, işlem sırasında malzeme akışkanlığını ideal bir proses elde edilebilmesi için en yüksek seviyede tutulmasıdır. Buna ilave olarak basınç altında eriyik malzemenin kalıbın tüm bölgelerine homojen olarak doldurması için akışkanlığının yüksek seviyede olması gerekmektedir. Kalıbın homojen olarak doldurulması form olarak düzgün ve özellik olarak daha homojen plakalar elde edilmesine olanak verecektir. Plakaların düzgün olarak elde edilmesi karakterizasyon sonuçlarının daha doğru elde edilmesini sağlamaktadır. Polimer matris içerisinde kullanılan katkılar polimerin erime sıcaklığını yükseltmektedir. Bunun temel sebebi, bu katkıların genellikle yeni kristal bölgelerin büyümesine olanak tanıyarak çekirdeklenme ajanı olmasıdır [45]. Proses sıcaklığının yanı sıra dozajlanan malzeme miktarı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basınçları, ütüleme (tutma) basıncı ve süresi, kalıp sıcaklığı, kalıp açma veya mengene mesafesi gibi diğer kriterlerde özelinde dikkate alınarak belirlenmiştir [46]. Enjeksiyon prosesinde üretilen tüm test numuneleri Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



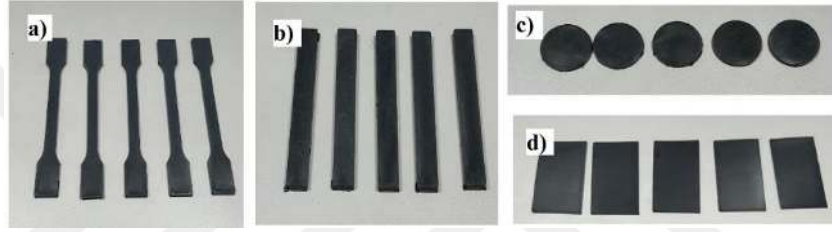
Şekil 4.4: PBT a) Çekme, b) Darbe, c) Isıl iletkenlik, d) UL94.



Şekil 4.5: PBT/CF30/SiC10 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.



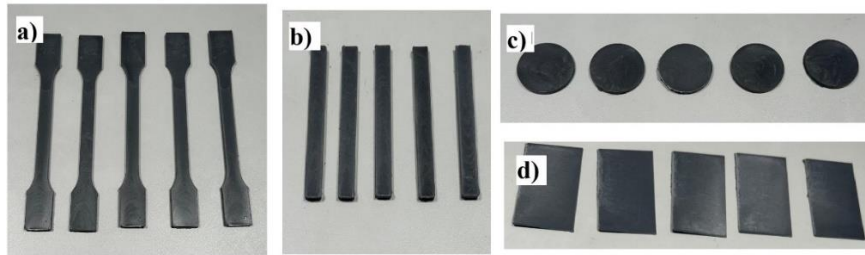
Şekil 4.6: PBT/CF20/SiC20 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.



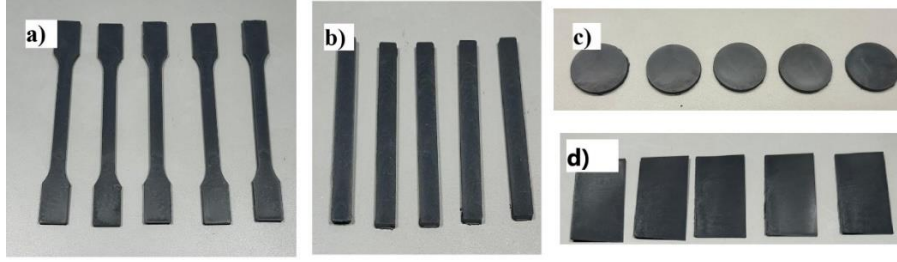
Şekil 4.7: PBT/CF10/SiC30 a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.



Şekil 4.8: PBT/CF10/SiC30/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.



Şekil 4.9: PBT/CF20/SiC20/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.



Şekil 4.10: PBT/CF10/SiC30/MPP a) Çekme, b) Darbe, c) İletkenlik, d) UL94.

4.3 Karakterizasyon Yöntemleri

4.3.1 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin DSC analizi

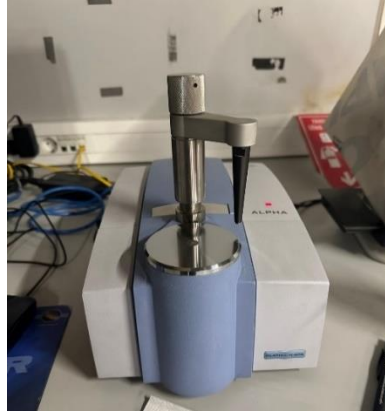
Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi için enjeksiyon kalıplama prosesinde elde edilen 80 mm×10 mm×4 mm boyutlarındaki plakalar üzerinden numuneler hazırlanmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi DSC 214 (Polyma, DSC 214) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.11). DSC analizleri 50°C ila 300°C sıcaklık aralığında 10°C/dk hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11: Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı.

4.3.2 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin FTIR spektrumları

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) analizi için ekstrüzyon prosesinde elde edilen 2,35 mm×3 mm boyutlarındaki granül numuneler kullanılarak BRUKER cihazında analiz edilmiştir (Şekil 4.12). Polimerik gruplar ve katkıların arasındaki tüm bağ etkileşimleri 4000-500⁻¹ cm dalga boyu aralığında elmas kristali kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.12: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi cihazı.

4.3.3 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin termal iletkenlik özellikleri

Numunelerin (kalınlık: 0,5-1 mm) termal iletkenlikleri, ASTM E 1461 standardına göre NETZSCH LFA cihazı kullanılarak bir lazer flaş yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 4.13). Farklı oranlarda hazırlanmış olan PBT/CF/SiC/MPP numunelerin termal iletkenlik ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.13: Termal iletkenlik cihazı.

4.3.4 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin mekanik özellikleri

Enjeksiyon kalıplama prosesi ile elde edilen plakalar üzerinden, ISO 527 1A standardına göre numune boyutu (170 mm×10 mm×4 mm) olan plakalar ZWICK çekme cihazı kullanılarak (Şekil 4.14), oda sıcaklığında 50 mm/dk hızında ve 5 kN değerinde bir yük hücresi ile gerçekleştirilmiştir. Her PBT/CF/SiC/MPP karışımı için 5 adet numune kullanılmıştır. Her numunenin çekme modülü ve dayanımı, kopmadaki uzaması gibi mekanik değerleri hesaplanmıştır. Tüm testler ISO 527A standardına göre beş tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14: Çekme cihazı.

4.3.5 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin mikroyapı analizi

Mikroyapı analizi öncesi tüm numunelerin yüzeyi altın/paladyum karışımı ile kaplanmıştır. PBT bazlı kompozitlerin mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (Zeiss/Gemini 300- EDS: Bruker / XFlash 6I100) (Şekil 4.15) kullanılarak yapılmıştır. Voltaj olarak 5 kV'da çalışılmıştır.

Bu ölçüm Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon kalıplama prosesi ile PBT/CF/SiC/MPP kompozitler için elde edilen plakalar (125 mm×12 mm×0,8mm) uygun bir formda kesilerek kesit alanından SEM tekniği kullanılarak mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15: Taramalı elektron mikroskobu.

4.3.6 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin yoğunluk değerleri

PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin yoğunlukları ISO 1183 standardına göre Mettler Toledo hassas terazisi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Hassas terazi.

4.3.7 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin darbe dayanımları

Çentikli ve çentiksiz 80 mm×10 mm×4 mm boyutlarındaki numunelerle darbe testleri ISO180 ve ISO179 standardına göre Instron CEAST 9050 cihazında yapılmıştır (Şekil 4.17). Bu test sırasında numune tarafından kırılma için emilen enerji miktarı kJ/m² cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 4.17: Darbe testi cihazı.

4.3.8 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin ısıl bozulma sıcaklık değerleri

80×10×4 mm boyutlarındaki PBT kompozit numunelerinin HDT değerleri, ISO 75 standardına göre HDT Vicat cihazı kullanılarak 1,8 MPa spesifik yük altında elde edilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Isıl bozulma sıcaklığı testi cihazı.

4.3.9 PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin alev geciktiricilik değerleri

UL94 GB/T 2408-2008 standardını temel alan, numunenin yanma derecesini belirlemek için bir UL94-x yatay ve dikey yanma test cihazı kullanılarak 125 mm×12 mm×0,8 mm boyutunda numunelerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: UL94 test cihazı.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Sonuçları

Ağırlıkça farklı oranlarda katkı miktarları içeren PBT/CF/SiC/MPP polimer kompozitlerin DSC analiz sonuçları Şekil 5.1 ve 5.2’de gösterilmektedir. Elde edilen erime ve kristallenme sıcaklıkları, kristalinite oranları, erimeye ve kristallenmeye ait entalpi değişimleri Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

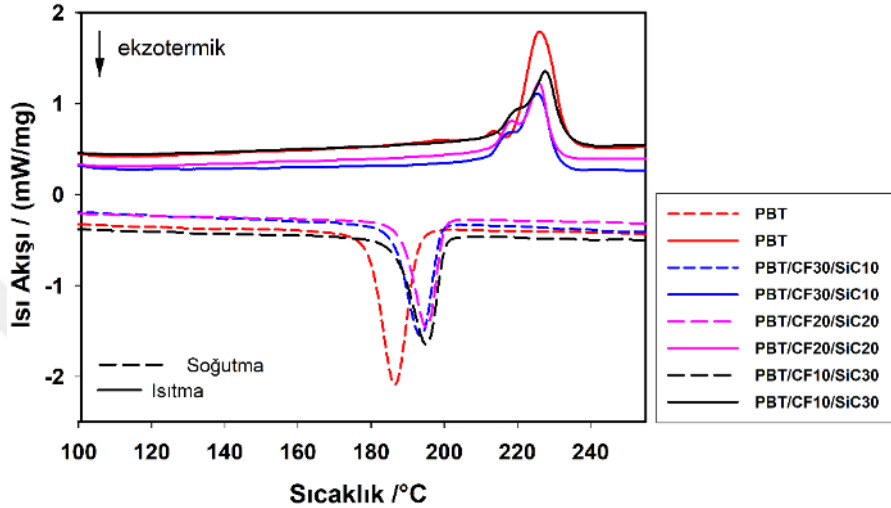
Saf PBT’nin erime sıcaklığı, katkılar matrise eklenmesiyle önemli ölçüde değişmemiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde, saf PBT polimerinin iki erime noktasından oluştuğu görülmektedir. Düşük sıcaklık noktası küçük kristalitlerin erimesiyle ilişkilendirilirken, daha yüksek bir sıcaklıktaki ve daha geniş bir dağılıma sahip diğer erime noktası büyük boyutlu kristalitlerle ilişkilendirilir [47]. Ölçüm sırasında, yavaş ısıtma işleminden dolayı, yapı içerisindeki kusurlu kristal kısımlar (β fazı) ilk olarak erimekte ve henüz erimemiş diğer kısımlar çekirdeklenme noktası olarak işlev görür. Eriyen kısımların yeniden kristalleşmesi ile daha yüksek bir sıcaklıkta eriyebilen yeni bir kristal faz (α kristal fazı) oluşturur, böylece erimiş bimodal oluşur [48].

Kristalleşme sıcaklıkları incelendiğinde, PBT polimerine CF ve SiC eklendiğinde, kristalleşme sıcaklıklarının yaklaşık 4.5% oranında artmıştır ve bu durum T_m ve T_c değerleri arasındaki farkın azaldığını göstermektedir. Bu davranış, katkı partiküllerinin çekirdeklenme noktası olarak görev aldığını ve PBT’nin kristalleşme yeteneğini artırdığını göstermektedir.

PBT/CF/SiC hibrit kompozitlerinin erime entalpileri incelendiğinde, yapıdaki SiC oranı arttıkça entalpi değerlerinin arttığı görülmektedir. PBT/CF/SiC hibrit kompozitlerin toplam kristalinite oranları (χ_c) hesaplandığında tüm bu formülasyonlar için bu değerlerin 19-22% aralığında olduğu belirlenmiştir.

Saf PBT’nin erime sıcaklığı, yapı içerisine ilave edilen MPP katkısı ile de erime sıcaklıklarının büyük bir oranda değişmediği görülmektedir. Kristalleşme sıcaklıkları incelendiğinde, PBT/CF/SiC hibrit yapısına benzer olarak kristalleşme sıcaklıkları

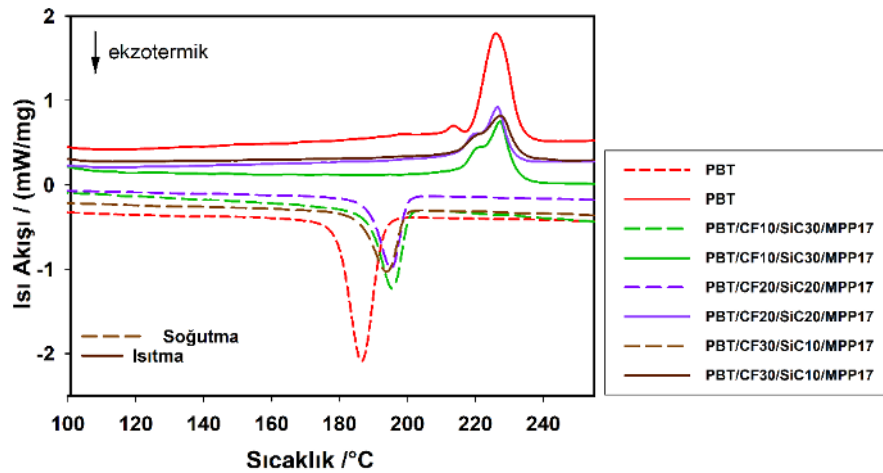
yaklaşık 4.5% oranında artmıştır. Bu durum, katkıların çekirdeklenme noktası olarak görev aldığını ve PBT'nin kristalleşme yeteneğini artırdığını göstermektedir. Burada MPP ilavesinin büyük bir fark yaratmadığı anlaşılmaktadır. PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitlerinin erime entalpileri incelendiğinde, yapıdaki katkı oranları arttıkça entalpi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Öte yandan, PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitlerin kristalinite oranları (χ_c) hesaplandığında tüm formülasyonlar için bu değerlerin 13-22% arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.1: PBT/CF/SiC kompozitlerinin DSC termogramları.

Çizelge 5.1: PBT/CF/SiC kompozitlerin erime ve kristalizasyon değerleri.

Numune	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH_m (J/g)	χ_c (%)
PBT	226,0	186,5	35,06	22,61
PBT/CF30/SiC10	225,5	193,4	24,30	21,79
PBT/CF20/SiC20	225,9	195,0	22,42	19,22
PBT/CF10/SiC30	227,6	195,1	25,82	21,04



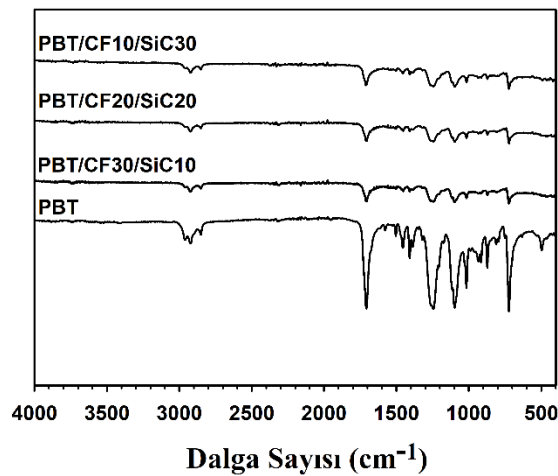
Şekil 5.2: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin DSC termogramları.

Çizelge 5.2: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin erime ve kristalizasyon değerleri.

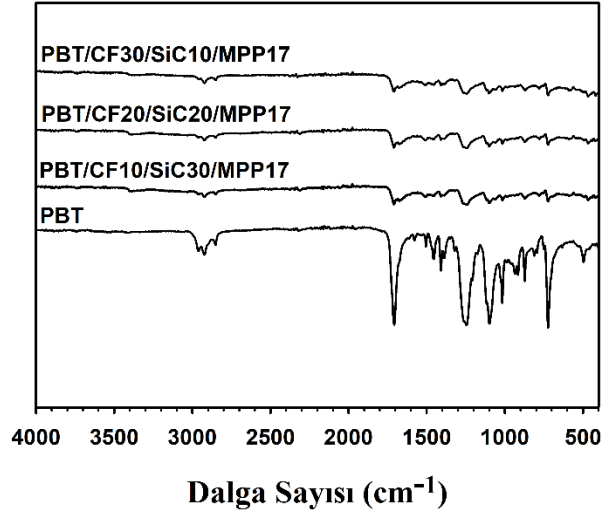
Numune	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH _m (J/g)	χ _c (%)
PBT	226,0	186,5	35,06	22,61
PBT/CF10/SiC30/MPP17	227,2	195,5	21,97	15,64
PBT/CF20/SiC20/MPP17	226,5	195,1	17,85	13,89
PBT/CF30/SiC10/MPP17	227,4	193,9	16,42	13,84

5.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi Sonuçları

Ağırlıkça farklı oranlarda katkı miktarları içeren PBT/CF/SiC/MPP polimer kompozitlerinin FTIR spektrumları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.3'te yer alan saf haldeki PBT polimerine ait FTIR spektrumu incelendiğinde C–H bağlarındaki asimetrik ve simetrik gerilme titreşimleri 2954-2960 cm⁻¹ aralığında gözlemlenmiştir. (PBT'nin CH₂ gruplarının titreşimleri). 1710 cm⁻¹ ve 725 cm⁻¹'deki keskin pikler sırasıyla ester grubu C=O gerilme titreşimi ve aromatik halka C–H düzlem dışı deformasyonu olarak tanımlanmaktadır [44]. Değişen CF ve SiC oranlarındaki polimer karışımlarının FTIR spektrumları incelenip saf haldeki PBT ile karşılaştırıldığında SiC ve CF oranına bağlı olarak PBT'nin 2954–2960 cm⁻¹ aralığındaki CH₂ geriliminin iki pik noktası, SiC'nin artan hacim fraksiyonu ile daha derin görünen karboksilik asit OH gerilmesi ve aldehit CH gerilmesi ile ilgilidir. Bunun yanı sıra 1712 cm⁻¹'deki pik noktası, CF'ye bağlı olarak karboksilik C=O grubuna karşılık gelir [40]. 740-1100 cm⁻¹ bandındaki Si–O gerilme bandı silikon karbürdeki Si–O bağlarından kaynaklanmaktadır. 1589 ve 1631 cm⁻¹'deki pikler (aromatik C–C) ve 1753 cm⁻¹'deki yoğun olmayan bant C=O piklerinin titreşimlerinin de şiddetlerinin belirgin şekilde değiştiği gözlenmektedir [49].



Şekil 5.3: PBT ve PBT/CF/SiC kompozitlerin FTIR spektrumları.



Şekil 5.4: PBT ve PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin FTIR spektrumları.

Silikon karbür, karbon elyaf ve melamin polifosfat takviyeli polibütilen tereftalat kompozitlerin FTIR spektrumları, her bileşenin kimyasal yapısı ve katkılarının birleşiminden oluşur. Bu malzemelerin FTIR piklerindeki bağları anlamak, bu kompozitlerin kimyasal özelliklerini ve takviye malzemelerinin etkilerini anlamak açısından önemlidir.

Farklı CF, SiC ve MPP oranlarındaki polimer kompozitlerin FTIR spektrumları saf haldeki PBT sonuçları ile karşılaştırılmıştır. MPP oranına bağlı olarak, NH_2 grubunun gerilme piki, P=O grubunun gerilme titreşim piki ve melamin iskeleti C=N grubunun gerilme titreşim piki sırasıyla 1515 cm^{-1} , 1332 cm^{-1} ve 1676 cm^{-1} 'da belirgin bir şekilde görünmüştür.

Bu FTIR analizleri, kompozit malzemelerin kimyasal yapılarındaki etkileşimleri ve her bir takviye malzemenin katkı sağladığı bağları anlamaya yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak, PBT'nin FTIR spektrumu incelendiğinde, katkı oranlarına bağlı olarak yapıda belirgin olarak değişiklikler ve yeni oluşumlar gözlemlenmiştir. Örneğin; PBT matrisine MPP katkısının ilave edilmesiyle, özellikle fosfat (P=O) ve amine (NH_2) gruplarıyla ortaya çıkan yeni kimyasal bağlar görülmektedir. Diğer bir yönden MPP, PBT matrisi ve CF, SiC ve MPP katkıları arasında kimyasal oluşumları sağlayan bir ajan olmaktadır. Yapıdaki bu etkileşimler, mekanik ve alev geciktirici özelliklerin iyileştirilmesinde büyük bir yere sahiptir [50].

5.3 Yoğunluk Analiz Sonuçları

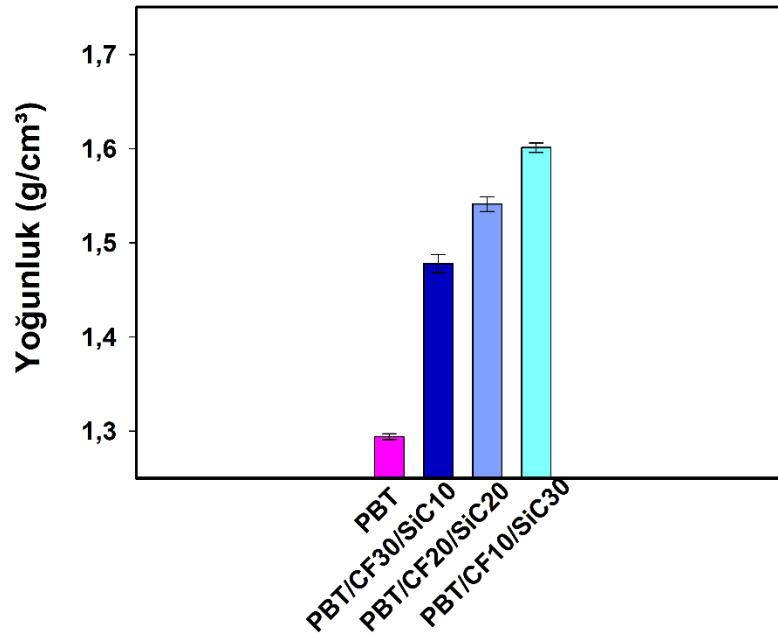
PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin ağırlık ölçümleri Arşimed prensibine göre hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 5.5 ve 5.6 ile Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Şekil 5.5'de yer alan kompozitlerin yoğunluk değerleri analiz edildiğinde polimer matris içerisindeki CF ve SiC oranı arttıkça kompozit yapının yoğunluğunun da arttığı görülmektedir. PBT polimerine kıyasla daha yüksek yoğunlukların beklenmesi öngörülmüştür.

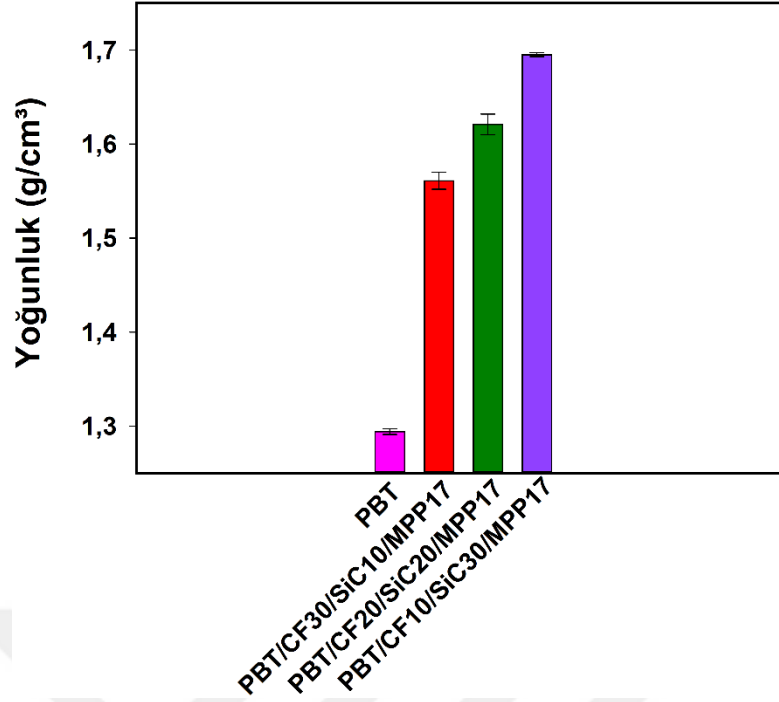
Yoğunluk artışında en etkili rol oynayan katkı SiC katkısı olmuştur. Örnek olarak, saf PBT polimerine göre, PBT/CF10/SiC30 karışımının yoğunluğu yaklaşık %23,72 değerinde bir artış göstermiştir.

Şekil 5.6'da yer alan kompozitlerin yoğunluk değerleri incelendiğinde polimer karışımı içinde yer alan ve yoğunlukları PBT polimerine kıyasla daha yüksek olan CF ve SiC oranı arttıkça ve MPP'nin eklenmesiyle kompozit yapının yoğunluğunun beklendiği üzere arttığı görülmektedir.

Şekil 5.5'den farklı olarak yapı içerisine ağırlık %17 MPP'nin eklenmesiyle beraber karışım yoğunlukları az da olsa artmıştır. Örnek olarak, PBT/CF10/SiC30 karışımının yoğunluğu PBT/CF10/SiC30/MPP17 karışımının yoğunluğuna kıyasla yaklaşık %5,87 değerinde bir artış göstermiştir.



Şekil 5.5: PBT/CF/SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri.



Şekil 5.6: PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerinin yoğunluk değerleri.

Çizelge 5.3: PBT kompozitlerin yoğunluk değerleri.

Numune	Yoğunluk (g/cm³)
PBT	1,29 ± 0,03
PBT/CF30/SiC10	1,48 ± 0,01
PBT/CF20/SiC20	1,54 ± 0,01
PBT/CF10/SiC30	1,60 ± 0,01
PBT/CF30/SiC10/MPP17	1,56 ± 0,15
PBT/CF20/SiC20/MPP17	1,62 ± 0,11
PBT/CF10/SiC30/MPP17	1,69 ± 0,02

5.4 Mikroyapı Analiz Sonuçları

Şekil 5.7-5.12, sırasıyla farklı CF/SiC ve CF/SiC/MPP oranları içeren numuneler için 200× ve 1000× büyütme oranları kullanılarak elde edilen SEM görüntülerini göstermektedir. PBT hibrit kompozitlerin tüm SEM görüntüleri, numunelerin lif yönüne dik kesitlerinden alınmıştır.

Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9’da PBT/CF/SiC kompozit yapıların, katkı-matris arayüzünde boşlukların olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun mekanik sonuçlarla uyumlu olarak daha düşük çekme dayanımına yol açtığı sonucuna varılabilmektedir.

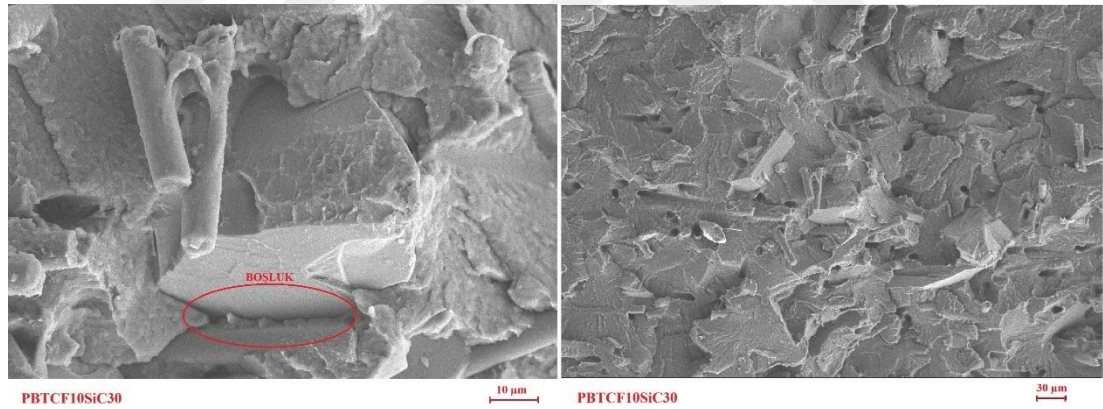
CF ve SiC katkıları ve polimer matris arasındaki zayıf bağlanma nedeniyle kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde zayıflama yaşandığını göstermektedir. Bu

davranış katkının polimer matrisle yeterince kaynaşmadığı ve farklı malzemelerin bir araya gelerek oluşturduğu bir yapının zamanla ayrılmasına yol açan zayıf bir bağlantı olarak da nitelendirilebilmektedir.

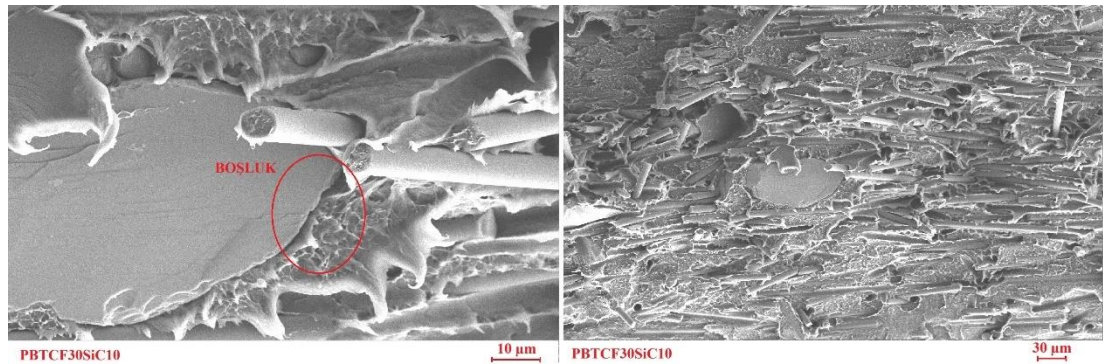
Diğer bir yönden, Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de, MPP içeren kompozitlerde katkılar ve matris arasındaki arayüz oluşumunun iyileştiği gözlemlenmektedir. Katkılar matrise daha güçlü bir şekilde bağlanmıştır ve bu sayede kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmektedir.

Yapıya MPP’nin eklenmesi, arayüzde daha düzgün bir birleşim sağladığı için, kompozit yapının bütünlüğünü artırır ve bu sayede daha yüksek çekme dayanımı elde edilebilmektedir. Yapı bütünlüğünün oluşmasıyla birlikte MPP içeren kompozitler aynı zamanda daha iyi termal iletkenlik değerleri de göstermektedir. Bu sayede ısıyı daha iyi iletmektedirler.

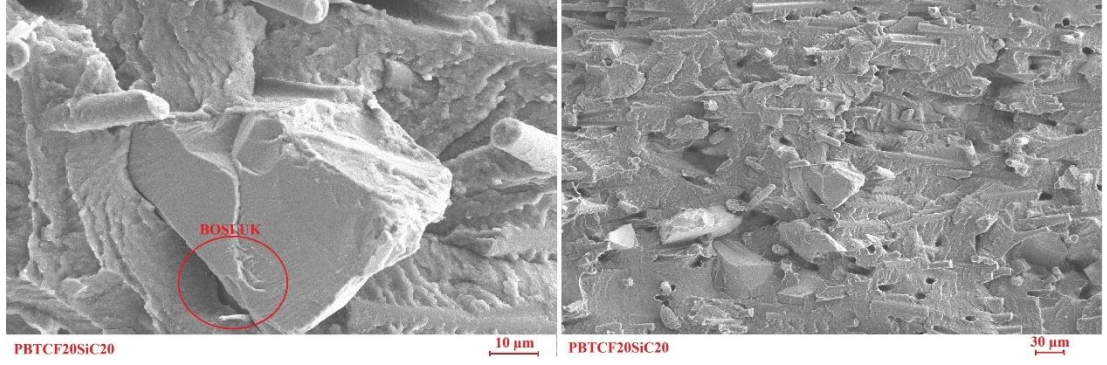
SEM analizleri, matrise ilave edilen katkıların kompozit yapıların mekanik ve termal özellikleri üzerinde nasıl önemli bir etki yarattığını anlamada kritik bir rol oynamaktadır.



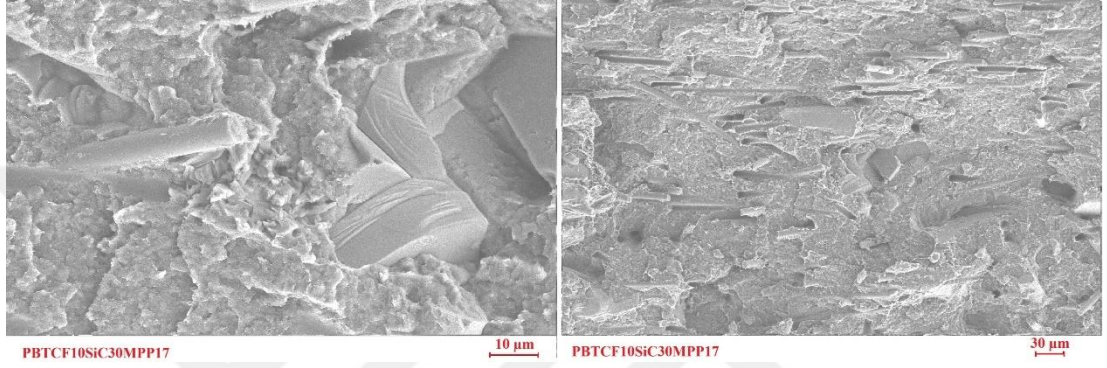
Şekil 5.7: PBT/CF10/SiC30 kompozitin mikroyapı görüntüleri.



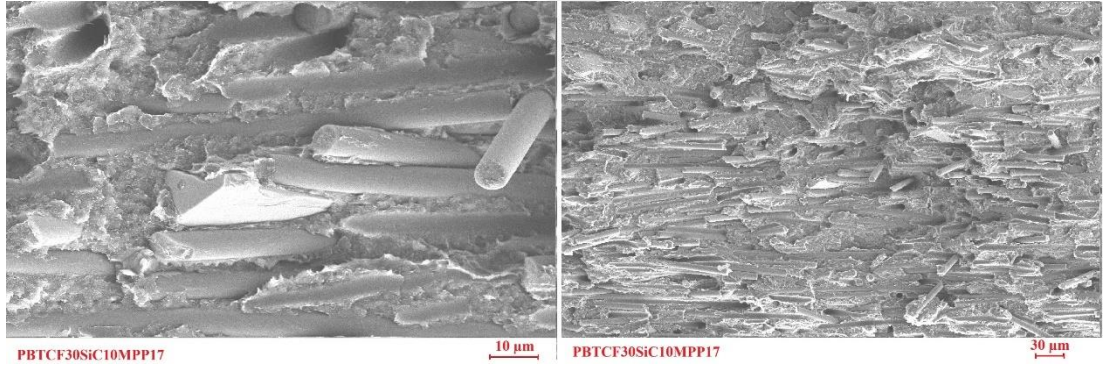
Şekil 5.8: PBT/CF30/SiC10 kompozitin mikroyapı görüntüleri.



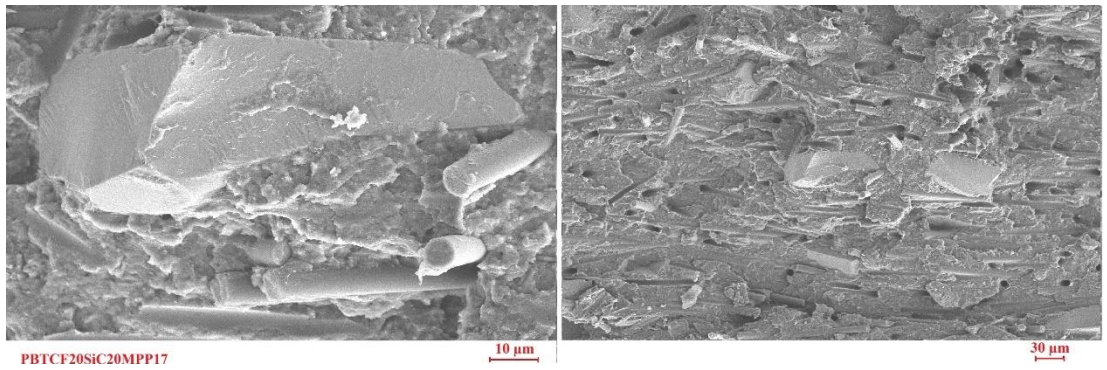
Şekil 5.9: PBT/CF20/SiC20 kompozitin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.10: PBT/CF10/SiC30/MPP17 kompozitin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.11: PBT/CF30/SiC10/MPP17 kompozitin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 5.12: PBT/CF20/SiC20/MPP17 kompozitin mikroyapı görüntüleri.

5.5 Mekanik Özelliklerin Analiz Sonuçları

PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP hibrit polimer kompozitler için mekanik testler sonucu elde edilen çekme modülü, çekme dayanımı ve kopmadaki uzama sonuçları Çizelge 5.4'te belirtilmiştir. Şekil 5.13'te tüm hibrit polimer kompozitlerin çekme dayanımı ve kopmadaki uzama değerlerinin katkı oranlarının değişimiyle birlikte arttığı veya azaldığı gösterilmektedir.

Saf PBT polimerinin elastik modülü ve çekme dayanımı değerleri incelendiğinde elde edilen kompozitlerin değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Ancak sahip oldukları kopma uzaması değerlerinin PBT'ye kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Saf PBT polimerine kıyasla SiC ve CF oranı arttıkça hibrit kompozit için elastik modül değerinin %86, çekme dayanımının %18,60 oranında arttığı, kopmadaki uzama değerinin %73,63 oranında azaldığı ve malzemelerin süneklik halden daha gevrek hale geldiği gözlenmektedir.

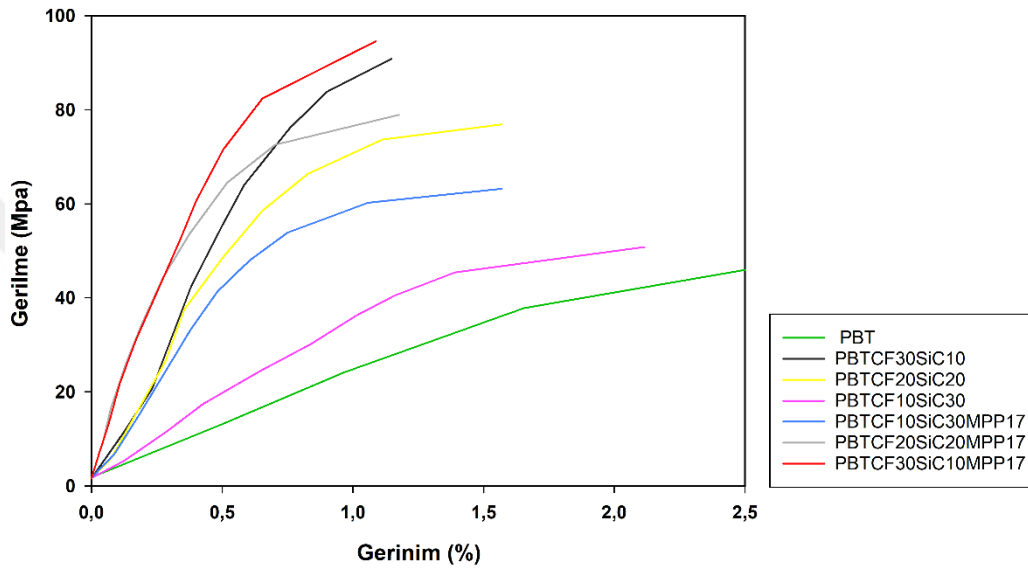
Sonuçlara bakıldığında, SiC katkısının miktarı arttıkça çekme dayanımının ve elastik modülünün azaldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra SiC katkısının oranı arttıkça kompozitlerin kopmadaki uzama değerlerinde de bir artış görülmüştür. CF katkısı için ise ters bir davranış gözlemlenmiştir; CF oranı arttıkça kopmadaki uzamasının azaldığı ve elastik modülünün iyileştiği gösterilmiştir. MPP katkısının yapıya dahil edilmesiyle birlikte ise, elastik modülünde belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir.

Yine saf PBT'ye kıyasla (ağ.17%) MPP'nin yapıya dahil edilmesiyle beraber elastik modül değerinin %45,87 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar SEM analiz sonuçları ile de desteklenmektedir.

Literatürde yapılan bir çalışmada, doğrusal düşük yoğunluklu polietilen polimerine, Melamin polifosfat (MPP) katkısı eklenmiş yanıcılık ve mekanik özellikleri üzerindeki etkiler incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, MPP'nin yapıya eklenmesiyle, malzemenin alev dayanımı ve mekanik özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür. Yapı içerisinde MPP katkısının oranının artmasıyla birlikte, eğilme ve çekme dayanımı artmıştır fakat çekme kopma uzaması azalmıştır. Literatürdeki örneklerle bakıldığında bu çalışmadaki sonuçlar ile örtüşmektedir [51].

Çizelge 5.4: PBT kompozitlerin mekanik test sonuçları.

Numune	Elastik modül (Mpa)	Çekme dayanımı (Mpa)	Kopmadaki uzama (%)
PBT	2300 ± 47	42,84 ± 1,27	8,00 ± 0,02
PBT/CF10/SiC30	4290 ± 38	50,81 ± 3,24	2,11 ± 0,26
PBT/CF20/SiC20	5060 ± 25	76,90 ± 2,26	1,57 ± 0,70
PBT/CF30/SiC10	6170 ± 32	90,84 ± 4,50	1,14 ± 1,60
PBT/CF10/SiC30/MPP17	7400 ± 30	63,20 ± 1,51	1,56 ± 0,35
PBT/CF20/SiC20/MPP17	8760 ± 21	78,93 ± 0,96	1,17 ± 0,58
PBT/CF30/SiC10/MPP17	9000 ± 17	94,59 ± 1,78	1,08 ± 1,20



Şekil 5.13: PBT kompozitlerin gerilim-gerinim eğrileri.

5.6 Termal İletkenlik Özelliklerinin Analiz Sonuçları

PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP hibrit polimer kompozitlerin termal iletkenlik sonuçları Çizelge 5.5'te belirtilmiştir. Şekil 5.14'te PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP hibrit polimer kompozitler için elde edilen termal iletkenlik katsayılarının katkı türü ve oranı ile değişimi gösterilmektedir. Saf PBT polimerine kıyasla hibrit kompozitlerin termal iletkenlik değerinde artış gözlemlenmektedir. Kompozitlerin ısı iletkenliğindeki belirgin iyileşme, PBT içinde filament şeklindeki karbon fiber ve toz şeklindeki silikon karbürden oluşan iletken ağı oluşumundan kaynaklanmıştır [5].

Ağırlıkça ilave edilen SiC miktarı arttıkça ısı iletkenlik değeri artarken CF oranı arttıkça termal iletkenlik değerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, daha küçük boyutta olan SiC partiküllerinin CF katkıları arasına yerleşerek numunelerin bir yüzeyinden diğer bir yüzeyine kadar devam eden iletken yollarının oluşmasını sağlamaktadır [35]. Diğer bir yandan yapı içerisine dahil edilen MPP'nin (ağ. %17)

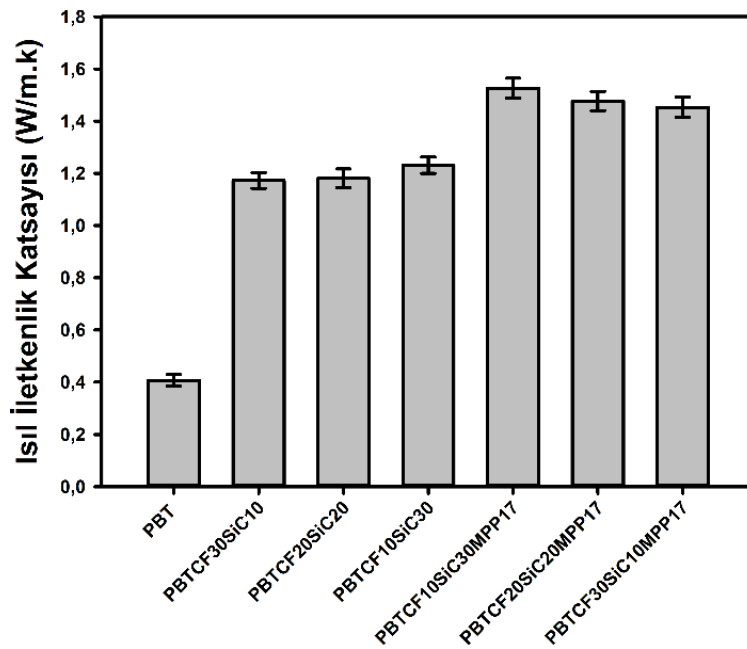
termal iletkenlik değerlerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Saf PBT polimerine kıyasla en yüksek artışı PBT/CF10/SiC30/MPP17 kompoziti göstermiştir ve yaklaşık %275 oranında bir artışa ulaşılmıştır.

MPP'nin CF ve SiC katkılı kompozitlerde, katkı-matris arayüzeyinin iyileştirmesi sayesinde katkılar arasında kesintisiz bir termal iletken yolun oluşması sağlanmıştır. Bu sebeple, MPP içermeyen kompozit yapılar kıyasla daha yüksek termal iletkenlik değerleri elde edilmiştir.

Bu sonuç, SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir (şekil 5.10, 5.11 ve 5.12). Termal olarak iletken bir ağ yapı oluşturmak için uygun katkı oranının eklenmesi ve arttırılması termal iletkenliği büyük ölçüde iyileştirmektedir [3].

Çizelge 5.5: PBT/CF/SiC kompozitlerin ısı iletkenlik katsayıları.

Numune	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.k)
PBT	0,41 ± 0,14
PBT/CF30/SiC10	1,17 ± 0,04
PBT/CF20/SiC20	1,18 ± 0,04
PBT/CF10/SiC30	1,23 ± 0,03
PBT/CF30/SiC10/MPP17	1,45 ± 0,04
PBT/CF20/SiC20/MPP17	1,48 ± 0,04
PBT/CF10/SiC30/MPP17	1,53 ± 0,04



şekil 5.14: PBT kompozitlerin ısı iletkenlik değişimleri.

5.7 Isıl Bozunma Sıcaklıkları

Isı deformasyon sıcaklığı veya ısı sapma sıcaklığı değeri olan HDT (Isı sapma sıcaklığı) bir plastik malzemenin belirli bir yük altında şekil değiştirdiği sıcaklık olarak bilinmektedir [52].

Kullanılan 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Yöntem A: 1.80 MPa, Yöntem B:0.45 MPa ve 8.00 MPa'dır.

Test numunelerin sertliğine bağlı olarak yüksek yük ile test yapılması tavsiye edilmektedir. Çünkü numune üzerine uygulanan yük, ısı sapma sıcaklığı sonuçlarını belirlemektedir [53].

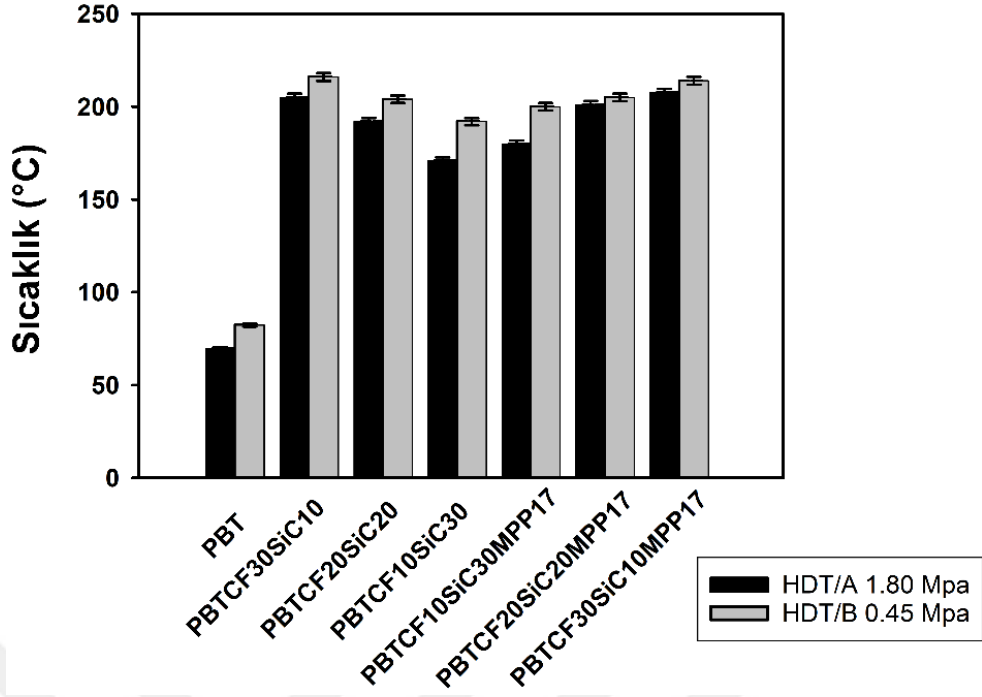
Saf PBT polimerinin, PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitlerinin HDTA ve HDTB değerleri Çizelge 5.6 ve Şekil 5.15'te sunulmuştur. HDT/A ve HDT/B değerine göre PBT polimerine eklenen (ağırlıkça %10-30) CF katkısı PBT'nin HDT değerlerini arttırırken SiC katkısı düşürmektedir. Bununla birlikte, PBT'ye ağırlıkça %17 MPP katkısı eklenmesi tüm kompozisyonlarda PBT'nin HDT değerlerini arttırmıştır.

HDT testinin amacı plastik malzemelerde yüksek sıcaklık performansını belirlemektir. Genellikle endüstriyel olarak malzeme seçiminde sürekli kullanım için maksimum sıcaklıkları belirlemek adına kullanıldığı bilinmektedir [5].

Hibrit CF/SiC/MPP katkılı PBT, saf PBT'den daha yüksek bir sürekli kullanım sıcaklığına sahiptir. Buna ek olarak bu çalışmada en yüksek HDT değerine sahip olan PBT/CF30/SiC10 kompoziti saf PBT'ye kıyasla %197 değerinde artmıştır.

Çizelge 5.6: PBT kompozitlerin ısıl bozunma sıcaklıkları.

Numune	HDT/A 1,80 MPa	HDT/B 0,45 MPa
PBT	69,7 ± 0,59	82,3 ± 0,70
PBT/CF30/SiC10	205 ± 2,00	216 ± 2,11
PBT/CF20/SiC20	192 ± 1,80	204 ± 2,05
PBT/CF10/SiC30	171 ± 1,66	192 ± 1,86
PBT/CF10/SiC30/MPP17	180 ± 1,82	200 ± 2,03
PBT/CF20/SiC20/MPP17	201 ± 2,02	205 ± 2,07
PBT/CF30/SiC10/MPP17	208 ± 2,06	214 ± 2,18



Şekil 5.8: PBT kompozitlerin HDT/A ve HDT/B değerleri.

5.8 Darbe Dayanımı Test Sonuçları

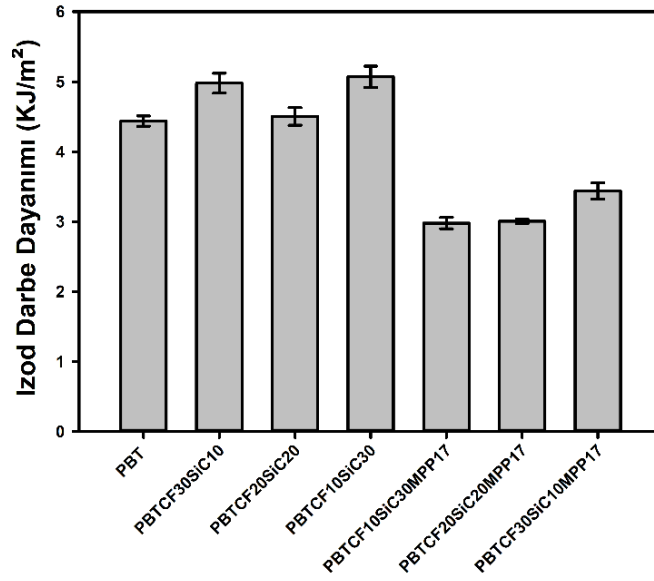
Saf PBT polimerinin, PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitlerinin çentikli Izod darbe dayanım değerleri Çizelge 5.7 ve Şekil 5.16'da sunulmuştur.

Hibrit polimer kompozitlerin çentikli Izod darbe dayanımları incelediğinde, CF ve SiC'nin yapıya eklenmesiyle darbe dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir.

Diğer bir yönden, MPP ilavesi tüm hibrit kompozitlerde darbe dayanımının düşmesine neden olmuştur. MPP katkısı, PBT matrisinin esnekliğini ve darbe dayanımını azaltarak, malzemenin daha kırılgan hale gelmesine neden olmaktadır [51].

Çizelge 5.7: PBT kompozitlerinin Çentikli izod darbe dayanım değerleri.

Numune	Izod darbe dayanımı (kJ/m ²)
PBT	4,44 ± 0,01
PBT/CF30/SiC10	4,98 ± 0,14
PBT/CF20/SiC20	4,50 ± 0,12
PBT/CF10/SiC30	5,07 ± 0,15
PBT/CF10/SiC30/MPP17	2,98 ± 0,01
PBT/CF20/SiC20/MPP17	3,00 ± 0,03
PBT/CF30/SiC10/MPP17	3,43 ± 0,12



Şekil 5.9: PBT kompozitlerin Çentikli izod darbe dayanımları.

5.9 UL94 Alev Geciktiricilik Sonuçları

UL 94, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Underwriters Laboratuvarı tarafından yayınlanan ve plastiklerin yanıcılık güvenliği standardıdır. Bu standart, numune tutuşturulduktan sonra plastik malzemenin alevi söndürme veya yayma eğilimini belirlemektedir. Alev testlerinin sonuçlarına göre malzemelere 12 adet UL 94 alev sınıflandırması bulunmaktadır. Plastik test numuneleri kontrollü laboratuvar koşulları altında belirtilen bir test alevine tabii tutulduktan sonra bu malzemenin yanma özelliklerini ayırt etmek için kullanılmaktadır. 12 sınıflandırmadan altısı, elektrik elektronik sektöründe kullanılan ürünlerde bulunan muhafazaların, yapısal parçaların ve yalıtkanların üretiminde yaygın olarak kullanılan malzemelerle ilişkilidir. En az alev geciktirici olandan en çok alev geciktirici olana doğru sıralayacak olursak [54];

- 1) HB: yatay bir plastik numune üzerinde yavaş yanmadır; kalınlık <3 mm için yanma hızı <76 mm/dakika veya yanma 100 mm'den önce durmaktadır.
- 2) V-2: dikey bir plastik numunede yanma 30 saniye içinde durur; düzenekte alt tarafa konulan pamuk üzerine alev parçacıklarının damlamasına izin verilir.
- 3) V-1: dikey plastik numunede yanma 30 saniye içinde durur; alev almadıkları sürece düzenekte alt tarafa konulan pamuk üzerine parçacık damlamalarına izin verilir.

- 4) V-0: dikey plastik numunede yanma 10 saniye içinde durur; alev almadıkları sürece düzenekte alt tarafa konulan pamuk üzerine parçacık damlamalarına izin verilir.

PBT/CF/SiC ve PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin UL-94 alev geciktirici derecesinin test sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Tüm kompozitlerde yapıya (ağ. %17) MPP katkısının dahil edilmesiyle beraber yanmazlık sınıfının HB’den V2 değerine ulaştığı görülmektedir. SiC katkı oranının artmasıyla beraber yanma süresinin azaldığı görülmektedir. Diğer bir yönden, yanma hızında azaldığı gözlemlenmiştir. PBT/CF/SiC hibrit kompozitlerde; malzemelerin yanması saf PBT’ye kıyasla 10 sn’den önce durmuştur. PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitlerde ise; malzemelerin yanması 30 sn’den önce durmuştur ve düzenekte alt tarafa konulan pamuk üzerine alev parçacıkları damlama yapmıştır.

Çizelge 5.8: PBT kompozitlerin UL94 testi sonuçları.

Numune	Kalınlık (mm)	UL94 sınıfı	Yanma hızı (mm/dk)	Yanma süresi (sn)
PBT	0,8	HB	20	-
PBT/CF30/SiC10	0,8	HB	12	-
PBT/CF20/SiC20	0,8	HB	10	-
PBT/CF10/SiC30	0,8	HB	9	-
PBT/CF10/SiC30/MPP17	0,8	V2	-	25
PBT/CF20/SiC20/MPP17	0,8	V2	-	22
PBT/CF30/SiC10/MPP17	0,8	V2	-	21

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında saf PBT polimerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında CF/SiC ağırlıkça %17 oranında ise MPP katkıları eklenerek PBT/CF/SiC/MPP hibrit kompozitler ekstrüzyon prosesiyle üretilmiştir. Ekstrüzyon ile homojen olarak karışmış PBT/CF/SiC/MPP kompozit filamentler granatör yardımı ile granül formuna getirilmiştir. Elde edilen granüllerden, kurutma işlemi sonrası enjeksiyon kalıplama prosesi ile test plakaları üretilmiştir. Üretilen bu plakalardan uygun boyutlardaki numuneler kullanılarak malzemelerin fiziksel, termal, mekanik ve mikroyapı özellikleri analiz edilmiştir.

Ağırlıkça farklı katkı oranları içeren PBT/CF/SiC/MPP kompozitlerin termal iletkenlik katsayıları incelendiğinde özellikle SiC katkı oranı arttıkça termal iletkenlik değerinde bir artış gözlemlenmiştir. Kompozitlerin içerisinde en yüksek değeri 1,526 W/m.K ile ağırlıkça %30 S,C, %10 CF ve %17 MPP katkıları içeren kompozit vermiştir. Ulaşılan bu değer ortalama 0,407 W/m.K termal iletkenlik özelliği gösteren saf PBT'nin yaklaşık olarak 4 katı olmaktadır.

PBT/CF/SiC/MPP polimer kompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde, kullanılan katkıların polimer matrisi içerisinde topaklanma olmadan homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Fakat MPP içermeyen kompozit yapılarda bazı boşluklar görülmektedir. Bu durumda MPP sayesinde arayüzey iyileşmesi sağlanmıştır.

Hibrit polimer kompozitlerin alev geciktiricilik özelliklerinin belirlendiği UL94 sonuçları incelendiğinde, MPP katkısının PBT polimer kompozitine eklenmesiyle beraber yanmazlık seviyesinin HB'den V2 sınıfına ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durumda alev yanma hızı düşüp, malzeme aleve daha dayanıklı hale gelmiştir. Kompozitlerin mekanik test sonuçları analiz edildiğinde, saf PBT polimerine kıyasla SiC ve CF oranı arttıkça kompozitlerin elastik modül değerinin ve çekme dayanımı değerinin arttığı, kopmadaki uzama değerinin azaldığı ve malzemelerin sünek bir halden daha gevrek ve kırılgan bir hale geçtiği gözlemlenmiştir. PBT/CF30/SiC10/MPP17 en yüksek gerilme mukavemeti değerini göstermiştir. Saf PBT polimerine kıyasla 2,5 kat artış olmuştur.

Bu çalışmanın devamında, elde edilen hibrit kompozit yapıların özelliklerinin iyileştirilmesi ve katkı uyumlarının artırılması amacıyla silan uyumlaştırıcı ajanların kullanılabileceği düşünülmektedir.

Literatürde daha önce hazırlanan EP/SiC-MPP kompozitlerin ısı iletimi SiC'nin yüzeyindeki alev geciktiricinin modifiye edilmesiyle aynı anda gelişmiş termal iletkenlik ve alev geciktirme elde edebileceği gösterilmiştir. EP/SiC-MPP20 kompozitin termal iletkenliği 0,53 W/K.m olarak elde edilmiş [42].

Bunun yanı sıra termal stabilite sağlamak adına ve mekanik özellikleri iyileştirmek için zincir uzatıcılar kullanılabilir. Yine literatürde örneği görülen geri dönüştürülmüş CF ile PP arasındaki uyumluluğun iyileştirilmesi sayesinde maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (PPMA) kullanılarak polipropilen/geri dönüştürülmüş CF kompozitlerinin mekanik özelliklerinin etkili bir şekilde iyileştirildiği ve uyumluluğun büyük ölçüde moleküler ağırlığa ve PPMA'nın anhidrit gruplarının miktarına bağlı olduğunu bulunmuştur [55].

Tez çalışmasında öne çıkan en önemli özellik, üstün özelliklerinden dolayı otomotiv sektöründe kaput altı parçalarında sıklıkla kullanılan PBT polimerine CF/SiC/MPP katkıları eklenerek alev geciktiriciliğinin ve termal iletkenliğinin artırılması ve bu yapıların üretiminde geleneksel üretim proses yöntemlerinin kullanılmasıdır. Diğer bir yönden geliştirilen bu polimerik kompozitlerle ısıyı ileten ve aleve daha dayanıklı kaput altı parçaların üretilmesi düşünülmektedir. Bu sebeple hem hafiflik hem de maliyet yönünden otomotiv sektörü için geliştirilen bu özel kompozit yapılar büyük bir avantaj sağlaması ve bundan sonraki çalışmalara öncülük edebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Czel, G., Janovszky, D., Sycheva, A.** (2023). Effect of different fillers on thermal conductivity, tribological properties of Polyamide 6. *Scientific Reports*, 13 (845), from <https://www.nature.com/srep/>.
- [2] **Wang, F., Shi, W., Mai, Y., Liao, B.** (2019). Effect of Thermal Conductive Fillers on the Flame Retardancy, Thermal Conductivity, and Thermal Behavior of Flame-Retardant and Thermal Conductive Polyamide 6. *Materials*, 12 (24), 4114.
- [3] **Yıldız, G.** (2019). *Polimer kompozit esaslı li-ion batarya paketlerinin geliştirilmesi ve özelliklerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [4] **Huang, Y., Li, L., Qian, L., Tang, W., Zhang, Y.** (2022). Synergistic Effect between Piperazine Pyrophosphate and Melamine Polyphosphate in Flame Retardant Coatings for Structural Steel, *Polymers*, 14 (18) 3722.
- [5] **Aker, S., Altay, L., Yenier, Z., Yoldaş, S.** (2021). Improving thermal conductivity of polybutylene terephthalate composites with hybrid synthetic graphite and carbon fiber, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 36 (2).
- [6] **Celen, A., Kaba, M. ve Kalkan, O.** (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar ve Termal Yönetim Sistemlerinin İncelenmesi, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 4, 1119-1136.
- [7] **Güven, F., Rende, H.** (2017). Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, cilt 58, sayı 689, s. 81-95.
- [8] **Gülmez, S.** (2018). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler*. (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [9] **Darıcık, F., Özarslan, H., Yavuz, H.** (2018). Elektrikli Araç Uygulamaları İçin Hafif Kompozit Şase Tasarımı ve Geliştirilmesi, *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 36 (7).
- [10] **Ağrgan, M.** (2023). Otomotiv Endüstrisinde Kompozit Malzeme Kullanımı, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 13 (2); 51-64.
- [11] **Kaya, A.** (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri, *Putech & Composites*, from https://www.researchgate.net/profile/Ali-Kaya-3/publication/312332966_Kompozit_Malzemeler_ve_Ozellikleri/links/587b61ea08ae4445c063d141/Kompozit-Malzemeler-ve-Ozellikleri.pdf

- [12] **Guo, Y., Ruan, K., Shi, X., Yang, X., Gu, J.** (2020). Factors affecting thermal conductivities of the polymers and polymer composites: A review. *Composites Science and Technology*, 193, 108134.
- [13] **Kim, Y., Lee, S., Yoon, H.** (2021). Fire-Safe Polymer Composites: Flame-Retardant Effect of Nanofillers. *Polymers*, 13(4), 540.
- [14] **Celik, E., Yurddaskal, M.** (2018). Effect of halogen-free nanoparticles on the mechanical, structural, thermal and flame retardant properties of polymer matrix composite. *Composite Structures*, 183, 381–388.
- [15] **Kiran, M. D., Govindaraju, H. K., Jayaraju, T., Kumar, N.** (2018). Review-Effect of Fillers on Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5 (10), 22421–22424.
- [16] **Gupta, M. K., Srivastava, R. K.** (2015). Mechanical Properties of Hybrid Fibers-Reinforced Polymer Composite: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 55(6), 626–642.
- [17] **Hegde, S., Satish Shenoy, B., Chethan, K. N.** (2019). Review on carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and their mechanical performance. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier. 2214-7853.
- [18] **Das, P., Gupta, P., Patel, B., Rahaman, M., Rushiya, Y., Toksha, B.** (2022). Recent Developments and Research Avenues for Polymers in Electric Vehicles, *A Journal of the Chemical Society Of Japan*, Nov;22(11): e202200186.
- [19] **Ding, Y., Stoliarov, S., Kraemer, R.** (2018). Development of a Semiglobal Reaction Mechanism for the Thermal Decomposition of a Polymer Containing Reactive Flame Retardants: Application to Glass-Fiber-Reinforced Polybutylene Terephthalate Blended with Aluminum Diethyl Phosphinate and Melamine Polyphosphate. *Polymers*, 10(10), 1137.
- [20] **Ying, S.** (2016). Phase behavior of polyamide 6/612 blends, *Plastics Engineering* from https://read.nxtbook.com/wiley/plasticsengineering/april2016/technicalpaper_phasebehavior.html
- [21] **Ibeh, C.C** (2011). Thermoplastic Materials- Properties, Manufacturing Methods, and Applications, 1st Edition.
- [22] **Ortega, R. A., Carter, E. S., Ortega, A. E.** (2016). Nylon 6,6 Nonwoven Fabric Separates Oil Contaminates from Oil-in-Water Emulsions. *PLOS ONE*, 11(7), e0158493.
- [23] **Ari, A.** (2022). *Polimer matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [24] **Park, S. J** (2015). Carbon Fibers, Springer Series in Materials Science.
- [25] **Nie, X., Wu, S., Yang, Lei., Yan, C., Shi, Y.** (2023). Additive manufacturing of continuous carbon fiber-reinforced silicon carbide composite by fused filament fabrication and precursor infiltration pyrolysis, *Mater Sci Add Manuf*, 3 (1604).

- [26] **Chen, Z., Feng, X.** (2019). Flame-retardant poly (ethylene terephthalate) enabled by a novel melamine polyphosphate nanowire, *Polymers Advanced Technologies*, 31 (795-806).
- [27] **Sōmiya, S., Claussen, N., Uchino, K., Kaneno, M., Aldinger, F., Spriggs, R.M., Koumoto, K.** (2003). Handbook of Advanced Ceramics.
- [28] **B. R. Varlow, J. Robertson., K. P. Donnelly** (2007). Nonlinear fillers in electrical insulating materials, *IET Sci. Meas. Tech.*, vol. 1, pp. 96–102.
- [29] **Hill, R.F., Supancic, P.H.** (2004). Determination of the thermal resistance of the polymer ceramic interface of alumina-filled polymer composites, *J. Am. Ceram. Soc.*, 87:1831–5.
- [30] **Çuhadaroglu, A. D., Kara, E.** (2018). Grafit: Bir Genel Değerlendirme, *Teknik Bilimler Dergisi* 8 (1) 15-33.
- [31] **Kaya, Ö.** (2018). *Polimer malzemelerin ekstrüzyon prosesinin modellenmesi ve analizi* (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [32] **Değirmenci, M., Can, O. S.** (2017). *Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri*, (Lisans bitirme tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [33] **Tülbez, S.** (2015). *Processing And Characterization Of Carbon Fiber Reinforced Silicon Carbide (C/C-Sic) Matrix Composites*, (Yüksek lisans tezi), ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [34] **Liu, S.-H., Kuan, C.-F., Kuan, H.-C., Shen, M.-Y., Yang, J.-M., Chiang, C.-L.** (2017). Preparation and Flame Retardance of Polyurethane Composites Containing Microencapsulated Melamine Polyphosphate. *Polymers*, 9 (12), 407.
- [35] **Ng, H. Y., Lu, X., Lau, S. K.** (2004). Thermal conductivity, electrical resistivity, mechanical, and rheological properties of thermoplastic composites filled with boron nitride and carbon fiber. *Polymer Composites*, 26 (1), 66–73.
- [36] **Cai, X., Xu, J., Shen, F.** (2015). Fabrication and Property of Thermally Conductive Composites Composed of Glass Fiber Reinforced Poly (Butylene Terephthalate), Polypropylene and Silicon Carbide, *Journal of Polymer Materials*, Vol. 32 Issue 1, p65-76.
- [37] **Kim, SY., Jang, HG., Yang, CM.** (2018). Multiscale prediction of thermal conductivity for nanocomposites containing crumpled carbon nanofillers with interfacial characteristics. *Compos Sci Technol*, 155: 169–176.
- [38] **Zhou, T., Wang, X., Cheng, P., Wang, T., Xiong, D., Wang, X.** (2013). Improving the thermal conductivity of epoxy resin by the addition of a mixture of graphite nanoplatelets and silicon carbide microparticles. *Express Polymer Letters*, 7(7), 585–594.
- [39] **Bhagyashekar, M., Krishnamachar, S.** (2015). Thermal Conductivity Enhancement of Epoxy by Hybrid Particulate Fillers of Graphite and Silicon Carbide, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 3(2):76-84.

- [40] **Kareem, A. A.** (2020). Enhanced thermal and electrical properties of epoxy/carbon fiber–silicon carbide composites. *Advanced Composites Letters*, 29, 2633366X1989459.
- [41] **Tang, W., Cao, Y., Qian, L., Chen, Y., Qiu, Y., Xu, B., Xin, F.** (2019). Synergistic Charring Flame-Retardant Behavior of Polyimide and Melamine Polyphosphate in Glass Fiber-Reinforced Polyamide 66. *Polymers*, 11(11), 1851.
- [42] **Du, X., Han, Y., He, G., Shi, W., Wei, B.** (2022). Epoxy/melamine polyphosphate modified silicon carbide composites: Thermal conductivity and flame retardancy analyses, *e-Polymers*, 22 (1).
- [43] **Tuna, B.** (2021). Polimerik Bir Zincir Uzaticının Geri Dönüştürülmüş Poli(Bütilen Tereftalat)’ın Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 8(2), 882-892, 2021.
- [44] **Irska, I., Paszkiewicz, S., Goracy, K., Linares, A., Ezquerro, T. A., Jedrzejewski, R., Piesowicz, E.** (2020). Poly(butylene terephthalate)/polylactic acid based copolyesters and blends: miscibility-structure-property relationship. *Express Polymer Letters*, 14(1), 26–47.
- [45] **Zhang, H., Wang, J., Cao, S., Shan, A.** (2000) Toughened polypropylene with balanced rigidity (I): preparation and chemical structure of toughening master batch. *Polymers for Advanced Technologies*, Wiley Online Library. 11, 334–41.
- [46] **Tuna, S.** (2022). *Sıkıştırılmalı kalıplama yöntemi ile PLA esaslı polimerik kompozit köpüklerinin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi* (Doktora tezi), Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Bursa.
- [47] **Yenier, Z., Yoldas, S., Aker, S., Öner, F., Altay, L., Sarikanat, M.** (2024). The effect of hybrid thermal fillers on thermal conductivity of carbon fiber reinforced polybutylene terephthalate composites. *Polym Int* 2024; 73: 484-493.
- [48] **Zheng, X., Wen, B.** (2019). Practical PBT/PC/GNP composites with anisotropic thermal conductivity. *RSC Adv.* 9, 36316-36323.
- [49] **Cao, T. A., Luong, T. Q. N., Dao, T. C.** (2016). Green synthesis of a carbon-rich layer on the surface of SiC at room temperature by anodic etching in dilute hydrofluoric acid/ethylene glycol solution. *Green Processing and Synthesis*, 5(5).
- [50] **Zhou, T., Chen, W., Duan, W., Liu, Y., Wang, Q.** (2018). In situ synthesized and dispersed melamine polyphosphate flame retardant epoxy resin composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 47194.
- [51] **Zaghloul, M. M. Y. M.** (2018). Mechanical properties of linear low-density polyethylene fire-retarded with melamine polyphosphate. *Journal of Applied Polymer Science*, 46770.
- [52] **Url-1** Isı Sapma Sıcaklığı: Tanımlar, Önem ve HDT'yi Etkileyen Faktörler <<https://www.xometry.com>>, erişim tarihi 20.12.2024.

- [53] **Url-2** <<https://www.zwickroell.com/tr/sektoerler/plastik/termoplastik-ve-kuerlenebilir-kaliplama-bilesikleri/belirleme-hdt-vst/>>, erişim tarihi 20.12.2024.
- [54] **Url-3** <<https://www.ul.com/services/combustion-fire-tests-plastics>>, erişim tarihi 22.11.2024.
- [55] **Liu, Y., Zhang, X., Song, C., Zhang, Y., Fang, Y., Yang, B., Wang, X.** (2015). An effective surface modification of carbon fiber for improving the interfacial adhesion of polypropylene composites. *Materials & Design*, 88, 810–819.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Buse Fem YILMAZ

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2022-Halen, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- (2021-2023) – Plaskar Plastik A.Ş – Proje Mühendisi
- (2023-Halen) – Epsan Plastik A.Ş – AR-GE Mühendisi

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yılmaz, B., Akkoyun Kurtlu, M.** (2024). Mechanical and Microstructure Properties of Polybutylene Terephthalate Polymer Composites, *11th International European Congress On Advanced Research In Basic Sciences*, Roma, İtalya, Kasım 11-13,2024.

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yılmaz, B., Akkoyun, M.** (2021). Preparation and Characterization of Surface Modified Magnetite Nanoparticle Reinforced Rigid Polyurethane Foams, *EUROASIA International Congress on Scientific Researches and Recent Trends-VIII The Philippine Merchant Marine Academy College in San Narciso, Zambales, Philippines*, Ağustos 2-4, 2021.