

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**GRAFEN TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT KOMPAKT
ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI VE ÜRETİMİ**

Aysun GÜVEN

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Özay AKDEMİR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 10.01.2018

Bornova-İZMİR

2018

Aysun GÜVEN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “**GRAFEN TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI VE ÜRETİMİ**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 10.01.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Yard. Doç. Dr. Özay AKDEMİR
Raportör Üye : Yard. Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT
Üye : Doç. Dr. Kutlay SEVER

İmza

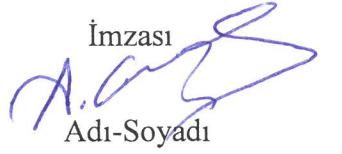
[Handwritten signatures in blue ink]

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunduğum “**GRAFEN TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI VE ÜRETİMİ**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

10 / 01 / 2018

İmzası

Adı-Soyadı

Aysun GÜVEN

ÖZET***GRAFEN TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİSİ TASARIMI VE ÜRETİMİ***

GÜVEN, Aysun

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Özay AKDEMİR

Ocak 2018, 133 sayfa

Bu tezde, çeşitli oranlarda (%5, 10, 15 ve 20) modifiye edilmiş grafen, (%10, 20, 30, 40 ve 50) sentetik grafit, %1.5 ve 3 oranında modifiye edilmiş grafen ve (%10, 20, 30,40 ve %50) sentetik grafit dolgulu polipropilen matris malzemesine eklenerek grafen ilavesinin polimerik kompozit malzemenin mekanik ve termal özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Grafenin homojen dağılmasını sağlamak için Polidiallil dimetil amonyum klorür (PDDA) çözeltisine ilave edildikten sonra ultrasonik homojenizatörde karıştırılarak modifiye grafen elde edilmiştir. Ağırlıkça değişik oranlarda grafen, sentetik grafit ve iki takviyeli grafen ve sentetik grafit içeren polipropilen(PP) reçine ekstrüzyonla üretilerek, enjeksiyon metodu ile numuneler üretilmiştir. Takviye etkilerini araştırmak için erime akış hızı tayini analizi, çekme testleri, üç nokta eğilme testleri, darbe testleri, TGA, TMA, DSC ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Termal iletkenlik sonuçlarına göre PP için kalınlık boyunca en yüksek 0.9 W/mK düzlem boyunca ise 4.6 W/mK değerine ulaşılmıştır. Grafen burada sinerjik etki yaratarak termal iletkenlik değerini arttırmıştır. Isı iletim katsayısının belirlenmesi için ise ısı değiştiricisi tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Soğuk akışkanın ısı değiştiriciye giriş sıcaklığı 10°C’de sabit tutularak sıcak akışkanın giriş sıcaklığı 40°C, 50°C ve 60°C olacak şekilde ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık ayarlamasında pompa debileri %20, %40, %60, %80, %100 ayarlanarak farklı kütleli debi değerleri sağlanarak her bir numune için değerlendirmeler yapılmıştır. Her bir polimerik kompozit malzeme için ısı iletkenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Anahtar sözcükler: Grafen, Polipropilen, Isı değiştirici, Termal iletkenlik, Ekstrüzyon



ABSTRACT***THE DESIGN AND MANUFACTURE OF COMPACT HEAT EXCHANGER FROM GRAPHENE REINFORCED POLYMERIC COMPOSITE***

GÜVEN, Aysun

MSc in Mechanical Eng.

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özay AKDEMİR

January 2018, 133 pages

In this thesis, modified graphene (5,10,15 and 20 wt%), synthetic graphite (10, 20, 30, 40 and 50 wt%), 1.5 and 3 wt% modified graphene and (10, 20, 30, 40 ve 50 wt%) synthetic graphite were added in polypropylene matrix to investigate thermal and mechanical effect of reinforcements on polymeric composite material. To obtain a homogeneous graphene dispersion, a PDDA solution was added in graphene and mixed by using ultrasonic homogenizer. Polypropylene resin with both single and multiple reinforcements graphene along with synthetic graphite extruded and samples were produced by injection method. To investigate the effect of reinforcements, melt flow rate, tensile tests, three point bending tests, impact tests, TGA, TMA, DSC and SEM analyzes were performed. According to the results, the highest through-plane and in-plane thermal conductivity were reached to 0.9 W/mK and 4.6 W/mK, respectively. The thermal conductivity of polypropylene was increased due to synergistic effect of graphene. Design and production of compact heat exchanger has been carried out to determine the heat transfer coefficient with respect to thermal and mechanical properties of fabricated composite material. Experiments were carried out by adjusting the inlet temperature of the hot fluid to 40 °C, 50 °C and 60 °C by keeping the inlet temperature of the cold fluid at 10 °C. At each temperature, capacity of pump were adjusted for 20%, 40%, 60%, 80%, 100% to provide different mass flow rates for each sample. The thermal conductivity coefficients for each polymeric composite material were calculated.

Keywords: Graphene, Polypropylene, Heat exchanger, Thermal Conductivity, Extrusion

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince değerli bilgilerinden ve kıymetli görüşlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Özay AKDEMİR ve Sayın Yard. Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatım boyunca manevi desteklerini ve güvenlerini hissettirerek bana güç veren aileme sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım. Minnetle, anneme ithafen...

Aysun GÜVEN





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxix
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER	15
3.1. Isı değişim şekline göre sınıflandırma.....	15
3.1.1. Doğrudan temas olmayan tip	15
3.1.2. Doğrudan temaslı tip	17
3.2. Yüzey kompaktlığına göre sınıflandırma	18
3.3. Akışkan sayısına göre sınıflandırma.....	20

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.4. Yapı şekline göre sınıflandırma	20
3.4.1. Borulu ısı değiştiriciler	21
3.4.2. Plakalı ısı değiştiriciler.....	22
3.4.3. Kanatlı ısı değiştiriciler	25
3.4.4. Rejeneratörler.....	27
3.5. Akış şekillerine göre sınıflandırma	27
3.5.1. Tek geçişli ısı değiştiriciler	28
3.5.2. Çok geçişli ısı değiştiriciler.....	29
3.6. Isı transfer mekanizmalarına göre sınıflandırma	31
3.7. İşlem fonksiyonuna göre sınıflandırma.....	31
4. POLİMER MATRİS KOMPOZİTLER.....	32
4.1. Polimer Matrisler	33
4.1.1 Termoplastikler	34
4.1.2. Termosetler	44

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.3 Elastomerler	45
4.2. Takviyeler	46
4.2.1. Karbon esaslı takviyeler	49
4.3. Termal İletim Mekanizmaları	55
4.3.1. Grafen Termal İletim Mekanizmaları	55
4.3.2. Polimerlerde Termal İletkenlik Mekanizmaları.....	56
4.3.3. Grafen-Polimer Kompozitlerde Isı Transfer Mekanizmaları	57
5. MALZEME VE METOT	58
5.1. Kullanılan Malzemeler	58
5.2. Üretim Yöntemleri.....	61
5.2.1. Ekstrüzyon	63
5.2.2. Enjeksiyon Kalıplama.....	65
5.3. Termal İletken Polimerik Kompozitler ve Isı Değiştiricisi Üretimi.....	67
5.3.1. Grafen yüzey modifikasyonu ve karakterizasyonu.....	67

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.3.2. Modifiye Edilmiş Grafen, Sentetik Grafit ve Grafen Takviyeli Polimerik Kompozitlerin Üretimi	73
5.3.3. Kompakt Isı Değiştirici Tasarımı Ve Üretimi.....	79
6. DENEYSEL METODLAR.....	81
6.1. Termal Analizler	81
6.1.1. TGA Analizi.....	81
6.1.2. DSC Analizi	83
6.1.3. Termomekanik Analiz.....	85
6.1.4. Erime Akış Hızı Analizi.....	86
6.1.5. Termal İletkenlik Analizi	87
6.2. Mekanik Analizler.....	89
6.2.1. Çekme Analizi.....	89
6.2.2. 3 Nokta Eğilme Analizi.....	91
6.2.3. Izod ve Charpy Darbe Testleri	93

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	95
7.1. TGA Sonuçları.....	95
7.2. DSC Sonuçları	99
7.3. TMA Sonuçları	104
7.4. Erime Akış Hızı Sonuçları.....	108
7.5.Çekme Testi Sonuçları.....	109
7.6.3 Nokta Eğilme Testi Sonuçları.....	111
7.7.Darbe Testi Sonuçları	112
7.8.Termal İletkenlik Sonuçları	114
8. DEĞERLENDİRME	119
9.ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Milieupartners polimer ısı değıştirici.....	9
2.2. Greenbox polimer plakalı ısı değıştiriciler	9
2.3 Monoblock ısı değıştiricisi.....	10
2.4. Amatek polimer serpantinler a) mini serpantin b) ince serpantin c) süper serpantin	12
2.5. Calorplast boru plakalı ısı değıştirici	13
2.6. Calorplast gövde boru ısı değıştirici	14
2.7. Calorplast daldırma tip ısı değıştirici	14
3.1. Isı değışim şekline göre sınıflandırma.	15
3.2. Akışkan yataklı ısı değıştirici.....	17
3.3. Yüzey kompaktlığına göre sınıflandırma.....	19
3.4. Akışkan sayısına göre sınıflandırma	20
3.5. Yapı şekline göre sınıflandırma	20
3.6. Gövde-boru tip ısı değıştirici; tek gövde ve tek boru geçişli	21
3.7. Çift borulu ısı değıştiricisi.....	22
3.8. Spiral borulu ısı değıştirici.....	22
3.9. Contalı-plakalı tip ısı değıştiriciler	23
3.10. Kaynaklı tip plakalı ısı değıştiriciler.....	23

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.11. Ters akışlı iki akışkan kullanılan spiral plakalı ısı değiştirici	24
3.12. (a) Lamelli ısı değiştirici (b) lamelli ısı değiştiricisinin kesiti (c) lameller.....	24
3.13. Baskılı ısı değiştiriciler	25
3.14. Plaka kanatlı ısı değiştiricinin temel elemanları	26
3.15. Kanatlı boru ısı değiştirici tipleri (a) ayrı kanatlı borular (b) yassı kanatlı boru ısı değiştirici.	26
3.16. Polyester filminden yapılan dönen tip rejeneratör.....	27
3.17. Akış şekillerine göre sınıflandırma.....	28
3.18. Tek geçişli akış yönlerine göre sınıflandırma.....	29
3.19. Geleneksel gövde-boru ısı değiştirici akış şekilleri (a) tek geçiş (1-1 paralel akış), (b) 2 boru geçiş (1-2 zıt yönlü akış), (c) 2 gövde geçiş, 2 boru geçiş (2-2 karşı akış)	30
3.20. Tek ve çok geçişli plakalı ısı değiştirici akışları. Tek geçişli veya dönüşlü: (a) U akışlı, (b) Z akışlı Çok geçişli, (c) 2 geçiş – 1 geçiş.....	30
3.21. Isı transfer mekanizmalarına göre sınıflandırma	31
3.22. İşlem fonksiyonuna göre sınıflandırma	31
4.1. Farklı formlarda takviyeli kompozitler.....	32
4.2. Monomer ve polimer yapısı.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. Termoplastik polimerlerde moleküler düzenler	34
4.4. Termoplastiklerin genel kimyasal yapısı	35
4.5. Yaygın kullanılan termoplastiklerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları	35
4.6. Polipropilen ürün sınıfları	40
4.7. PP konfigürasyonu	41
4.8. Enjeksiyonla kalıplanan polipropilenin DSC'si.....	43
4.9. Yaygın kullanılan termosetlerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları.....	44
4.10. Elastomerlerin genel kimyasal yapısı.	45
4.11. Yaygın kullanılan elastomerlerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları	45
4.12. Parçacık takviyelerin sınıflandırılması.....	46
4.13. Elmas ve grafit örneği.....	49
4.14. Karbon allotropları ve ilgili malzemeler	50
4.15. Fullerenler a) Kranulen yapısı b) Bukminsterfuleren, C ₆₀	50
4.16. Karbon nanotüp a) Tek duvarlı b) Çok duvarlı.....	51
4.17. Grafit SEM görüntüleri a) Sentetik grafit (partikül boyutu 20 mikronun üstünde), b) Pullu yapıya sahip sentetik grafit (partikül boyutu 20 mikronun altında).....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.18. Grafenin mekanik eksfoliasyon yöntemi ile eldesi.....	52
4.19. Kristalin malzemedeki termal iletkenlik şeması.....	56
4.20. Polimerde termal iletim mekanizmaları	56
5.1. LG Seetec M1600 polipropilen malzeme	58
5.2. a) Thermocarb TC-300 sentetik grafit b) SEM görüntüsü	60
5.3. a) iGP2 grafen nano pullar b) SEM görüntüsü	61
5.4. Termal iletken polimerik kompozit numunelerin üretim şeması.....	62
5.5. Tek vidalı basit bir ekstrüzyon makinesinin kısımları.....	63
5.6. Ekstrüzyon vidası kısımları	64
5.7. İç içe geçmiş vidaların sınıflandırılması.....	64
5.8. American Leistritz Extruder Corporation Model ZSE 27	65
5.9. Enjeksiyon presinin genel yapısı	66
5.10. Bole North America Model BL90EK/C320	66
5.11. Teflon üzerinde kurutulmuş PDDA ile Grafen karışımı.....	68
5.12. Saf PDADMA'nın FTIR spekturumu.....	69
5.13. Grafenin FTIR spekturumu	70
5.14. PDDA modifiyeli 0.1 g grafen içeren numunenin FTIR spekturumu	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.15. PDDA modifiyeli 0.075 g grafen içeren numunenin FTIR spektrumu.....	71
5.16. Saf grafen ve 0.1-0.5 gr grafen takviyeli PDAD FTIR analizleri	72
5.17. Ekstrüzyon makinesi besleme bölgeleri.....	74
5.18. Ekstrüzyon makinesi besleyicileri	75
5.19. a) su banyosu b) 3mm uzunluğunda peletlerin soğutulması	76
5.20. Peletleyici ve 3mm uzunluğunda peletler	77
5.21. Üretilen polipropilen esaslı kompozit peletler	77
5.22. Enjeksiyon kalıplamada kullanılan 3 mm kalınlığında kalıp.....	78
5.23. Enjeksiyon kalıplama ile elde edilen test numuneleri.....	78
5.24. Termal iletkenlik testi için üretilen kompozit levhalar	79
5.25. SolidWorks ile ısı değiştiricisi tasarımı	80
5.26. Isı Değiştirici Test Düzeneginin Ön Görünüşü.....	80
6.1. Katkılı EPDM'nin bozunma davranışı (TG- bağıl kütle)	82
6.2. TA Instruments Inc., TGAQ500	82
6.3. 5-10 mg ağırlığındaki numune.....	82
6.4. En çok kullanılan tiplerdeki DSC ölçüm cihazları.....	83
6.5. Isı akışı-sıcaklık grafiği.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.6. TA Instruments Inc., DSCQ20 model cihaz	84
6.7. TMA prob tipleri 1. ve 2. genleşme, 3. gerilme, 4. ve 5. penetrasyon, ve 6. 3 nokta eğilme	85
6.8. TA Instruments Inc., TMAQ400	86
6.9. Numunenin cihaza yerleştirilmesi	86
6.10. Erime akış cihazı	87
6.11. GÖTTFERT marka mi2.2 model cihaz	87
6.12. C-Therm TCi Termal İletkenlik Cihazı	87
6.13. Isı değıştirici test düzeneği	88
6.14. Isı değıştirici plakası	89
6.15. Inspekt Table Blue 20 çekme test cihazı	91
6.16. Polimerik kompozit çekme numunesi örneği	91
6.17. Inspekt Table Blue 20 3 nokta eğilme test cihazı	93
6.18. 3 nokta eğilme testi numuneleri	93
6.19. Fanyuan Instrument Inc. dijital izod darbe dayanım cihazı	94
6.20. Izod ve Charpy darbe testi çentikli bazı numuneler	94
7.1. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP10MG d)PP15MG e) PP20MG	96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.2. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c)PP30SG d) PP40SG e) PP50SG	98
7.3. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) PPSG1.5G b) PP50SG3G	99
7.4. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP10MG d) PP15MG e) PP20MG	100
7.5. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c)PP30SG d) PP40SG e) PP50SG	103
7.6. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) PP50SG1.5G b) PP50SG3G.....	103
7.7. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP+10MG d) PP15MG e) PP20MG	105
7.8. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c)PP30SG d) PP40SG e) PP50SG	106
7.9. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) PP50SG1.5G b) PP50SG3G.....	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ticari olarak kullanılan bazı polimerik ısı değıştirici malzemeleri	7
4.1. Saf polimerlerin termal özellikleri	36
4.2. Saf polimerlerin mekanik özellikleri.	36
4.3. Bazı metalik takviyelerin termal iletkenliği	47
4.4. Çeşitli metalik partikül takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri.	47
4.5. Bazı sermaik takviyelerin termal iletkenliği.....	48
4.6. Çeşitli seramik partikül takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri	36
4.7. Karbon esaslı takviyelerin termal iletkenlikleri.....	53
4.8. Karbon esaslı takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri.....	54
5.1. LG Seetec M1600 Polipropilen özellikleri.....	59
5.2. Thermocarb TC–300 sentetik grafit özellikleri.	60
5.3. Grafen Chemical Industries Co şirketinden grafen nano pulların özellikleri.	61
5.4. Bole Model BL90EK/C320 Özellikleri	67
5.5. Saf PDADMA’nın FTIR spektrumunda titreşimler	70
5.6. Grafen XPS analiz sonuçları.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Modifiye edilmiş grafen takviyeli polipropilen numunelerin formülleri.....	74
5.8. Sentetik grafit takviyeli polipropilen numunelerin formülleri	76
5.9. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polipropilen numunenin formülü.	76
7.1. Modifiye edilmiş grafen takviyeli kompozitlerin TGA verileri.....	95
7.2. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin TGA verileri.....	97
7.3. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin TGA verileri.....	99
7.4. Modifiye edilmiş grafen takviyeli kompozitlerin DSC verileri	100
7.5. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin DSC verileri	101
7.6. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin DSC verileri	103
7.7. Modifiye edilmiş grafen takviyeli kompozitlerin TMA verileri.....	104
7.8. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin TMA verileri	107
7.9. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin TMA verileri	107
7.10. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin erime akış hızı verileri	108
7.11. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin erime akış hızı verileri	109
7.12. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin çekme testi verileri	110

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.13. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin çekme testi verileri.....	111
7.14. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin eğilme testi verileri.....	111
7.15. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin eğilme testi verileri	112
7.16. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin darbe testi verileri.....	113
7.17. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin darbe testi verileri	113
7.18. Modifiye grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri	114
7.19. Sentetik grafit katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri	114
7.20. Sentetik grafen ve grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri	115
7.21. PP termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	116
7.22. PP10SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	116
7.23. PP20SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	116
7.24. PP30SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	117

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)ÇizelgeSayfa

7.25. PP40SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	117
7.26. PP50SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında).....	117
7.27. PP50SG termal iletkenlik verileri (50°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)..	118
7.28. PP50SG termal iletkenlik verileri (60°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)..	118

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı (°C)
T_e	Erime sıcaklığı (°C)
E	Elastisite modülü (MPa)
σ	Çekme dayanımı (MPa)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
F	Kuvvet (N)
A	Alan (mm ²)
L	Destekler arası mesafe (mm)
k	Termal iletkenlik katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
PP	Polipropilen
GNP	Grafen nano pullar
G	Grafen
MG	Modifiye edilmiş grafen
SG	Sentetik Grafit
EPDM	Etilen Propilen Kauçuk
PDDA	Polidiallil dimetil amonyum klorür
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
XPS	X-ışını fotoelektron spektroskopisi
TGA	Termogravimetrik Analiz
DTG	Birinci türev eğrileri
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
TMA	Termomekanik Analiz
MFI	Erime akış indeksi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization

1.GİRİŞ

Sıcaklık farkları olan ve temas halinde bulunan iki veya daha fazla akışkan ya da bir katı ve bir akışkan ya da katı parçacıklar ile akışkan arasında termal enerji (entalpi) geçişini sağlayan cihazlara ısı değiştiriciler denir. Isı değiştirici sistemlerde genelde sistem dışından ısı veya iş alışverişi olmaz (R. K. Shah & Sekulić, 2003). Günümüzde mühendislik uygulamalarında sıkça ısı değiştiricilerde metal ve metal alaşımları kullanılmaktadır. Ancak metal ve metal alaşımlarının ısı değiştiricilerde kullanımının korozyona dirençlerinin düşük olması, maliyetinin yüksek olması ve ağır olması gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajların üstesinden gelmek ve nispeten ısı aktarım verimliliğini artırmak ve kolay üretebilmek için ısı değiştiricilerde kullanılmak üzere alternatif bir malzemenin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Polimerlerin korozyon, kirlenme ve kimyasal direncinin yüksek olması, geometrik esnekliği, üretim kolaylığı, hafifliği ve maliyetinin düşük olması gibi avantajlar ile polimerlerin birçok ısı transferi uygulamaları için metal ve metal alaşımlarının yerine kullanımı araştırmacılar tarafından ilgi görmüştür (Reay, 1989).

İlk polimer ısı değiştiriciler DuPont firmasında çalışan mühendisler tarafından 1965 yılında başarıyla tasarlanıp üretilmiştir. Plastiklerin düşük ısı iletkenliği, yüksek sıcaklıklarda azalan mukavemeti ve kurulu bir üretim işletiminin olmaması gibi plastiklerin kullanımı ile ilgili zorluklar bundan önceki dönemlerde aşılamamıştır. DuPont polimer ısı değiştiricisi dizaynında sert bal peteği yapısı oluşturmak için birçok küçük çaplı ve ince cidarlı politetrafloretilen (PTFE veya Teflon) boruların her biri bir araya getirilmiştir. Bu yapı bu tip ısı değiştiricilerde geleneksel boru tabakalarına olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Teflon malzeme kullanımı ile korozyon, kireçlenme ve kirlenme direnci gibi özellikler ısı değiştiricisine kazandırılmıştır. Polimerin düşük ısı iletkenliğini iyileştirmek için boru duvar kalınlığı, boru çapının %5-15'i aralığında tutulmuştur. Böylece tipik bir metal ısı değiştiricisi ile karşılaştırıldığında yüzey alanı ve boru sayısı büyük oranda artırılmıştır (Githens et al., 1965).

1979 yılında son teknolojiye sahip plastik ısı değiştiricilerle ilgili iki önemli çalışma sunulmuştur. İlk çalışma Hart ve arkadaşları (1979) tarafından yapılan düşük sıcaklıklı deniz suyu uygulamaları için düşük maliyetli plastiklerin korozyona karşı dirençli metaller yerine kullanılması için okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC) çalışmasıdır. İkinci çalışmada ise Miller ve ark. (1979) özellikleri iyileştirilen malzemelerin geliştirilmesi, üretim yöntemleri ve polimer ısı

değiştiricilerin inovatif dizaynı gibi konular üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca, polimer ısı değiştiricilerin geleneksel ısı değiştiricilere göre üstün olduğu özel ortamlar belirlenmiştir. İki çalışmada da polimerlerin termal özelliklerinin iyileştirilmesi için takviyeler kullanılmıştır. Miller ve ark. (1979) zelliklerin iyileştirilmesi için işlemler ve katkıların tiplerini ve kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi için yöntemleri tanımlamışlardır. Hart ve arkadaşları (1979) HDPE reçine içerisine ağırlıkça %15 kadar asetilen siyahı eklenmesiyle katkısız malzemeye göre (0.24 W/mK) termal iletkenliğin %22 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere %34'lk takviye malzeme ile termal iletkenlik değerinde %50 oranında iyileştirme yapılabilirdi. Ancak yine de bu gelişmiş termal iletkenlik değeri korozyon dirençli metalik malzemelerin termal iletkenliğinin iki katı kadar daha azdır. Bu nedenle polimer malzemenin düşük ısı iletkenliği nedeniyle ortaya çıkan düşük ısı transfer katsayısı ve yüksek ısı direnci çeşitli oranlardaki farklı takviye malzemeleriyle geliştirilmesine her zaman ihtiyaç duyulmuştur. Polimerlerin düşük ısı iletkenliğinin artırılması için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin amacı, polipropilen malzemenin grafen ve sentetik grafit katkısı ile termofiziksel özelliklerini iyileştirerek elde edilen grafen katkılı polimerik kompozit malzeme ile ısı değiştiriciler üretmek ve üretilen ısı değiştiricilerin termofiziksel ve mekanik analiz testleri yapılarak elde edilen çıktıların değerlendirmesini gerçekleştirmektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Polimerlerin korozyon direnci, hafiflik, düşük maliyet ve üretim kolaylığı gibi metallere göre avantajlarının yanında düşük mekanik dayanım, yüksek ısı genleşme, fiziksel ve çevresel yaşlanma, düşük termal iletkenlik ve düşük çalışma sıcaklık aralığı gibi dezavantajları vardır. Termoplastik ve metalik bileşenler arasında ısı genleşme açısından oluşabilecek uyumsuzluk da sistem düzeyinde bir soruna neden olabilir. Alüminyum ve bakır gibi metallerde termal iletkenlik değeri 200 W/mK ile 300 W/mK aralığında iken saf polimerlerin birçoğunun ısı iletkenliği ısı değiştiriciler için uygun olmayan 0.1-0.3W/mK değerleri arasındadır. Temel olarak polimerlerin ısı iletkenliği fonon hareketi ile gerçekleşir. Fononların taşıdığı ısı enerjisi titreşim dalgalarının doğrultusunda iletilir. Düşük atom yoğunluğu, kovalent bağ yapıları, yapısal homojensizlik ve fonon taşınımını engelleyen moleküler titreşimlerde uyumsuzluktan dolayı termoplastiklerin ısı iletkenliği yapısı gereği düşüktür. Dikkate alınması gereken diğer bir husus ise polimer matris içindeki doğal ısı iletimidir. Polimerlerin, kristal yapısı, kimyasal yapısı, bağ kuvveti, kusurları, yan bağların varlığı, molekül ağırlığı, cam geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı gibi özellikleri saf polimerlerin ısı iletkenliğini etkilemektedir (Chanda and Roy, 2006). Katkısız ve katkılı polimer malzeme kullanılan çeşitli tipte ve kullanım alanlarında ısı değiştiriciler ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir.

Zaheed ve Jachuck (2004) çalışmalarında Ni-Cr-Mo (8 W/mK) alaşım ile PVDF boru ısı değiştiriciyi matematiksel olarak karşılaştırmışlardır. Metal alaşım malzeme ile yapılan ısı değiştiricinin 6 kat daha büyük olması nedeniyle malzemenin yoğunluğu ve maliyeti göz önüne alındığında PVDF ısı değiştiricisi maliyetinin 2.5 katı daha az olduğu görülmüştür. Metal alaşımı malzemeye göre PVDF malzeme kullanımı borulu ısı değiştiricisinin duvar kalınlığını azaltmıştır dolayısıyla ısı transferi direnci azaltılmıştır.

Ma ve arkadaşları (2002) PTFE film işleme koşulları üzerine yaptıkları çalışmalarında boru üzerinde damla yoğunlaşmasını amaçlamışlardır. Elde ettikleri araştırma sonuçlarına göre normal bir pirinç alaşım boru ile karşılaştırıldığında PTFE film ile kaplanan tek bir boru ısı transfer oranı 0.3 ile 4.6 katı aralığında artmıştır. Damlalı yoğunlaşma 22,000 saatten fazla süre devam etmiştir. Aynı buharlaşma davranışı ve uzun ömürlü olması durumu, PVDF film ile kaplandığında da elde edilmiştir.

Davidson ve arkadaşları (1998) ticari bakır ve polimer malzemeden yapılan çapraz akışlı gövde-boru tip sıvı-sıvı ısı değiştiriciyi karşılaştırmıştır. EES ile simülasyon modeli geliştirilmiş ve polimer ısı değiştiricilerin kullanımı ile ilgili kritik teknik sorunlar belirlenmiştir. Çalışmalarında iki çeşit polimer boru analiz edilmiştir. Bunlar, düşük dayanımlı polimer olan PEX (çapraz bağlı polietilen) ve diğeri yüksek dayanıma sahip polimer olan naylon (DuPont borusuna benzer) dur. Sırasıyla 0.38W/mK ve 0.31W/mK termal iletkenliğe sahip olan PEX ve naylonun iletkenlikleri birbirine çok yakındır. PEX ve bakır ısı değiştirici ile karşılaştırıldığında daha küçük dış çap, daha az boru duvar kalınlığı ve uzunluğa sahip naylon boru ısı değiştiricisi kullanılmıştır. İnce boru duvar kalınlığına sahip naylon ısı değiştiricisinin duvarının termal direncinin azalmasıyla bakır boru ısı değiştiricisiyle benzer termal performans göstermiştir.

Malik ve Bullard (2005) HVAC & R sistemlerinde polimer ısı değiştiricilerin potansiyel uygulamaları yani buzdolabı ve derin dondurucular gibi ev tipi soğutucularda kullanılan telli-borulu statik tip kondenserler ile stabil veya hareketli havalandırma (A/C) birimleri için indirekt genleşme evaporatörleri ve kondenserleri gibi kompakt boru demetleri üzerine çalışmışlardır. EES ile simülasyon modeli geliştirilmiş ve polimer malzeme olarak naylon kullanmışlardır. Araştırma sonuçları, optimal konfigüre edilmiş polimer ısı değiştiricisi varsayımsal 1 tonluk A/C sistem geleneksel sistem ile benzer termal performans göstermiştir. Ancak genişletilmiş yüzeylerin olmamasından dolayı polimer ısı değiştirici geleneksel ısı değiştiricisine göre 20 kat daha fazla yer kaplamıştır.

Bar-Cohen ve arkadaşları (2008) ikili kanatlı paralel karşıt akışlı plakalı sıvı-sıvı ısı değiştiricisinin termo-akışkan performans analizlerini gerçekleştirmiş ve ticari termal iletken polimerlerin yüksek performanslı tuzlu su ısı değiştiricilerde kullanımının termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca literatürde yer alan polimer ısı değiştiriciler ile tuzlu su esaslı soğutma sistemlerinde genelde kullanılan metal ısı değiştiricilerle (Cu-Ni alaşımları, paslanmaz çelik ve titanyum gibi) karşılaştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre aynı çalışma koşulları altındaki alüminyum ısı değiştiricinin yaklaşık yarısı kadar ve korozyon dirençli metalik ısı değiştiricilerin %80'i kadar ısı transfer oranını sağlayabilmektedir. Deniz suyu gibi koroziv sıvılarla termal iletken termoplastiklerin konvensiyonel veya korozyon dirençli metallerin yerine kullanımında en önemli alternatiflerden olduğunu göstermişlerdir.

2001 yılında Avrupa Birliği destekli modüler ısı değıştircilerin montajı ve polimerlerin şekillendirilmesi için proje gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı ise korozyon ve kirlenmenin olduğu ortamda vakum altında ve 100°C sıcaklık üstünde çalışabilecek prototip polimer ısı değıştirici evaporatörün uygun maliyetlerle metal olanların yerine kullanılmasıdır. Laboratuvar tipi prototip ısı değıştiricisi imal edilerek test edilmiştir. 120 adet kaynaklı perfloro alkoksi (PFA) borularından yapılan ısı değıştiricisinin yüzey alanı 8.4 m² ve su buharı üretme kapasitesi 40 kg/h'dir. Testleri ise korozyon ortamda gerçekleştirilmiştir (Bar-Cohen et al., 2008).

Chen ve arkadaşları (2009) bu çalışmada 2.3 W/mK ve 16.5 W/mK yüksek termal iletkenliğe sahip modifiye edilmiş polipropilen ile kanatlı boru ısı değıştiricisi üretmişlerdir. Polipropilen ısı değıştiricisinin ısı geri kazanımı, su kaynağı ısı pompası ve deniz suyunu arındırma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılması amaçlanmıştır. Ayrıca sonuçta elde edilecek olan değerlerin karşılaştırılması için saf polimer ile üçüncü bir ısı değıştiricisi daha üretilmiştir. Sonuçlarda 16.5 W/mK termal iletkenliğe sahip olan polipropilen kanatlı boru ısı değıştiricisinin toplam ısı değıştiricisi katsayısı 34 W/m²K olarak belirlenmiştir. Ayrıca sonuçlar malzemenin termal iletkenliğinde bir eşik değerinin (20 W/mK) olduğunu göstermiştir. Bu eşik değerine kadar termal iletkenlik ısı değıştiricisinin performansını artırırken bu değer üstünde ana ısı transfer direnci iletim işleminden geldiği için termal iletkenliği artırmak için yapılan çabalar gereksizdir yani bu eşik noktasının üstünde termal iletkenliğin artırılması performansın iyileştirilmesine çok az katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Plastik kanatlı-boru ısı değıştiricisinin termal iletkenliği 15 W/mK değeri üzerine çıktığında aynı boyutlara sahip titanyum, alüminyum veya bakır ısı değıştiricisi performanslarının sırasıyla %95 ve %84'ünden fazlası elde edilebileceği belirlenmiştir.

Luckow ve arkadaşları (2010) termal iletken polimerden yapılan prototip deniz suyu-metan ısı değıştiricisinin analiz sonuçları performansları açısından metal malzemeler ile karşılaştırılmıştır. Soğutma akışkanı olarak deniz suyu ve ısıtma akışkanı olarak metan kullanılmıştır. Metal malzeme olarak alüminyum ve titanyum seçilmiştir. Polimer malzeme olarak saf polipropilen (0.25 W/mK) ve düşük (k=5 W/K) ve yüksek (k=20 W/mK) termal iletkenlikte takviye edilmiş polimer kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre saf polipropilen termal iletken polimerlere göre çok düşük performans sergilemiştir. Ancak düşük ve yüksek termal iletkenlikteki ısı değıştiriciler metallerle kıyaslanabilir olduğu bulunmuştur. Termal iletkenliğin 5 W/mK üzerindeki artışları, gaz/sıvı ısı değıştiricisi için küçük performans kazanımları sergiler. Toplam etkinlik katsayısı (COP_T) açısından

karşılaştırıldığında düşük enerji ve düşük termal iletkenlikteki polimerlerden yapılan ısı değiştiricilerin konvensiyonel malzemelerle (titanyum, 22 W/mK gibi) yapılan ısı değiştiricilerden daha iyi performans sergileyebilecekleri belirlenmiştir. Bu çalışmada düşük termal iletkenlikteki (5 W/mK) ısı değiştirici, optimize edilmiş alüminyum ısı değiştiriciden %48 daha iyidir ve titanyum ısı değiştiricisinden 7 katı kadar iyi performans sergilemiştir.

Arie ve arkadaşları (2016) çalışmalarında ince polimer tabakalarından oluşturulan hava-su polimer ısı değiştiricisini üretmiş ve test etmişlerdir. Polimer reçine olarak yüksek yoğunluklu polietilen kullanmışlardır. Deneysel analiz sonuçları hava tarafında akış hızının 3–24 L/s ve su tarafında 12.5 mL/s için 35–120 W/m²K toplam ısı transfer katsayısının ulaşılabilir olduğunu belirlemiştir. Hava kısmının ısı transfer katsayısı 35–135 W/m²K aralığında hesaplanmıştır. Polimer ısı değiştirici, ticari olarak bulunan yassı plaka yüzeyler ile aynı basınç düşüşünde eşit veya daha fazla ısı transfer katsayısı sergilemiştir. Ayrıca sonuçlar ince kalınlıktaki polimer ısı değiştirici için toplam termal direncin %3'ü kadar olan duvar ısı direncinin sınırlayıcı bir faktör olmadığını göstermiştir.

Lee ve Jeon (2012) kompakt polimer ısı değiştiricisi ısı transfer oranının deneysel sonuçlarını orijinal alüminyum evaporatör ile karşılaştırmışlardır. Termal iletken plastikler için polibütlen tereftalat (PBT) ve politetrafloretilen (PTFE) kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre ısı ve kütle transfer oranı polimer ve kanatlı boru tip alüminyum ısı değiştiricisi ile eşit olduğu ayrıca benzer soğutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Robinson ve ark. (2011) laboratuvar tipi hava-su zıt akışlı plaka kanatlı ısı değiştiriciyi karbon fiber takviye ve poliamid 12 reçine kullanılarak üretmişlerdir. Üretilen polimer kompozit ısı değiştiricinin ısı transfer oranı korozyona dayanıklı eş değer titanyum ve politetrafloretilen (PTFE) ısı değiştirici ile karşılaştırılmıştır. Polimerik kompozit ısı değiştirici, PTFE ısı değiştiriciden %70 daha iyi ve titanyum ısı değiştiricisinden %30 daha kötü performans sergilemiştir.

Patrick ve ark. (2010) karbon fiber takviyeli polimer ikili kanatlı paralel zıt akışlı ısı değiştirici üretmişlerdir ve optimize edilmiş titanyum ve alüminyum ısı değiştiriciler ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen test sonuçlarına göre alüminyumdan %48 ve titanyum ısı değiştiricinin 7 katı daha iyi performans sergilemiştir.

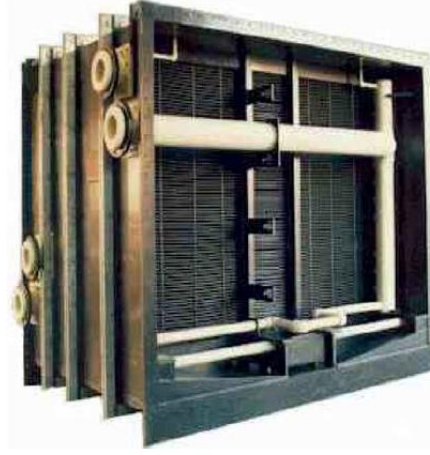
Ticari olarak bulunan plaka, daldırmalı tip serpantin, gövde-boru polimer ısı değiştiriciler boyutları ve çalışma limitleri ile birlikte izelge 2.1’de gösterilmiştir. Bu zet, polimer ısı değiştiricilerin uygulamaları üzerine alışan Zaheed ve Jachuck (2004) alışmasından elde edilen ticari ısı değiştiricilerin verileri ile oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1. Ticari olarak kullanılan bazı polimerik ısı değiştirici malzemeleri (Zaheed and Jachuck, 2004)

<i>retici</i>	<i>HX Tipi</i>	<i>Uygulama</i>	<i>Boyut</i>	<i>Malzeme</i>	<i>Performans</i>
Milieupartners Calorplast	Plakalı	Yoğuşma koşullarında hava soğutma işlemi		PP ve PE	
Greenbox	Plakalı	Duyulur ve gizli ısı değişimi	0.5 mm’den küçük duvar kalınlığı	PVC	Sıcaklık aralığı: -15°C-60°C, Max. basınç: 1 kPa
George Fischer	Plakalı, Gövde- Boru, Serpantin	Korozif akışkanlarda ısı transferi		PVDF ve PP	
Plastic Magen	Plakalı	Havuz ısıtma için kollektörler	5mm OD, 5mm boru kalınlığı	PVDF ve PP	PVDF: 100°C’de 600 kPa, PE: 80°C’de 200 kPa
AB Segerfrojd	Plakalı	Havalandırma, Nemlendirme, Elektronik soğutma, Islak baca gazı geri kazanımı	Levha kalınlığı 2-5 mm	Haddelenmiş PP levha	-40°C – 90°C’de, 188 kPa (2.88 mm kalınlıkta)
Institute Francais du Petrole	Plakalı	Korozif ve partiküllü akışkanlarda yoğuşmalı ısı değiştiriciler.		PPS	
Ail Research	Plakalı	Korozif sıvı soğutma	Plakalar 0.127 mm filmden yapılır	Isıl şekillendirilm iş plastik	Sıcaklık 148°C’a kadar Basınç 275 kPa’a kadar
Process Technology	Gövde- Boru, Serpantin	Daldırma tip ısı değiştiricisi	0.76 mm duvar kalınlığı	Gövde: PP veya PDVF Boru: PFA	Maks. Sıcaklık/basınç Gövde: 100°C’de 206 kPa, Boru:120°C’de 241 kPa

Fluotherm	Gövde-Boru	Yarıiletken ve Bioteknoloji, çevresel, laboratuvar ve ürün kaplama endüstrileri		Gövde: PVC ve CPVC Boru: PTFE, FEP ve PFA	Maks. çalışma Gövde için, Sıcaklık aralığı: 60°C-93°C'de; 60°C'de 276 kPa, Boru: 100°C'de, 172 kPa
Cesaroni Technology Incorporated	Plakalı	Chiller uygulamaları	(28x42x7.6 cm)	Polyamid	Çalışma basıncı 550 kPa'a kadar Sıcaklık aralığı: -40°C–115°C
Calorplast	Boru plakalı, Gövde-boru	Istııcı, soğutucu, kondenser		PE veya PVDF	Basınç aralığı: 3-16 bar Sıcaklık aralığı: -30°C-140 °C

Milieupartners Calorplast (Zaheed and Jachuck, 2004) plastik ısı değişiricisi (Bkz. Şekil 2.1) yoğunlaşma koşullarında hava soğutma işlemi için uygundur. Küçük plastik boruların finleri olmadığından ve yüzeyi oldukça pürüzsüz olduğundan yoğunlaşan su serbest bir şekilde akar. Isı değişiricinin tüm parçaları ve uyumlu olmak üzere bütün kasa yapı, plastik malzemedan imal edilmiştir. Malzeme olarak PP ve PE kullanılmıştır. Daha yüksek sıcaklık ve basınç aralıklarında cam fiber takviyeli polyester, kasa malzemesine alternatif olabilir. Sürekli akan yoğunlaşan su ile kendi kendine temizlenme gerçekleşir dolayısıyla birçok durumda kirlenme meydana gelmez. Finler olmadığından suyun serbest akışı garantilenmiştir. Ayrıca opsiyonel olarak entegre edilmiş sprej sistemi bulunmaktadır. Temizleme gerekebilir. Temizleme işlemi yüksek basınçlı su jeti ile kolaylıkla gerçekleştirilir.



Şekil 2.1. Milieupartners polimer ısı değıştircisi (Zaheed and Jachuck, 2004)

Greenbox şirketi eşsiz özelliklere sahip genişletilmiş yüzeye sahip polimer plakalı ısı değıştircisini geliştirmiştir (Bkz. Şekil 2.2). Bu yapı bütünüyle %100 kompozit bir yapıdır ve minimum basınç düşüşü ve hava dağıtımını sağlamak için aerofil giriş profiline sahiptir. Besleyici ve atık hava akışının ayrılması sebebiyle hassas ve gizli ısı değışimi gerçekleştirilebilir. Hava akımında kirlenme meydana gelmez. Bütün alanlar %100 geri dönüştürülebilir şekildedir ve üniteler hemen hemen hiç bakım gerektirmez (Zaheed and Jachuck, 2004).



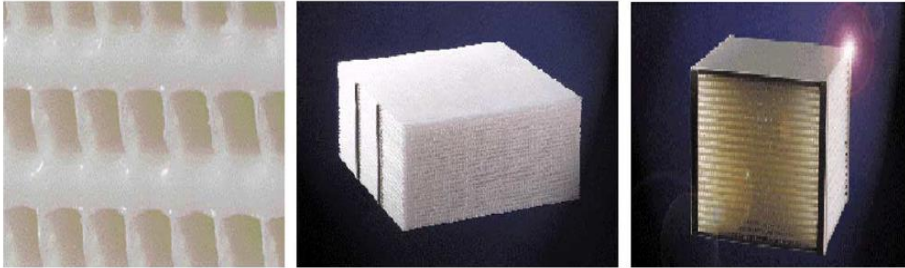
Şekil 2.2. Greenbox polimer plakalı ısı değıştirciler (Zaheed and Jachuck, 2004)

Plakalı ısı değıştirciler işlenebilir olan herhangi bir malzemedan üretilebilir. Mevcut bulunan plakalı ısı değıştirciler genellikle alüminyumdan olmak üzere metaller, kağıtlar, plastik ve seramiklerden yapılmaktadır. Plakalı ısı değıştirciler doğal olarak sadece duyulur ısı değışimi gerçekleştirir. Ancak nem tutucu bir malzemedan üretilen plaka yoluyla gizli ısı transferinin gerçekleşmesi yoluyla

toplam ısı değişimi sağlanabilir. İşlenmiş kağıt ve mikro hücveli polimerik filmler kullanıldığında, plakaların nem tutma kapasitesi önemli bir oranda artar ve toplam (entalpi) ısı değiştiricisi elde edilir (Fehrm ve ark., 2002). Dobbs (2002), plakalı ısı değiştirici plakalarını sülfonatlanmış veya karboksilatlanmış polimer membranlar gibi iyonomer membranlardan imal etmiştir. İyonomer membranlar yüksek miktarda nemi bir taraftan diğer tarafa aktarabilen yapılardır. Böylece iyonomer membranların plakalı ısı değiştiricilerde kullanımıyla ısı değiştiricisinin büyük miktarda gizli ısının bir hava akımından diğerine aktarımı sağlanmıştir.

Plastic Magen şirketi benzer üretim yöntemlerini kullanarak yüzme havuzlarını ısıtmak için kullanılan güneş kollektörleri üretmiştir (Davidson et al., 1999). PVDF ısı değiştirici 100°C sıcaklıkta 600 kPa basınca dayanabilir. PP ısı değiştiricisinin maksimum basıncı 80°C sıcaklıkta 200 kPa'dır. Sadece PVDF 65°C sıcaklığın üzerindeki uygulamalara uygundur.

AB Segerfrojd son teknolojik polimer ısı değiştiricilerin geliştirilmesiyle ilgilenmiştir. Bunlardan bir tanesi de ekstrüde edilmiş polipropilen(PP) plakalardan yapılan şekil 2.3'te görüldüğü gibi Monoblock ısı değiştiricisidir. PP plakaları arasındaki dikişler kesinlikle hava geçirmeyecek şekilde ve çok iyi yapılmıştır. Patentli kaynak işlemi, herhangi bir yapıştırma veya sızdırmazlık için kullanılan yapılara ihtiyaç duyulmadan tamamen polipropilenden üretilen ısı değiştiricisinin %100 hava geçirmeyecek şekilde imal edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece ürün tamamen geri dönüştürülebilir şekil ve yapının yanı sıra iç ve diş boyutlarda da büyük bir esneklik vardır. Bu esnek üretimden dolayı ısı değiştiricisinin tipine bağlı olan hızlı ayarlamalar gerçekleştirilebilir. Yapıda çapraz akış ve ters akış düzenlemeleri mevcuttur. Çapraz akış ısı değiştiricisi çapraz akış etkisinin avantajları hesaba katılarak bir veya birden fazla aşamada birleştirilebilir. Müşterinin isteğine bağlı olarak 100x100x100 mm'den 1200x1200x1000 mm'e kadar imal edilebilmektedir. Çalışma sıcaklık aralığı -40 °C'den 90°C'ye kadar ve basınç düşüşü ise 10 Pa'dan 400 Pa'a kadardır (Zaheed and Jachuck, 2004).



şekil 2.3. Monoblock ısı değiştiricisi (Zaheed and Jachuck, 2004)

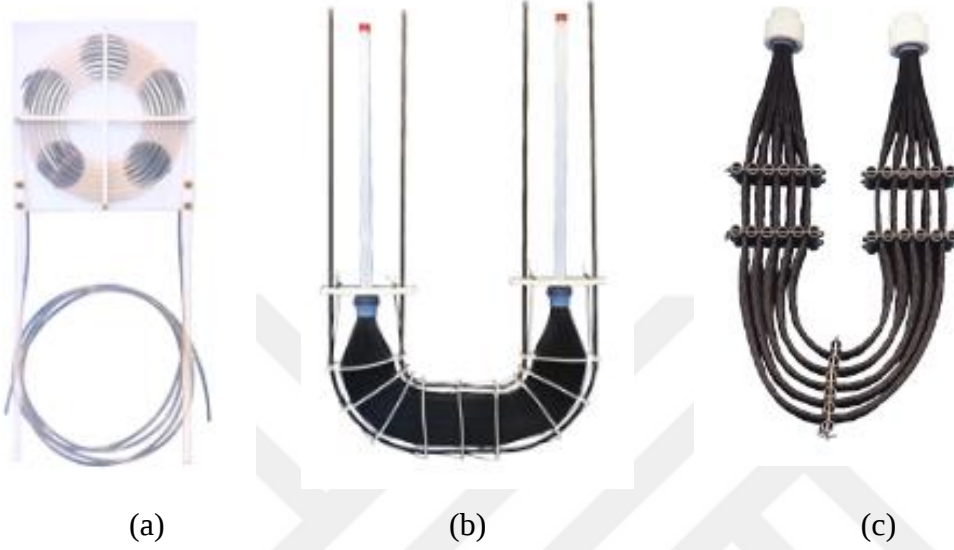
Institute Francais du Petrole (Reay, 2000) şirketi büyük buhar kazanları için yoğunlaşmalı ısı değiştiriciler üzerine çalışmışlardır. Bu ısı değiştiricisi, iki numaralı ağır yağ yakıtını (korozyon ve partiküllü) yakan kazandan ortaya çıkan baca gazlarında kullanılmıştır. Polimer olarak polifenilen sülfid (PPS) kullanılmıştır. Bir tarafta yoğunlaşma ve diğer tarafta ön ısıtılmalı hava ile toplam ısı transfer katsayısı 40 W/mK olarak elde edilmiştir. Yoğunlaşmalı ısı değiştiriciler, apartman blokları için kazanlarda ve malt fırınlarında ısı geri kazanımında kullanılır.

Polimer ısı değiştiriciler düşük sıcaklık uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Nordwest-deutsche Kraftwerke (Reay, 2000) enerji santrali yakıt gazı temizleme tesisi rejeneratif yeniden ısıtma sisteminin soğuk tarafında plastik elemanlara sahiptir. 10.000 saat boyunca oldukça asidik bir ortam oluşturan klorürler ve sülfür oksitlerle olan ıslak temasına rağmen GE Plastics tarafından sağlanan malzemede az miktardaki yaşlandırma sertleşmesinden başka herhangi bir bozunma görülmemiştir.

CIAT tarafından üretilen 300 m² ve 5 MW yüksek performansa sahip ısı değiştiricisi prototipi Almanya'daki Targor şirketi tarafından sağlanan çoklu uygulama üretim tesisine sahip polipropilen üzerine kurulmuştur. Bu ısı değiştiricisi, kaynatılınca pürüzsüz yüzeyli borudan 2-3 kat daha fazla performans sergileyen yapılandırılmış yüzey borularına sahiptir. Isı değiştiricisi, propilenin saflaştırılması için bir damıtma sütununun tabanına monte edilir ve kolonun dibini ısı değiştiricisinde buharlaşan propan ile doldurulur. Şirket böylece prosedürleri temel olarak değiştirmeden tesisin verimliliğini %20 oranında artırmak istemiştir. Yani aynı ısı kaynağı ile %20 oranında daha fazla propan buharının üretilmesi istenmiştir. Bu ısı kaynağı iki kimyasal reaktörün soğutulmasından geldiğinden belirli bir sıcaklık ve akış hızı kullanılmıştır. Isı kaynağı (su) ile soğuk kaynak (propan) arasındaki sıcaklık farkı dikkate alınırsa ayarlamaları sınırlandırmak için aynı hacim korunurken ısı değiştiricisinin performansının en az %50 artırılması gerekmektedir. Çözüm ise mevcut ısı değiştiriciyi yüksek performanslı borularla donatılmış bir ısı değiştiriciyle değiştirmektir. Yeni PP ısı değiştirici ile enerji tasarrufu 1 MW olarak tahmin edilmektedir (Zaheed and Jachuck, 2004).

Amatek tarafından Şekil 2.4'te görüldüğü gibi 3 farklı daldırma tip ısı değiştiricisi üretilmiştir. Mini serpantin floropolimer ısı değiştiriciler korozyon probleminin olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Kimyasal tepkimeye girmeyen ve yapışmaz özelliği ile bilinen floropolimerler korozyon ve kirlenmeye karşı dirençlidir. 12 farklı modelde mini serpantin ısı değiştirici

sunulmaktadır. Borulama için FEP veya PFA ve çerçeve için polipropilen veya PTFE reçine kullanılır. İkincisi ince serpantin ısı değiştiricidir. U veya düz şekli tipleri bulunmaktadır. 0.30 m ile 4.88 m aralığında uzunluğa sahiptir. Üçüncü tip ısı değiştirici ise iki kat ısı transfer oranına sahip süper serpantin ısı değiştiricisidir (Amatek, 2017).



şekil 2.4. Amatek polimer serpantinler a) mini serpantin b) ince serpantin c) süper serpantin (Amatek, 2017)

George Fischer tarafından üretilen daldırma tipi ısı değiştiriciler PE, PVDF veya PP polimerlerinden imal edilmektedir. Polietilen 65°C'nin üstündeki sıcaklıklarda kullanıma uygun değildir. Borulama dış çapı 65 mm ve duvar kalınlığı 0.6 mm olarak imal edilmiştir. 117 boru ile enerji transferi yaklaşık olarak 1200 W ve sıcaklık farkı 10°C olarak kabul edilmektedir (Zaheed and Jachuck, 2004).

Process Technology tarafından Teflon serpantinlere sahip gövde-boru ısı değiştirici üretilmiştir. Isı transfer alanı 0.116 m² ile 0.465m² aralığındadır. Borular, 12.7 mm dış çap ve 0.9 mm duvar kalınlığına sahiptir. Maksimum basınç 207 kPa'dır. Daldırma tip ısı değiştiricilerde FEP veya PFA borular kullanılmıştır. Isı değiştiricinin boyutuna göre sırasıyla dış çap 6.35 mm veya 12.7 mm ve duvar kalınlığı 0.6 mm veya 0.9 mm olabilmektedir (Davidson et al., 1999).

Calorplast tarafından üretilen şekil 2.5'te plastik boru plakalı ısı değiştiricisi görölmektedir. Bu tip ısı değiştirici düşük viskoziteye sahip akışkanlar arasında ısı transferi için harici ısı değiştirici olarak kullanılmaktadır. Boru plakalı ısı değiştirici temiz ve kısmen kirli ortamlarda ve kondenser olarak kullanımının yanı sıra ısıtıcı

veya soğutucu olarak kullanılabilir. Plastik boru plakalı ısı değiştiriciler genellikle yüzey teknolojileri, kimya endüstrisi, biyogaz üretimi, deniz suyu akvaryumlar, yarı iletkenler ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. Özellikleri eşsiz kompakt tasarıma sahiptir. Tekli “boru plakaları”, çift cidarlı plastik basınç kapları ile herhangi bir ek malzeme olmadan birleştirilir. Plakaların farklı düzenlenmesi ile çeşitli akışlar elde edilebilir. 1 ile 20 m² arasında ısı transfer yüzey alanına sahiptir. Maksimum çalışma sıcaklığı 140°C ve seçilen malzemeye bağlı olarak 18 bar basınca kadar kullanılabilir. PE, PP ve PVDF malzemeden üretilmektedir (Calorplast, 2017).



Şekil 2.5. Calorplast boru plakalı ısı değiştirici (Calorplast, 2017)

Calorplast tarafından üretilen plastik gövde boru ısı değiştirici Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Bu tip ısı değiştirici ısıtma, soğutma veya yüksek saflıktaki ortamlarda evaporatör olarak kullanılmaktadır. Kompakt dizayna ve ince cidarlara sahip olduğundan çok yüksek ısı transfer performansına sahiptir. Seçilen malzemeye bağlı olarak çalışma sıcaklık aralığı -30°C ile 120°C arasındadır ve 3 ile 10 bar basınç aralığında kullanılabilir. PE, PFA ve PVDF malzemeden üretilmektedir.



Şekil 2.6. Calorplast gövde boru ısı değiştirici (Calorplast, 2017)

Calorplast tarafından üretilen plastik daldırma tip ısı değiştirici Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bu tip ısı değiştirici inorganik asitlerin ısıtma ve soğutma işlemlerinde, yüksek saflıktaki ortamlarda veya depolardaki aşındırıcı ve yüzey kaplayıcı sıvılarla kullanılmaktadır. Seçilen malzemeye bağlı olarak çalışma sıcaklık aralığı -30°C ile 140°C arasındadır ve 3 ile 16 bar basınç aralığında kullanılabilir. PE, PP ve PVDF malzemeden üretilmektedir. Birçok borunun bir araya getirilmesi işlemi pahalı ve karışık bir işlemdir. Bunun için boruların önceden ısıtılmış bir kalıba yerleştirildikleri enjeksiyon kalıplama işlemi olan birden fazla kalıplama işlemi gerçekleştirilir. Stabil toplayıcı ya da iletici eleman elde etmek için erimiş polimer erimiş boru üzerine enjekte edilir. Bu yöntem ile elde edilen ürün tamamen homojen yapıya sahiptir.



Şekil 2.7. Calorplast daldırma tip ısı değiştirici (Calorplast, 2017)

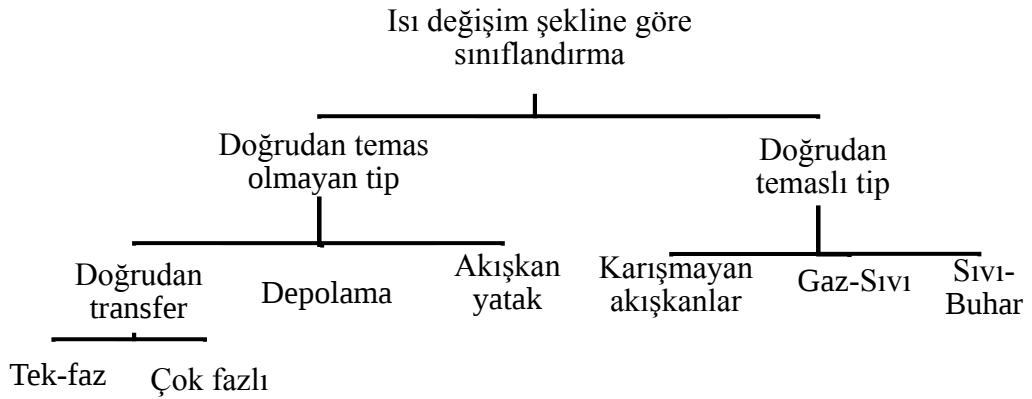
3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Isı değıştirciler mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan ve farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasındaki ısı transferini sağlayan cihazlardır. Endüstrilerde ısıtma, ısı depolanması, ısı geri kazanımı, iklimlendirme, soğutma, güç, petrol, ulaşım, alternatif yakıtlar ve diğer sanayilerde kullanılır. Günlük hayatta genel olarak kullandığımız ısı değıştircilere otomobil radyatörleri, kondanserler, buharlaştırmacılar, elektronik cihazlarda soğutucular, hava ön ısıtıcıları ve yağ soğutucuları gibi örnekler verilebilir (Kuppan, 2000).

Isı değıştirciler kullanım amaçlarına göre değışik kapasitelerde, boyutlarda ve tiplerde olabilmektedirler. Bu nedenle ısı aktarım şekli, akışkan sayısı, yüzey kompaklığı, yapı şekli, akış şekilleri ve ısı transfer mekanizmalarına göre birçok farklı şekilde sınıflandırılabilirler (Shah,1981).

3.1. Isı değışim şekline göre sınıflandırma

Isı değıştirciler; ısı değışim şekline göre doğrudan temaslı ve doğrudan temas olmayan olarak ikiye ayrılır (Şekil 3.1). Genellikle birçok ısı değıştircide akışkanların birbirine karışmadığı ve bir ısı transfer yüzeyi ile ayrıldıkları yani doğrudan temas olmayan iletim tipi kullanılır (Shah and Sekulic, 2003).



Şekil 3.1. Isı değışim şekline göre sınıflandırma (Shah,1981).

3.1.1. Doğrudan temas olmayan tip

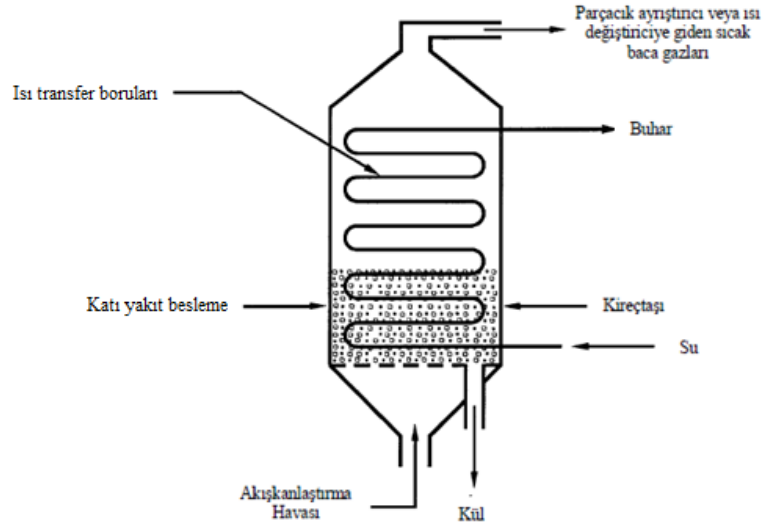
Doğrudan temas olmayan tip ısı değıştircilerde, akışkanlar birbirine karışmaz. Akışkan akışları ayrıdır ve ısı transferi bölünmüş sızdırmaz duvar

boyunca sürekli olarak veya kısa süreli duvar içine veya dışına doğru meydana gelir. Ayrıca bu tip ısı değiştiriciler yüzey ısı değiştiricileri olarak da adlandırılır. Doğrudan temas olmayan tip ısı değiştiriciler, doğrudan transfer, depolama ve akışkan yataklı tipler olarak sınıflandırılabilir (Shah,1981).

Doğrudan transfer tipi ısı değiştiricilerde, iki veya daha fazla akışkanın eş zamanlı akışında bile akışkanlar birbirine karışmazlar. Çünkü her birinin farklı akış bölümleri vardır. Yani sıcaktan soğuk akışkana olan ısı transferi ayırıcı duvar ile gerçekleşir. Ayrıca bu tip ısı değiştiriciler reküperatör olarak da adlandırılır. Bu tip ısı değiştiricilere birkaç örnek olarak borulu, plakalı ve genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri verilebilir. Ancak gövde-boru ve plakalı ısı değiştiriciler reküperatör olarak değerlendirilse de reküperatör teriminin kullanımı yaygın değildir. Reküperatörler alt sınıflara birincil yüzey ısı değiştiriciler ve genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiriciler olarak sınıflandırılabilir. Birincil yüzey ısı değiştiriciler herhangi bir akışkan tarafında kanatlar veya genişletilmiş yüzeyler kullanmazlar. Düz borulu ısı değiştiricisi, düz borulu gövde-boru ısı değiştiriciler ve plakalı ısı değiştiriciler birincil yüzey ısı değiştiricilere iyi örneklerdir. Reküperatörler ısı değiştiricilerin büyük bir çoğunluğunu oluşturur.

Depolama tipi ısı değiştiricilerde, sıcak ve soğuk akışkan aynı akış yolunu kullanır. Isı transfer yüzeyi (ya da akış yolu), genellikle matris olarak anılan hücresel yapıda veya dolgulu yatak olarak anılan delikli (geçirgen) katı malzemedir. Sıcak akışkan ısı transfer yüzeyi üzerinden (akış yollarından) geçerken sıcak gazdan oluşan termal enerji matris duvarında depolanır ve böylece matrisin ısıtılması süresince sıcak gaz soğur. Soğuk akışkan aynı akış yolundan geçerken (yani matris soğuma süresince) matris duvar termal enerjiyi soğuk akışkana verir. Yani doğrudan transfer tipi ısı değiştiricilerdeki (reküperatör) gibi ısı transferi duvar boyunca sürekli değildir. Depolama tipi ısı değiştiriciler, rejenatif ısı değiştiriciler ya da rejeneratörler olarak da adlandırılır.

Akışkan yataklı ısı değiştiricilerde, iki akışkandan bir tanesi kendi akış alanından geçerken, diğeri sıcak katı partiküllerin arasından geçmektedir (Bkz. Şekil 3.2). Eğer yatak tarafındaki yukarıya doğru akan akışkanın hızı düşüğe katı parçacıklar yatakta sabit kalır ve akışkan yatağın boşluklarından akar eğer hızı yüksekse katı parçacıklar akışkanla birlikte akar. “Normal” akış hızında ise yukarı doğru sürüklenme kuvveti, yatak parçacıklarının ağırlığından biraz daha fazladır. Bunun sonucunda artan yatak hacmi ile birlikte katı parçacıklar yüzer ve bu yatak sıvı gibi davranır (Shah and Sekulic, 2003). .



Şekil 3.2. Akışkan yataklı ısı değiştirici (Shah and Sekulic, 2003).

3.1.2. Doğrudan temaslı tip

Doğrudan temaslı tip ısı değiştiricilerde farklı sıcaklıklardaki iki akışkan veya bir akışkan ile katı madde doğrudan karıştırılır veya temasa geçirilir. Isı transferi gerçekleştikten sonra iki akışkan kendiliğinden ayrılır. Doğrudan temaslı ısı değiştiricisinin kullanıldığı birçok uygulamada ısı transferi gerçekleşirken kütle transferi de gerçekleşir. Bu tip ısı değiştiricilerdeki faz değişim entalpisi toplam enerji transferinin büyük bir kısmına karşılık gelmektedir. Faz değişimi genellikle ısı transfer oranını artırır. Doğrudan temaslı olmayan ısı değiştiricilerle karşılaştırıldığında çok yüksek ısı transfer oranına sahiptir, imalatı daha az maliyetlidir ve iki akışkan arasında ara yüzey olmadığından kirlenme meydana gelmez. Ancak iki akışkanın birbirine karıştığı durumlardaki uygulamalar sınırlıdır. Doğrudan temaslı tip ısı değiştiriciler karışmayan akışkanlar, gaz-sıvı ve sıvı-buhar ısı değiştiriciler olarak sınıflandırılabilir. Doğrudan temaslı tip ısı değiştiricilere örnek olarak endüstride; soğutma kuleleri, jet veya sprey yoğuşturucuları, püskürtmeli ve tablalı yoğuşturucular verilebilir. Endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan ısının atılması için pratikte çok kullanılan soğutma kuleleri bu tip ısı değiştiricilerine iyi bir örnektir (Shah and Sekulic, 2003).

Karışmayan akışkanlarla ısı değiştiricilerde, karışmayan akışkan buharları birbiriyle temas eder. Akışkanlar tek faz ya da yoğuşma veya buharlaşma içerebilir. Su veya hava ile organik buharlar veya yağ buharlarının yoğuşması tipik örnekleridir.

Gaz-sıvı ısı değiştiricilerde, bir akışkan gaz (genellikle hava) iken diğer akışkan sıvıdır (genellikle su) ve enerji transferinden sonra ayrılmaya hazırdırlar. Sıvının soğuması (su) veya gazın (hava) nemlenmesi uygulamalarında sıvı kısmen buharlaşır ve bu buhar gaz ile taşınır. Bu tip ısı değiştiricilerde enerji transferinin %90'ı kütle transferi yolu ile gerçekleşir (sıvının buharlaşması nedeniyle) ve taşınımlı ısı transferi ikincil bir mekanizmadır. Doğal ve zorlanmış hava akımlı ıslak (su) soğutma kulesi en çok kullanılan uygulamasıdır. Diğer uygulamaları iklimlendirme püskürtme haznesi, püskürtme kurutucu, püskürtme kulesi ve püskürtme havuzudur.

Sıvı-buhar ısı değiştiricilerinde, soğutma suyu kullanılarak buhar kısmen ya da tamamen yoğunlaştırılır veya atık buhar ile su ısıtılır. ıkış akışları, atık buhar ve sıcak sudur. Enerji santrallerinde kızgın buhar soğutucuları ve açık besleme suyu ısıtıcıları yaygın örneklerdir (Shah and Sekulic, 2003).

3.2. Yüzey kompaktlığına göre sınıflandırma

Kompakt ısı değiştiriciler, ısı geçişini artırmak amacıyla yüzey alanı artırılmış yüksek yüzey yoğunluğuna sahip ısı değiştiricilerdir. Bu tip ısı değiştiriciler ısı transfer oranını artırırken ısı değiştiricisinin maliyetini, enerji gereksinimini ve soğutucu akışkan kullanımını azaltır. şekil 3.3'te ısı değiştiricilerin yüzey kompaktlığına göre sınıflandırması verilmiştir. Gazdan sıvıya ısı değiştiriciler, 700 m²/m³ ten daha büyük yüzey alan yoğunluğuna veya 6 mm'den daha küçük hidrolik çapa sahip ise kompakt ısı değiştiricilerdir. Yüzey alan yoğunluğu 3000 m²/m³ ten daha büyük veya 100μm ≤ D_h ≤ 1mm ise laminar akış ısı değiştirici ve yüzey alan yoğunluğu 15,000 m²/m³ ten daha büyük veya 1μm ≤ D_h ≤ 100μm ise mikro ısı değiştiricidir. Sıvı/iki-faz ısı değiştirici 400 m²/m³ ten daha büyük yüzey alan yoğunluğuna sahip ise kompakt ısı değiştiricilerdir (Kreith & Goswami, 2007).

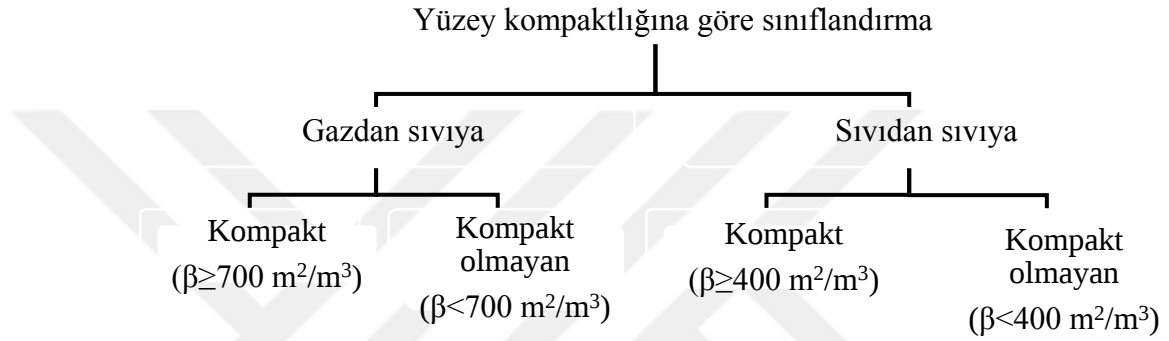
Isı transfer alan yoğunluğu (sıcak veya soğuk akışkan için);

$$\beta = \frac{A_{sıcak}}{V_{sıcak}} \text{ veya } \beta = \frac{A_{soğuk}}{V_{soğuk}} \text{ (m}^2\text{/m}^3\text{)} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 ile ifade edilir. Bu denklem plakalı, plakalı kanatlı ısı değiştiriciler ve rejeneratörlerde kullanılır. A ısı transfer yüzey alanı ve V ise ısı değiştiricisi hacmidir.

$$\beta = \frac{A_{sıcak}}{V_{toplam}} = \beta = \frac{A_{soğuk}}{V_{toplam}} = \frac{4\sigma}{D_h} (m^2/m^3) \quad (3.2)$$

Denklem 3.2 kanatlı borulu ve gövde borulu ısı değıştircilerde için kullanılır. V_{toplam} toplam hacimdir. Bu tip ısı değıştircilerin aksine gövde-boru tip ısı değıştircilerin yüzey alanı yoğunluğu $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ten daha azdır.



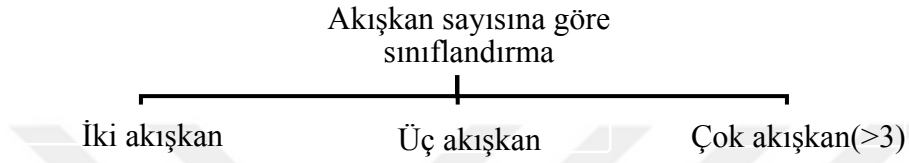
Şekil 3.3. Yüzey kompaktlığına göre sınıflandırma (Shah,1981).

Gazdan-sıvıya ısı değıştircilerde bir tarafında gaz diğer tarafında sıvı bulunması bazı sorunları beraberinde getirmektedir. Genellikle gaz akışkanların ısı transfer katsayılarının (h) su, yağ ve diğer sıvı akışkanlara göre küçük olması önemli bir sorundur. Gaz-sıvı ısı değıştircilerin boyutunun ve ağırlığının minimize edilmesi için ısı değıştircinin iki tarafındaki termal iletkenliklerin (hA) aynı olması gerekmektedir. Bu nedenle, gaz kısmında ısı transfer yüzeyini ve ısı değıştircisinin kompaktlığını artırmak gerekmektedir. Bunun sağlanmak için yüzeylere ilave kanatlar kullanılır. Bu dizayn gaz-gaz, gaz-sıvı ve gaz-faz değışimi ısı değıştircilerin gaz tarafına uygulanır. Kompakt ısı değıştirciler (plakalı ve borulu) sıradan gövde-boru ısı değıştircilerle karşılaştırıldığında aşağıdaki avantajları bulunmaktadır. Ucuz, hafif ve yüzey alanı yoğunluğunun gövde-boru ısı değıştircilerden ($100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'ten daha az) çok daha yüksek olması bunlardan birkaçıdır. Dezavantaj olarak kompakt ısı değıştircilerin genellikle en az bir tane akışkan gaz olmalıdır ve gazlar düşük ısı transfer katsayısına sahiptir. Ayrıca akışkanlar temiz olmalıdır ve nispeten korozyif olmamalıdır çünkü kirlilik ve korozyon gibi sorunlar meydana gelebilir. Tek bir akışkan bölümünde veya iki akışkan bölümünde gaz akışkan içeren kompakt ısı değıştircilere örnek olarak plakalı, borulu ve dönen rejenaratörler verilebilir. Sıvı-sıvı ısı değıştircilere örnek

olarak contalı, kaynaklı, kaynaklı plakalı ısı değıştirciler ve baskılı plaka ısı değıştirciler verilebilir.

3.3. Akışkan sayısına göre sınıflandırma

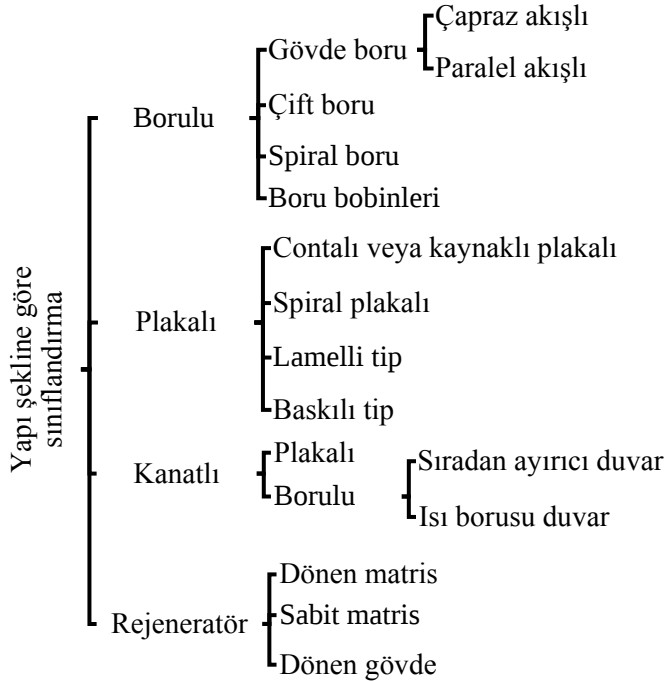
Isıtma, soğutma, ısı geri kazanımı ve ısı atımı gibi ısı transferini içeren birçok uygulamada ısı değıştircilerde iki akışkan kullanılmasına rağmen üç veya daha fazla akışkanın kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur (Bkz. Şekil 3.4). İki den fazla akışkanın kullanıldığı ısı değıştircilerin tasarımı ve analizi karmaşıktır.



Şekil 3.4. Akışkan sayısına göre sınıflandırma (Shah, 1981).

3.4. Yapı şekline göre sınıflandırma

Isı değıştirciler genelde yapı şekline göre sınıflandırılır (Bkz Şekil 3.5). Borulu, plakalı, kanatlı ve rejeneratör tipi ısı değıştirciler dört ana yapıdır.

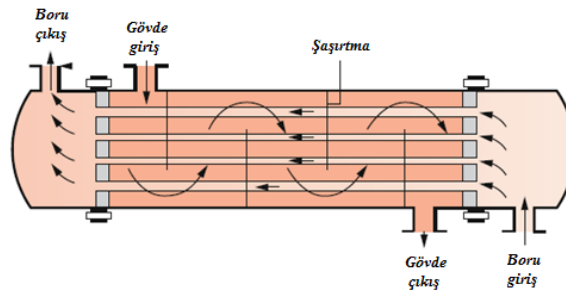


Şekil 3.5. Yapı şekline göre sınıflandırma (Shah, 1981).

3.4.1. Borulu ısı değiştiriciler

Borulu ısı değiştiricilerin kullanım alanı çok geniştir ve birçok boyutta, akış düzeninde ve tipte üretilirler. Bu tip ısı değiştiricilerin işletme basınç ve sıcaklık aralığı çok geniştir. Borulu ısı değiştiricilerin kolay üretimi ve nispeten düşük maliyeti birçok mühendislik uygulamasında tercih edilmesinin en önemli nedenleridir. Borulu ısı değiştiricilerde genelde dairesel kesitli borular kullanılır. Ancak eliptik, dikdörtgen veya burulmuş tip kesitteki borularda bazı uygulamalarda kullanılmaktadır. Borulu ısı değiştiriciler öncelikli olarak sıvı-sıvı ve sıvı-faz değişim (yoğuşma ve buharlaşma) ısı transferi uygulamalarında kullanılır. Gaz-sıvı veya gaz-gaz ısı transferi uygulamalarında işlem sıcaklık veya basıncının çok yüksek veya kirlenmenin çok önemli bir problem olduğu durumlarda borulu ısı değiştiriciler tercih edilir. Borulu ısı değiştiriciler gövde-boru, çift boru ve spiral boru olarak sınıflandırılabilir.

Gövde-boru tip ısı değiştiriciler, silindirik gövdenin içine birbirine paralel boruların yerleştirilerek imal edilir. Akışkanlardan birisi boru içinde akarken diğeri silindirik gövde içinde borulara paralel veya çapraz akar. Bu tip ısı değiştiriciler borulu ısı değiştiriciler arasında en çok kullanılan ısı değiştirici tipidir. İstenilen ısı transferi ve basınç düşüşü performansına göre gövde-boru değiştiricilerde farklı i yapılar kullanılır. Ayrıca ısı gerilmeleri azaltmak, sızıntıları önlemek, temizleme kolaylığı sağlamak ve korozyonu önlemek gibi çeşitli problemler için de farklı dizaynlar gerçekleştirilebilir. şekil 3.6'da bir akışkan borular içinde akarken diğeri boruların dışında akan akışkana sahip gövde-boru ısı değiştiricisi gösterilmiştir.



şekil 3.6. Gövde-boru tip ısı değiştirici; tek gövde ve tek boru geçişli (Zohuri, 2017)

Çift borulu ısı değiştiriciler genellikle iki borunun eş merkezli i içe geçmesiyle oluşur. Yüzey alanından ideal en yüksek performans için bir akışkan boru içerisinden akarken diğeri iki boru arasındaki halka boşluğunda akar. Ters veya paralel akışlı olabilir. şekil 3.7'den görüldüğü üzere basit bir yapıya sahiptir

ve akış problem değildir ayrıca temizliği kolaydır. Ancak birim yüzey alanına maliyeti yüksektir bu nedenle genellikle küçük kapasiteli uygulamalarda kullanılır.



Şekil 3.7. Çift borulu ısı değiştiricisi (Equitek Process Solutions, 2016)

Spiral borulu ısı değiştiricilerde spiral şeklinde sarılmış bir ya da birden fazla boru gövde içine yerleştirilmiştir. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi artırılmış yüzey alanı nedeniyle spiral ısı değiştiricisinin ısı transfer oranı düz bir borudan daha yüksektir. Üretimi basit ve maliyeti düşüktür ayrıca termal genleşme sorunu yoktur. Ancak iç yüzeyinin temizliği çok zordur.

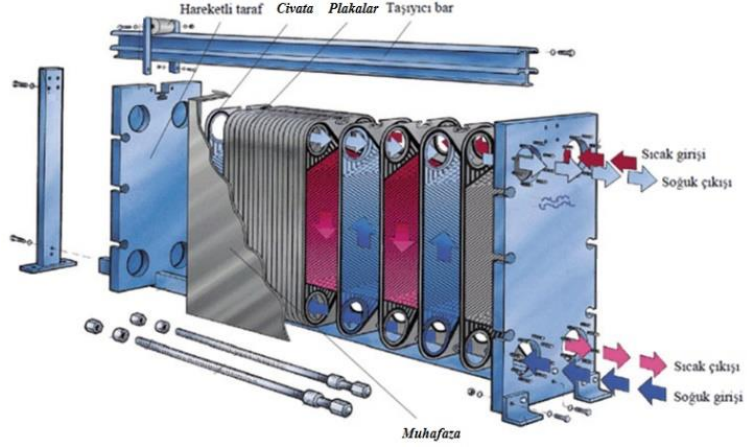


Şekil 3.8. Spiral borulu ısı değiştirici (MX Machinery Limited,2016)

3.4.2. Plakalı ısı değiştiriciler

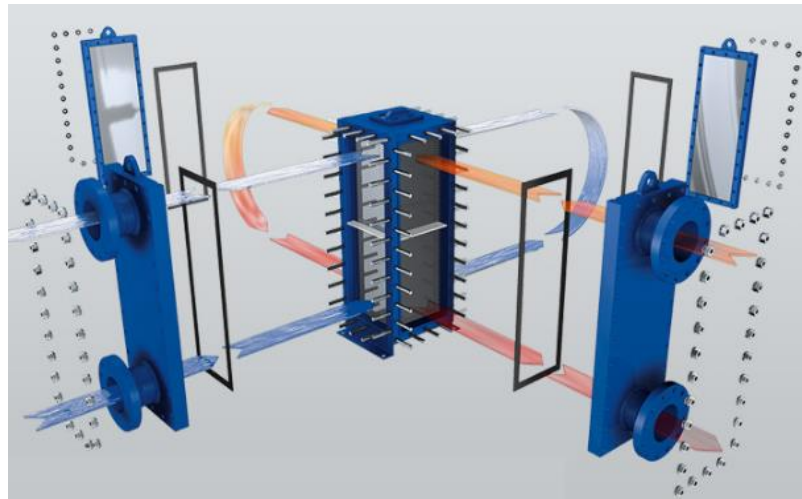
Plakalı ısı değiştiriciler, gaz, sıvı veya iki fazlı akışkanlar arasında ısı transferini gerçekleştirmek için düz veya girintili-çıkıntılı ince metal plakalar kullanılarak imal edilir. Bu tip ısı değiştiricilerin yüksek işlem sıcaklık ve basıncına karşı borulu tip ısı değiştiricilerle kıyaslandığında daha dayanıksızdır. Plakalı ısı değiştiriciler, contalı- plakalı, kaynaklı- plakalı ısı değiştirici, spiral plakalı, lamelli tip, baskılı tip ısı değiştiriciler olarak sınıflandırılabilir.

Contalı plakalı ısı değiştiricileri, ince metal plakaların birbirine contalarla bağlanması ile elde edilir. Akışkanlar birbirine karışmadan sıcak ve soğuk akışkanlar plakalar arasında akarlar. Isı transferinin iyileştirilebilmesi için plaka sayısı değiştirilebilir veya dalgalı şekilde üretilir. Şekil 3.9’da contalı-plakalı ısı değiştirici gösterilmiştir.



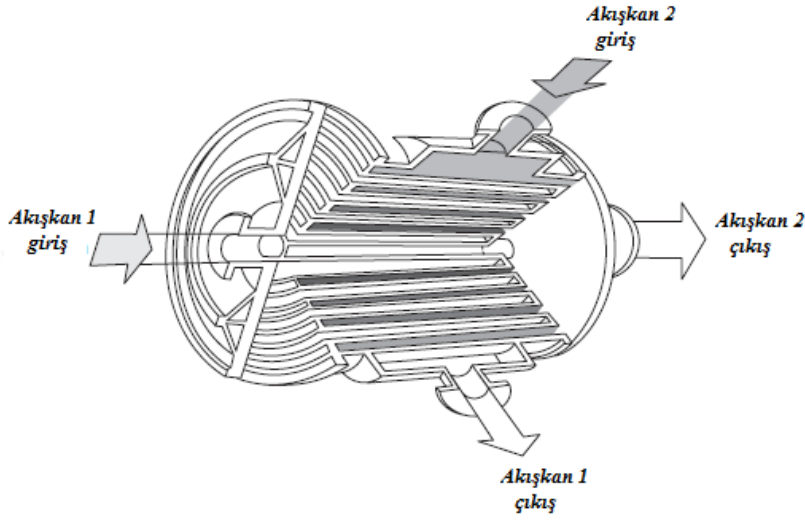
Şekil 3.9. Contalı- plakalı tip ısı değıştirciler (Zohuri, 2017)

Kaynaklı plakalı ısı değıştirciler, plakaların birbirine kaynaklanmasıyla elde edilir. Contalı plakalı ısı değıştircilerde plakaların birbirine bağlanması civatalarla sağlandığından uyumlu akışkanlar (korozyif olmayan akışkanlar) ile kullanımını ve yüksek işlem sıcaklığı ve basıncında çalışmasını sınırlar. Kaynaklı plakalı ısı değıştirciler bu gibi sınırlamaların üstesinden gelmek için üretilmiştir. Kaynaklı tip ısı değıştircilerde 4 MP'a ve 350 °C'a kadar olan işlem basınç ve sıcaklığında çalıştırılabilir ve plaka malzemesiyle uyumlu korozyif akışkanlar kullanılabilir. Ayrıca bu tip plaka ile contalı plakalarda meydana gelebilecek sızıntılara karşı önlem alınmış olur. Dezavantajı ise akışkan kısmında yani kaynak yapılan kısımda sökölüp takılmanın yapılamamasıdır. Şekil 3.10'da kaynaklı plakalı ısı değıştirciler gösterilmiştir.



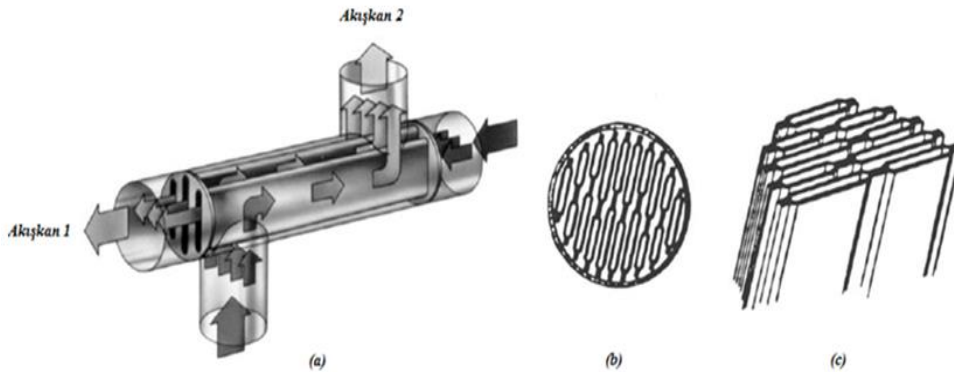
Şekil 3.10. Kaynaklı tip plakalı ısı değıştirciler (Kelvion,2016)

Spiral plakalı ısı değıştirciler, nispeten uzun iki plakanın helisel olarak sarılmasıyla elde edilir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi iki akışkan için bir çift spiral kanal oluştururlar. Akışkanlar birbirlerine ters veya paralel yönde olabilir. Isı transfer katsayıları plakalı ısı değıştirci kadar fazla değildir ancak kavisli dikdörtgen geçişlerden dolayı gövde-boru ısı değıştircilerden daha yüksektir. Basınç kayıpları gövde-boru ve contalı-plakalı tip ısı değıştircilere göre daha azdır.



Şekil 3.11. Ters akışlı iki akışkan kullanılan spiral plakalı ısı değıştirci (Zohuri,2017)

Lamelli ısı değıştirciler, yassılaştırılmış ince boruların gövde içine yerleştirilmiştir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi akışkanlardan birincisi yassı boruların içinden akarken ikinci akışkan yassı boruların arasından akar. Akışkanlar birbirlerine ters veya paralel yönde olabilir.



Şekil 3.12. (a) Lamelli ısı değıştirci (b) lamelli ısı değıştircisinin kesiti (c) lameller (R. K. Shah & Sekulić, 2003)

Baskılı ısı değıştirciler, gövde-boru tipi ısı değıştircilere alternatiftir. Bu ısı değıştircilerin ismi üretim yönteminden gelmektedir. Isı değıştircisinin merkezini oluşturan ince metal levhalar kimyasal işleme ile elde edilir. Baskılı ısı değıştirciler genellikle paslanmaz çelikten imal edilir ve kriyonejik sıcaklıktan 800°C'a kadar işlem sıcaklıklarında kullanılabilir. Şekil 3.13'te baskılı ısı değıştirci gösterilmiştir.

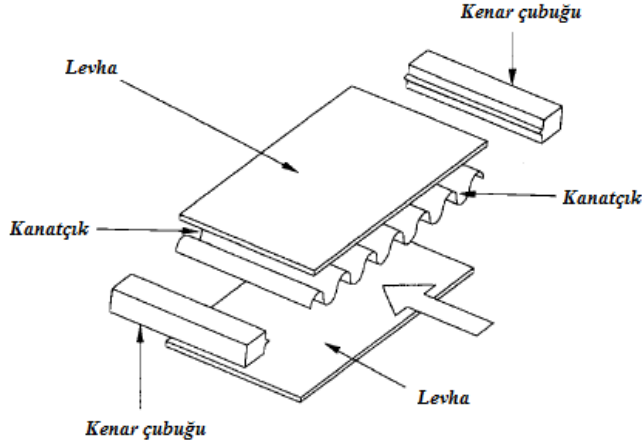


Şekil 3.13. Baskılı ısı değıştirciler (Zohuri, 2017)

3.4.3. Kanatlı ısı değıştirciler

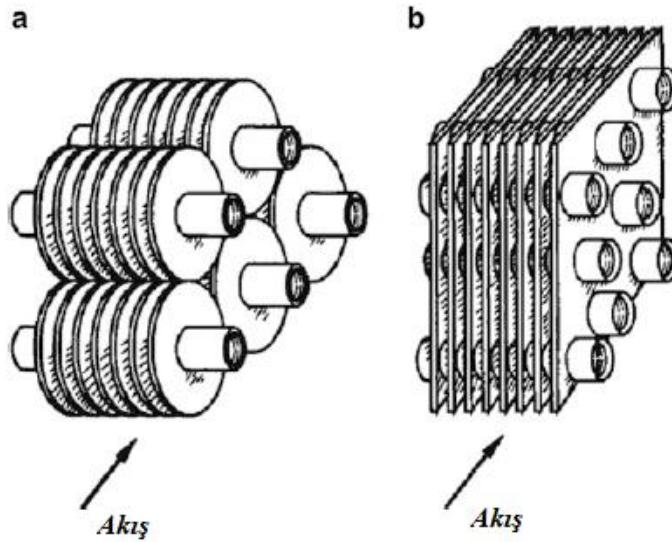
Kanatlı ısı değıştirciler, plaka veya boru tipteki kanatların ısı değıştircisine eklenerek ısı transferi yüzeyinin artırılarak ısı transfer oranı artırıldığı ısı değıştircilerdir. Ancak kanatlar aynı zamanda basınç düşüşüne de sebep olur bu nedenle bu yapıların uygun seçilmesi önemlidir. Kanatlı plaka ve boru ısı değıştircileri olarak ikiye ayrılırlar. Gazların ısı transfer katsayısı sıvılarınkinden oldukça düşüktür. Bu nedenle kanatlar gaz akışkan kısmında kullanılır.

Plaka kanatlı ısı değıştirciler, genellikle üçgen veya dikdörtgen kesitli oluklu kanatlara veya Şekil 3.14'te gösterildiği gibi plakalar arasında sandviç ara kanatlara sahiptir. Son zamanlarda elektrik güç ünitelerinde (gaz türbini, buhar, nükleer, yakıt, vb.), termodinamik çevrimlerinde (ısı pompası, soğutma, vb.) itici güç ünitelerinde (otomobil, uçak, vb.), havalandırma ve ısı geri kazanım sistemlerinde kullanılır.



Şekil 3.14. Plaka kanatlı ısı değiştiricinin temel elemanları (Shah and Webb, 1983)

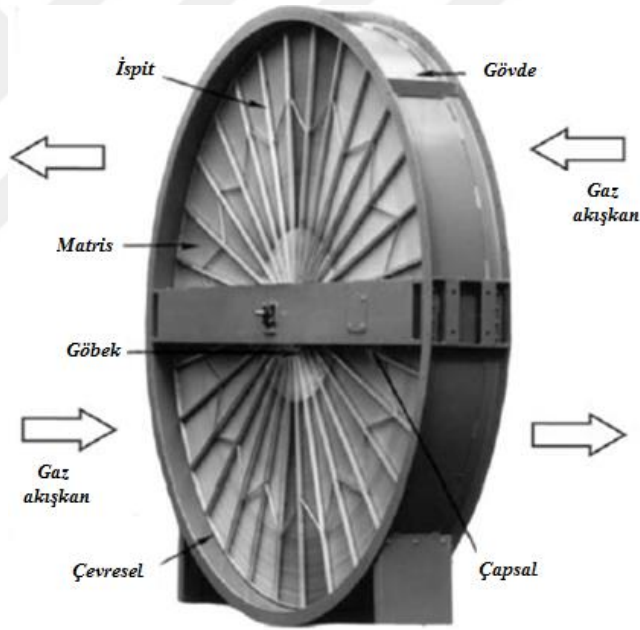
Boru kanatlı ısı değiştiriciler, geleneksel ve özelleştirilmiş tip olarak sınıflandırılabilir. Geleneksel boru kanatlı ısı değiştiricilerde iki akışkan arasındaki ısı transferi boru duvarı yoluyla ısı iletimi ile gerçekleşir. Ancak ısı iletim borulu ısı değiştiricisinde (özelleştirilmiş boru kanatlı ısı değiştiriciler), boruların iki ucu da ayırıcı duvar gibi kapalıdır ve iki akışkan arasındaki ısı transferi bu 'ayırıcı duvar' (ısı iletim borusu) yoluyla ısı iletim borusu akışkanının iletimi, buharlaşması ve yoğunlaşması ile gerçekleşir. Bu tip ısı değiştiricilerde eliptik borular kullanılsa da en çok kullanılan tipleri yuvarlak ve dikdörtgen borulardır. Şekil 3.15'te kanatlı boru ısı değiştirici tipleri gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kanatlı boru ısı değiştirici tipleri (a) ayrı kanatlı borular (b) yassı kanatlı boru ısı değiştirici (Shah and Sekulić, 2003)

3.4.4. Rejeneratörler

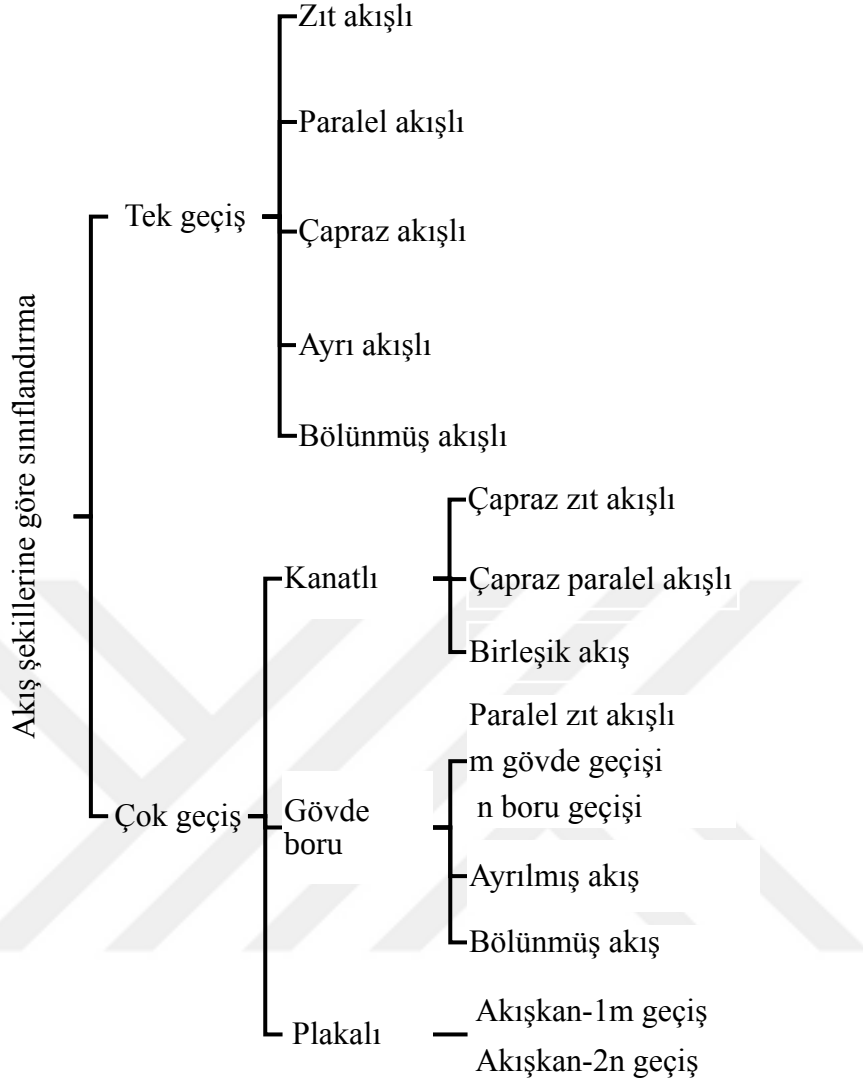
Rejeneratörlerde, ısı öncelikle sıcak akışkan tarafından depo edilir, daha sonra soğuk akışkana aktarılır. Reküperatör ile karşılaştırıldığında daha fazla kompakt bir yüzey uygulanabilir bu durum aynı ısı değişiricisi verimlilik ve basınç düşüşü için ısı değişiricisinin hacmini azaltır. Böylece rejeneratörler eş değer reküperatöre göre maliyeti daha düşük olur. Rejeneratör için daha fazla kompakt yüzey elde edilmesinin temel amacı sıcak ve soğuk gaz akışkanlarının radyal conta veya vanalarla ayrılırken reküperatörde ise akışkan akımları birincil yüzey ile ayrılır. Birim ısı transferi alanı başına kompakt rejeneratör üretim maliyeti eş değer reküperatörden çok daha azdır. Yani, kompakt rejeneratörler genellikle daha düşük hacim ve ağırlığa sahiptir. Rejeneratör ısı değişiriciler dönen tip, sabit matris, periyodik akım rejeneratörler ve ısı akümülatörü olarak sınıflandırılır. Şekil 3.16'da dönen tip rejeneratör gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Polyester filmden yapılan dönen tip rejeneratör (Shah and Sekulić, 2003)

3.5. Akış şekillerine göre sınıflandırma

Isı değişiricilerde yaygın kullanılan akış şekilleri Şekil 3.17'de sınıflandırılmıştır. Akış şeklinin belirlenmesi istenilen ısı değişiricisinin verimlilik, basınç düşüşü, minimum maksimum hızlar ve akışkan akış yolları gibi bazı kriterler göz önüne alınarak belirlenir. Isı değişiriciler akış şekline göre tek geçişli ve çok geçişli olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 3.17. Akış şekillerine göre sınıflandırma (Shah,1981).

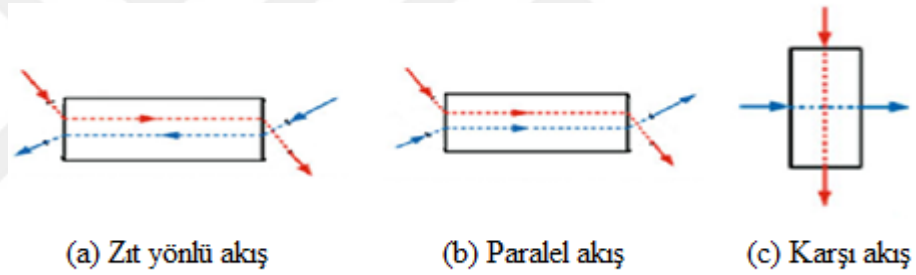
3.5.1. Tek geçişli ısı değiştiriciler

Tek geçişli ısı değiştiriciler, zıt yönlü, paralel ve karşı akış olarak sınıflandırılabilir (Bkz. Şekil 3.18).

Zıt yönlü akışlı ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirine ters yönde akarlar. Toplam termal iletkenlik, akışkan akış hızı (akışkan ısı kapasitesi hızı) ve akışkan giriş sıcaklığı açısından diğer iki akışkanlı akış şekillerine göre en verimlisidir. Ancak, üretim zorluklarından dolayı eğer çok fazla verimlilik gerekli değilse ticari ısı değiştiriciler için genellikle tercih edilmezler.

Paralel akışlı ısı değiştiricilerde akışkanlar aynı yönde ve eksenal olarak birbirlerine paralel akar. Bu akış tipi diğer tek geçişli ısı değiştiricilerle kıyaslandığında toplam termal iletkenlik, akışkan akış hızı (akışkan ısı kapasitesi hızı) ve akışkan giriş sıcaklığı açısından en düşük verimliliğe sahiptir. Ancak düşük verimlilikteki ısı değiştiriciler için paralel ve ters akışlı ısı değiştiricilerin verimliliği arasındaki fark azdır. Paralel akışlı ısı değiştiricilerde sıcak ve soğuk akışkanların giriş sıcaklıkları arasındaki fark büyüktür. Bu durum giriş kısmındaki ısı değiştiricinin duvarında yüksek termal gerilmelere sebep olabilir.

Karşı akışlı ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirlerine dik olarak akar. Termodinamik olarak karşı akışlı ısı değiştiricilerin verimi ters ve paralel akışlı ısı değiştiricilerin arasında bir değere sahiptir. Kanatlı ısı değiştiriciler için en yaygın kullanılan akış şeklidir çünkü her sıvı girişinde ve çıkışında başlık tasarımı büyük ölçüde basitleştirilmiştir. Bu akış tipinde akışkanlar birbiriyle karışabilir ya da karışmaz bu durum ısı değiştiricisinin dizaynına bağlıdır.



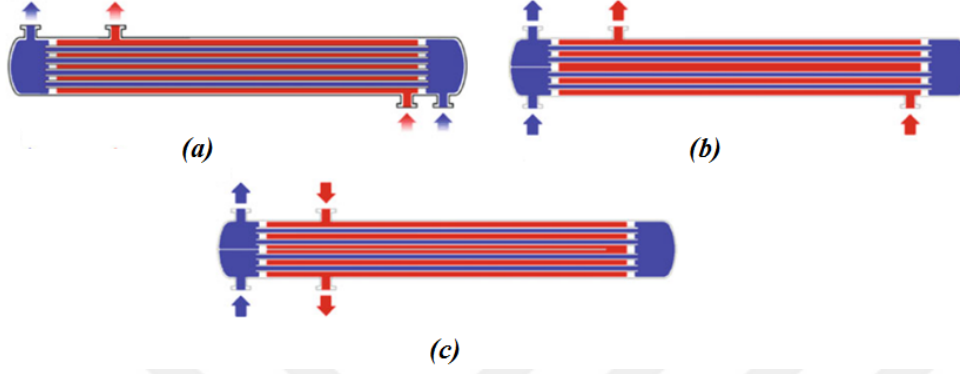
Şekil 3.18. Tek geçişli akış yönlerine göre sınıflandırma (Zohuri, 2017)

3.5.2. Çok geçişli ısı değiştiriciler

Çok geçişli ısı değiştiriciler, ısı değiştiricisi dizaynı düşük akışkan hızı ve verim ile sonuçlandığında uygulanır. Çok geçişli ısı değiştiriciler, tek geçişli verimliliğin üstünde toplam verimi artırırken çok geçişli kısımda basınç düşüşünü artırır. Çok geçişli ısı değiştiriciler yapısına göre kanatlı, gövde-boru ve plakalı olmak üzere sınıflandırılabilir.

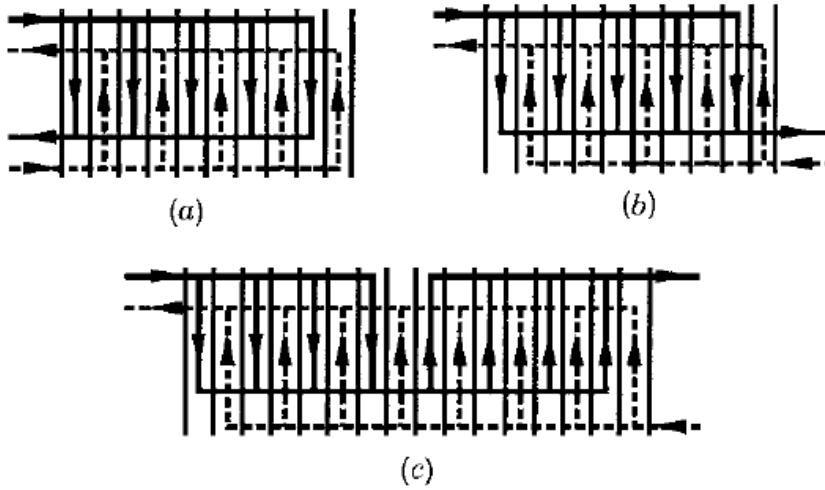
Çok geçişli kanatlı ısı değiştiricilerde çok tercih edilen akış şekilleri çapraz ters, çapraz paralel ve birleşik akış olarak sınıflandırılabilir. Bu tip akışlarda birden fazla sayıdaki çapraz geçişler arka arkaya ters veya paralel akımlı olarak seri olarak bağlanır. İmalat masrafları optimum malzemenin kullanılması ile azaltılabilmektedir.

Çok geçişli gövde-boru ısı değiştiriciler, paralel, zıt yönlü, bölünmüş ve ayrık akımlı akış gibi akış düzenlemelerine sahiptir. Gövde kısmındaki akışkan akış düzeni her bir gövde tipi için farklıdır. Boru geçişlerinin sayısı aynı olsa da ısı değiştiricinin verimliliği her bir gövde için farklıdır. Çeşitli akış şekillerine sahip gövde-boru tip ısı değiştiriciler Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Geleneksel gövde-boru ısı değiştirici akış şekilleri (a) tek geçiş (1-1 paralel akış), (b) 2 boru geçiş (1-2 zıt yönlü akış), (c) 2 gövde geçiş, 2 boru geçiş (2-2 karşı akış) (Zohuri, 2017)

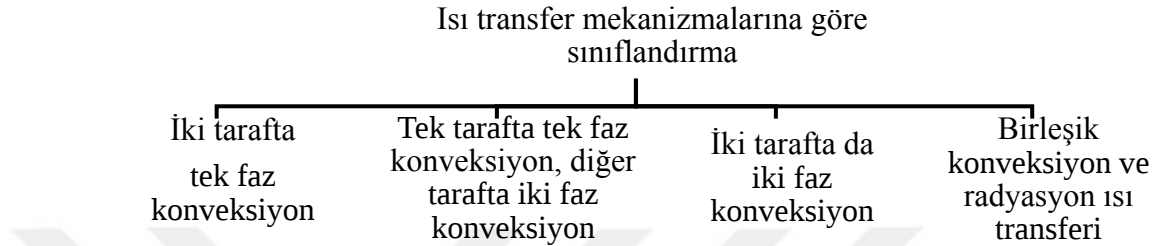
Plakalı ısı değiştiricilerde genellikle tek geçişli zıt yönlü akış yaygın olsa da bağlantı noktalarındaki contalara bağlı olarak birçok geçişli akış şekli bulunur. Çok geçişli plakalı ısı değiştirici akışlarından birkaçı Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Tek ve çok geçişli plakalı ısı değiştirici akışları. Tek geçişli veya dönüşlü: (a) U akışlı, (b) Z akışlı Çok geçişli, (c) 2 geçiş – 1 geçiş (Zohuri, 2017)

3.6. Isı transfer mekanizmalarına göre sınıflandırma

Isı transfer mekanizmasına göre yapılan sınıflandırmalarda akışkanın fazı dikkate alınır. Tek faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal), iki faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal konveksiyon ile gerçekleşen yoğuşma veya buharlaşma) ve birleşik konveksiyon ve radyasyon ısı transfer mekanizmalarıdır (Bkz. Şekil 3.21).

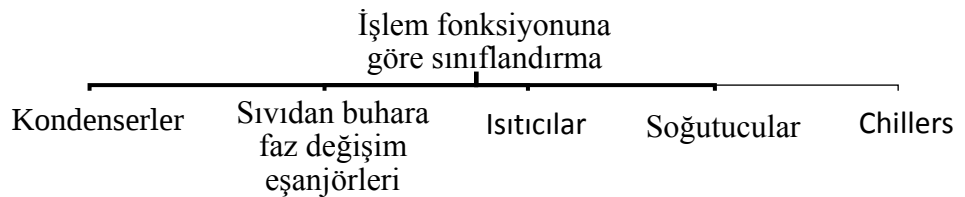


Şekil 3.21. Isı transfer mekanizmalarına göre sınıflandırma (Shah,1981).

İki tarafta tek fazlı akışın olduğu ısı değiştiricilerinde akışkanların fazı değişmez. Bunlara örnek olarak otomobil radyatörleri, oda ısıtıcıları, buhar kazanları ekonomizerleri ve hava ısıtıcıları, yolcu kabini ısıtıcıları örnek olarak verilebilir. Tek tarafta tek faz diğer tarafta iki fazlı akış olan ısı değiştiricilere örnek olarak ise termik santral yoğuşturucuları, soğutma sistemlerinin yoğuşturucu ve buharlaştırıcıları verilebilir. İki tarafta da iki faz akışlı ısı değiştiriciler hidrokarbonların damıtılması esnasında karışık buharların yoğuşmasında görülür. Birleşik konveksiyon ve radyasyonla ısı transferine örnek olarak yüksek sıcaklıkta dolgu maddeli rejeneratörler, fosil yakıtlı enerji santrali kazanlarındaki ısıtıcılar ve buhar kazanları verilebilir.

3.7. İşlem fonksiyonuna göre sınıflandırma

Şekil 3.22’te görüldüğü gibi ısı değiştiriciler işlem fonksiyonuna göre 5 grupta sınıflandırılabilir.

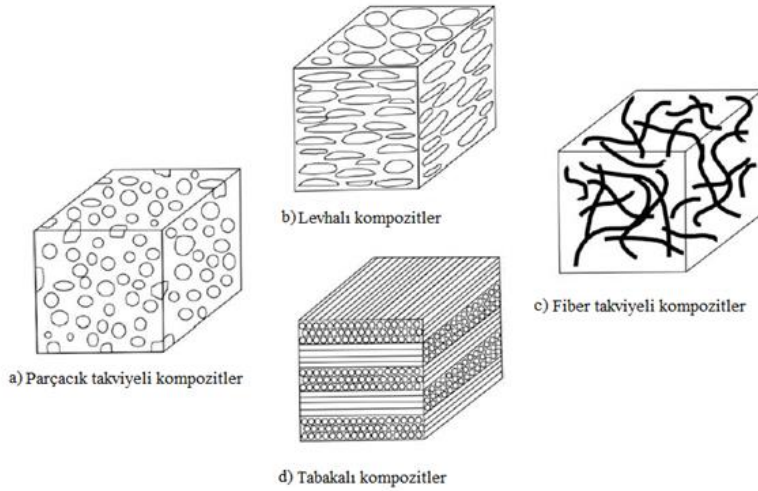


Şekil 3.22. İşlem fonksiyonuna göre sınıflandırma (Shah,1981).

4. POLİMER MATRİS KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler, bileşenlerinden daha üst özelliklerin (fiziksel, kimyasal, gibi.) elde edilmesi için iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşur. Kompoziti oluşturan farklı malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler veya karışmazlar yani kompozit, alaşımlarından kesinlikle farklı bir malzemedir. Kompozitlerin temel bileşenleri takviyeler ya da katkılar ve matristir (Gurdal et al., 1999).

Takviyeler ya da katkılar, matrisin özelliklerini geliştirir veya destekler. Takviyeler şekillerine göre parçacıklar, fiberler, levhalar ve tabakalar olarak sınıflandırılabilir. Şekil 4.1'de kompozit malzemelerin çeşitli formları gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Farklı formlarda takviyeli kompozitler (Gurdal et al., 1999)

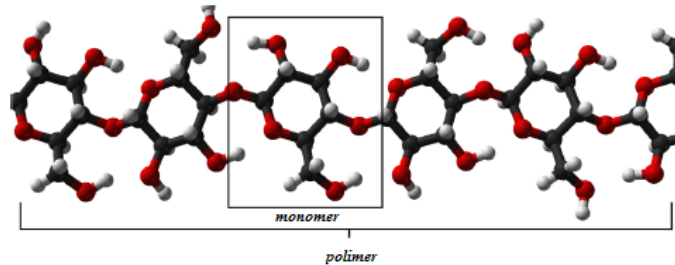
Fiberler, kısa (süreksiz) fiberler ($l/D < 100$) ve uzun (sürekli) fiberler olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Kısa fiberler düzenli veya düzensiz olabilmektedir. Uzun fiberler tek yönlü veya çift yönlü (örgü) olarak dağılırlar. En çok kullanılan cam, karbon ve aramid fiberlerdir. Bu fiber takviyeli kompozitler genellikle tek parça kompozitin elektriksel özelliğini geliştirmek ve aynı zamanda yüksek termal iletkenlik sağlamak için kullanılır. Parçacık takviyeli kompozitler, gümüş, alüminyum, alümina, alüminyum nitrür ve bor nitrür gibi iletken seramik parçacıkların kompozit malzemeye eklenmesiyle genellikle termal iletkenliği yüksek malzeme elde edilir. Fiber takviyeli kompozitler ile parçacık takviyeli kompozitler karşılaştırıldığında fiber takviyeli kompozitler seçilen fiber, matris ve üretim işlemi sayesinde kendi özelliklerini iyi bir şekilde aktarabilir. Çünkü termal

iletkenlik, yola bağılı özellik değil viskozite ve modüller gibi kitlesel bir özelliktir (Chen et al., 2016). Plakalı kompozitlerde, plakaların şekillerinden dolayı genellikle iki boyutlu olarak takviye edilirler. Genellikle kullanılan cam ve mika malzemeler ayrıca metal levha olarak alüminyum da kullanılmaktadır. Tabakalı kompozitler, her biri farklı yönlenmeye sahip birkaç tabakadan oluşur. Kısa ve uzun fiberlerin yönlenmelerinden dolayı tabakalı kompozitler yüksek oranda anizotropiye sahiptir.

Matris genellikle kompozit içinde daha fazla miktarda bulunan ve sürekli bir yapıdır. Matris, fiberlerin bir arada tutulmasını sağlayarak fiberler ve kompozit arasında yük transferini sağlar. Matris ayrıca fiberlerin çevreden alacağı herhangi bir zarardan da korur (Park & Seo, 2011). Kompozit malzemeler matris malzemesine göre metal, seramik ve polimer matris kompozitler olmak üzere üç sınıfta incelenir. Polimer matris kompozit (PMC) malzemeler, metaller, seramikler malzemeler ve onların kompozitleri ile karşılaştırıldığında üretim ve takviye dağılımda kolaylık, daha iyi kimyasal direnç, daha yüksek tokluk ve daha az ağırlık gibi avantajlar sağladığından dolayı endüstriyel ve ticari uygulamalarda çok yoğun olarak tercih edilmektedir (Poveda & Gupta, 2016).

4.1. Polimer Matrisler

Polimerler, hidrojen ve karbon atomlarının tekrarlı yapılarla bir araya gelmesiyle oluşan büyük organik moleküllerdir. Tekrarlı yapı molekülleri monomer olarak adlandırılır. Monomer ve polimerlerin yapısı Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Moleküler yapıya sahip olan birbirlerine kovalent veya iyonik olarak kuvvetle bağlanmış atomların oluşturduğu gruplar, kendi aralarında zayıf Van der Waals bağları ile bağlanmıştır. Polimer matrisler genellikle 3 temel grupta sınıflandırılır. Bunlar termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir (kauçuk).



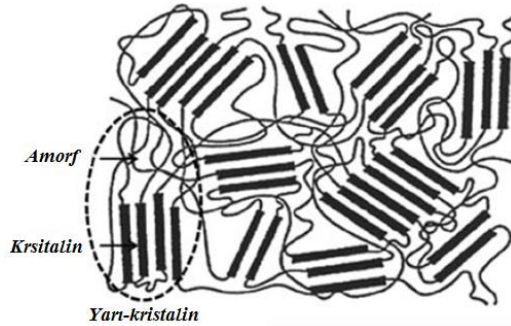
Şekil 4.2. Monomer ve polimer yapısı (Vadivelu et al., 2016)

4.1.1 Termoplastikler

Dünya çapında üretilen polimerlerin hemen hemen %85'i termoplastiktir. Toplamda üretilen termoplastiklerin %70'inin fazlası düşük maliyetli reçinelerden oluşmaktadır. Farklı yoğunluklardaki polietilenler (PE), izotaktik polipropilen (PP), polistiren (PS) ve PVC. Asetaller, poliamidler, polikarbonat, polyesterler, polifenilen oksit ve bunların karışımları gibi mühendislik plastikleri yüksek performanslı uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Xanthos, 2010).

Termoplastikler, lineer polimerlerdir yani çapraz bağlı değildir (bazı durumlar hariç). Birinci türde molekül birimleri veya merler kovalent bağlarla bir boyutta zincir şeklinde dizilir ve moleküller arasındaki bağlar zayıftır. Isıtıldığında zayıf bağlar koptuğundan kolayca yumuşarlar hatta sıvı hale döndükten sonra soğutma ile yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir.

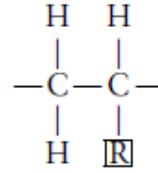
Termoplastikler bileşen ve üretim yöntemlerine bağlı olarak kristalin veya amorf yapıda olabilirler. Lineer polimerlerde moleküllerin farklı molekül ağırlıkları vardır. Bu moleküller bir araya gelerek çeşitli konfigürasyonları oluşturur. Örneğin polistiren amorf yapıdadır polietilen gibi diğerleri ise yarı kristal yapısındadır. Çeşitli moleküler ağırlıklar ve paketlenme geometrileri termoplastiklerin keskin bir erime noktası olmadığını göstermektedir (Ashby & Jones, 2008). Şekil 4.3'te amorf, kristalin ve yarıkristalin termoplastik polimerler moleküler düzeni gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Termoplastik polimerlerde moleküler düzenler (Park & Seo, 2011)

Termoplastikler alt birim olan monomerlerin birleştirilmesiyle yani polimerleştirme ile uzun zincirler şeklinde oluşur. Bunların birçoğu birimlerin tekrarlı olarak kullanılmasıyla oluşur. Radikal (R) hidrojen (polietilenindeki gibi),

-CH₃ (polipropilen) ya da -Cl (polivinil klorit) olarak basitleştirilebilir (Bkz. Şekil 4.4). Genel termoplastikler Şekil 4.5'te listelenmiştir (Ashby & Jones, 2008).



Şekil 4.4. Termoplastiklerin genel kimyasal yapısı (Ashby & Jones, 2008)

Termoplastik	Bileşen	Kullanım Alanları
Polietilen, PE	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right)_n$ Kısmi kristalin	Boru, film, şişeler, kaplar, elektriksel izolasyon, paketlenme
Polipropilen, PP	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ Kısmi kristalin	PE ile aynı kullanım alanlarına sahiptir ancak daha hafif, sert ve güneş ışığına karşı daha dayanıklıdır.
Politetrafloroeten, PTFE	$\left(\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{F} \end{array} \right)_n$ Kısmi kristalin	Teflon. Düşük sürtünme ve yapışma özellikleri ile yüksek sıcaklık polimeri. Yapışmaz yüzeyler, mül yatakları.
Polistiren, PS	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$ Amorf	Ucuz kalıp model dökümünde. Isı ve ses izolasyonunda elektronik yapıların izolasyonunda, köpüklendirilmiş kalıp model dökümünde ve çelik beton yapılarda.
Polivinilklorür, PVC	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right)_n$ Amorf	Yapı malzemelerinde (pencere çerçeveleri gibi). Yapay deri, su boruları, kıyafet yapmak için plastikleştirilmiş.
Polimetil metakrilat, PMMA	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{COOCH}_3 \end{array} \right)_n$ Amorf	Her çeşit cam kaplamalarında, abajurlar, vitrin camları, resim cihazları, sanat eşyaları yapımında.
Naylon 66	$(-\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}-)_n$ Kısmi kristalin (Çekilmiş)	Tekstil, halat, kalıplar.

Şekil 4.5. Yaygın kullanılan termoplastiklerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları (Ashby & Jones, 2008)

Konvansiyonel polimerler, hafiflik, korozyon ve kirlenme direnci, kolay üretim ve ucuz maliyet gibi özellikleri gerektiren ısı değiştirici uygulamalarında kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerde sıklıkla kullanılan polimerler PVDF (polivinilidin florür), PTFE (politeirafloretilen), PP (polipropilen), PE (polietilen), PC (polikarbonat), PPS (polifenilen sülfid) ve PPO (polifenilin oksit)'tir (Zaheed & Jachuck, 2004). Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de sık kullanılan bazı SAF polimerlerin sırasıyla termal ve mekanik özellikleri listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Saf polimerlerin termal özellikleri (Chen et al., 2016; T'Joen et al., 2009)

<i>Polimerler</i>	<i>Termal iletkenlik (W/mK)</i>	<i>Termal genleşme katsayısı (CTE) ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)</i>	<i>Camı geçiş sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)</i>	<i>Erime sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)</i>	<i>Özgül ısı kapasitesi ($\text{J}/\text{g}^\circ\text{C}$)</i>	<i>Su emme (%)</i>
LDPE	0.3	210	-	110	2.2	0.067
PP	0.12	120	-	160	2	0.079
PS	0.14	79.8	90.4	240	2.1	0.088
PPS	0.3	39.2	225	280	-	0.031
PA 6.6	0.26	100	-	250	2.2	2.3
PC	0.2	70.2	150	-	1.2	0.17
PEEK	0.25	44.1	140	340	2	0.21
PVDF	0.19	140	37.6	160	1.5	0.032
PTFE	0.27	100	-	330	1.4	0.0042
PPSU	0.35	55.8	220	-	-	0.37
PSU	0.22	60.1	190	-	1.2	0.41
LCP	18-20	-	-	212-280	-	-

Çizelge 4.2. Saf polimerlerin mekanik özellikleri (Chen et al., 2016; T'Joen et al., 2009)

<i>Polimerler</i>	<i>Yoğunluk (g/cm^3)</i>	<i>Maks. çekme dayanımı, MPa</i>	<i>Akma çekme dayanımı, MPa</i>	<i>Kopma uzaması, %</i>	<i>Çekme modülü, GPa</i>	<i>Eğilme modülü, GPa</i>	<i>Eğilme akma dayanımı, MPa</i>
LDPE	0.923	11	10.8	190	0.21	0.27	-
PP	0.937	36.8	30.7	120	1.9	1.4	36.2
PS	1.05	60	43.9	6.9	3	3.1	84.2
PPS	1.24	86.7	68.9	4.1	3.6	4.9	140
PA 6.6	1.12	73.1	63.6	82.8	2.1	2.4	88.4
PC	1.2	64	62	98	2.3	2.3	91.8
PEEK	1.33	110	98.8	36.7	4.5	4.8	170
PVDF	1.78	42.8	44	64.6	1.8	1.7	44.2
PTFE	2.17	33.6	11.6	400	0.61	0.52	-
PPSU	1.29	76	72	60	7.2	2.4	130
PSU	1.24	72	74.9	56.8	2.5	2.8	100
LCP	1.82	-	45	3.4	2.07	12	-

Polietilen (PE), etilenin yüksek basınç ile polimerizasyonu ile yaklaşık 50 yıl önce üretilen poliolefinlerin ilkidir. Uzun hidrokarbonlar içeren bir kısmen kristalin termoplastiktir. Karbon zincirinde (karbon atomlarının yaklaşık %2'sinde) az miktardaki dallanmadan dolayı nispeten daha düşük yoğunluğa sahiptir. PE en kullanışlı ve en çok kullanılan plastik malzemelerden birisidir. Sağlam ve neredeyse kırılmaz aynı zamanda bir o kadar da esnek bir plastiktir. PE oda sıcaklığında tepkimeye girmez ancak yumuşama veya şişmeye neden olan güçlü oksitleyici maddeler ve bazı çözücüler yavaş bir şekilde aşındırma eğilimindedir. Sürekli olarak 80°C'de ve kısa süreli olarak 95°C'ye kadar kullanılabilir. Erime noktaları, ortalama, ticari ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) için genellikle 105-115°C arasındadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için maksimum işlem sıcaklığı 110°C'dir. Polietilen, yıkama şişeleri, pipet yıkama ekipmanları ve tanklar dahil olmak üzere birçok laboratuvar aparatı için kullanılabilir (Kutz, 2017).

Polistren (PS), amorf yapıda bir termoplastiktir ve ilk defa 1839 yılında üretilmiştir. Polimerleşme yoluna bağlı olarak cam gibi sert ve saydam veya köpüklü ve yumuşak beyaz bir izolasyon malzemesine dönüşebilir. Nispeten daha ucuz bir malzemedir ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Cam geçiş sıcaklığı 90-100°C arasındadır ve oda sıcaklığında saf polistren kırılmandır. Amorf yapısından dolayı kimyasal direnci polietilen kadar iyi değildir. Bazı hidrokarbonlar, ketonlar ve esterler tarafından çözülürler. Polistrenler çok düşük termal iletkenliğe ve nispeten düşük olan 90°C yumuşama noktası sıcaklığına sahiptir. Elektriksel yalıtkanlığı oldukça iyidir. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlığın istendiği uygulamalarda geniş aralıkta kullanılır. Ucuz kalıplamada kullanılır. CO₂ ile paketleme için köpük şeklinde üretilir (Gilbert, 2016).

Polifenilen sülfid (PPS), lineer ve çapraz bağlı polifenilen sülfid 1950 yılında tanımlanmıştır. PPS cam geçiş sıcaklığı 85°C, erime sıcaklığı 285°C ve maksimum çalışma sıcaklığı 170°C'dir. 200°C'nin altında sık kullanılan çözücülerde çözünmez. Yüksek modül ve sürünme dayanımı ve ayrıca iyi bir su dayanımı vardır. Dezavantajı ise kırılmandır ve oksijen bulunan ortamda 370-425°C'ye kadar ısıtıldığında lineer PPS molekülleri çapraz bağlanır ve polimer termosete dönüşür. Bu gibi durumlar için tokluğu yüksek, esnek, darbe ve aşınma dayanımı sağlayan kaplamalar uygulanabilir. PPS en fazla elektrik elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. PPS ayrıca otomotiv endüstrisinde yüksek sıcaklık dayanımı gereken parçalarda kullanılır (Gilbert, 2016).

Poliamid veya naylon (PA) olarak birçok kombinasyon mevcuttur. Naylon 6, naylon 11 ve naylon 12 en çok kullanılan tiplerdir. İşleme sırasında biraz önem gerekir. Ancak düzgün bir şekilde kalıplandığında yüksek aşınma, kimyasal ve yorulma direnci ile birlikte yüksek sürekli kullanım sıcaklıklarına sahiptirler. Kendiliğinden yağlanma özelliği vardır. Malzeme sıcaklığı arttıkça mukavemet değeri düşer ancak malzemenin cam geçiş sıcaklığı (T_g) geçene kadar önemli ölçüde düşmezler yani yüksek sıcaklıklarda mukavemet özelliklerini korurlar. Naylon genellikle yüksek sıcaklık dayanımı, iyi aşınma ve kimyasal direnç gerektiren uygulamalarda kullanılır. Yüksek eğilme mukavemeti ve tokluğu basınçlı kaplar için kullanımını ve mükemmel nüfuz etme direnci ise sahip poliamidler çözücü ve yakıt muhafazası için kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Kutz, 2017).

Polikarbonat (PC), ilk olarak 1950’lerde üretilmiştir. Polikarbonatlar, polietilen ile karşılaştırıldığında daha yüksek tokluk ve mukavemete sahiptir. Ayrıca polikarbonatların sıcaklık direnci (135°C) polietilenden ($50-70^{\circ}\text{C}$) daha yüksektir. Hava şartlarına karşı dayanıklılığı ve boyutsal kararlılığı iyidir yani düşük sıcaklıklarda bile sünek olabilir. Sokak aydınlatması ve ekran kapakları gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Dezavantajları ise maliyetinin yüksek olması, işlenmesi daha zor olması, kurutulması ve düşük kimyasal dirence sahip olmasıdır (Kutz, 2017).

Poliarileter ketonlar (PAEK) fenil halkaları arasında eter ve karbonil grupların sıralanmasıyla oluşur. Polieter eter keton (PEEK), eter / karbonil (keton) grubu içeren en çok kullanılan malzemelerden biridir. Amorf ve kristalin fazdaki yoğunlukları farklıdır. Polimerik zincirdeki keton grup sayısının artmasıyla cam geçiş ve erime sıcaklığı artar. PEK erime sıcaklığı $390-430^{\circ}\text{C}$ arasında iken PEEK için $380-400^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Amorf veya kristalin fazdaki PEEK bakır kablo izolasyonu için, havacılıktaki elektronik parçaların ağırlığının azaltılması için paslanmaz çelik, titanyum ve alüminyum gibi metallerin yerine kullanılır (Schweitzer, 2000).

PVDF yüksek korozyon uygulamalarda, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. İşleme sıcaklığı 220°C ’dir ve 350°C ’de çözünür. Çalışma sıcaklık aralığı -1.6°C ile 154°C arasındadır. PVDF, keton ile şişer ve polar çözücüler içinde çözünür. Bazlarla teması önerilmez. Asitlerin kullanıldığı ısı geri kazanım işlemlerinde, emisyon kirliliğini azaltmak için ve baca fazı temizleme işlemleri için uygundur (James, 1999).

Floropolimer, kimyasal yapıları sayesinde birçok kimyasala karşı dayanıklıdır. Kısmi florlanmış polimer ve tamamen florlanmış polimer olmak üzere temel olarak iki tip floropolimer vardır. Her bir komple florlanmış polimer her zaman florin atom ile biter ancak kısmi florlanmış polimerde florin atom ile sonlanmaz. PTFE, PFA(perfloro alkoksi) ve FEP (florlanmış etilen propilen) tamamen florlanmış polimer ve PVDF, ETFE (etilen tetrafloroetilen) ve ECTFE (etilen klorotrifloretilen) kısmi florlanmış polimerdir (Wharry, 2001). PTFE (teflon) ilk olarak DuPont tarafından keşfedilmiş ve üretilmiştir. Erime noktası sıcaklığı 320°C civarındadır. Yüksek mukavemet ve tokluk özelliklere sahiptir. Ayrıca 5 K sıcaklığa kadar düşük sıcaklıkta kendiliğinden yağlanma ve 194 K üzerindeki sıcaklıklarda yüksek esneklik sağlar. Bu polimerler genellikle havacılıkta kablolama ve bilgisayar uygulamaları için ve ayrıca yataklar, dişliler ve kayar plakalar gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılır (Chen et al., 2016).

Sülfon polimerler, ticari yapıda olanlar genel yapıdaki difenil sülfon biriminden oluşur. Termoplastikler arasında uzun süreli çalışma sıcaklığı 150°C üstünde olan ilk malzemedir. Polisülfon (PSU) için cam geçiş sıcaklığı 187-200°C arasında iken polifenilin sülfon (PPSU) için 220°C'dir. Polisülfonların amorf yapısından dolayı kalıp küçülmesi azdır. Bu nedenle geniş sıcaklık aralığında az boyutsal değişim gösteren yakın tolerans gerektiren uygulamalarda kullanılır. Kısa süreli olarak kimyasallara karşı iyi bir dirence sahiptir. Ancak 24 saatten daha fazla bazı kimyasallara maruz kalmasına karşı direnci yüksek değildir (Gilbert, 2016).

Sıvı kristal polimerler, aromatik polimerler sınıfındadır. Tepkimeye girmeyen bir polimerdir ve yanmaya karşı dayanımı çok yüksektir. Sıvı kristal polimerler, polimerler ve sıvı kristal malzeme özelliklerini bir araya getirir. Bu polimerler sıvı kristalin faz sergileyen rijit katmanlara sahiptir. Çok yüksek mukavemet, modül ve 180°C ile 355°C aralığında olan yüksek ısı erime sıcaklığına sahiptir. Ayrıca lineer termal genleşme katsayısı çok düşüktür (Deronzier & Bertolini, 1997).

4.1.1.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP), yarı şeffaf, beyaz ve oda sıcaklığında katı halde bulunan bir poliolefindir. Polipropilen monomer birimler olan propilen moleküllerinin polimerleşmesiyle çok uzun polimer molekül veya zincirleri elde edilen termoplastik bir malzemedir. Polipropilen, genelde propilenin alüminyum alkil ve titanyum tetraklorür gibi uygun katalizörler ile polimerize edilerek elde edilir. Polipropilenin özellikleri moleküler ağırlık, üretim yöntemi ve kopolimer gibi

özelliklere bağlı olarak değişir (Oğian, 2004). Polipropilen hafiflik, ısı direnç, sertlik, yüzey parlaklığı, rijitlik, işlenebilirlik, kimyasal direnç, stres-çatlak direnci ve boyutsal kararlılık gibi özellikler nedeniyle en çok kullanılan termoplastiklerden biridir. Polimer malzemelerin bazı mekanik ve termal özellikleri inorganik katkı kullanımı ile iyileştirilebilir (Katz ve Milewski, 1987).

Polipropilenin iç yapısından dolayı değişik yapılarda polimerler Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Homopolimer, düzensiz (random) kopolimer ve düzenli (impact) kopolimer olarak üç sınıfta incelenebilir (Kutz, 2017).

Homopolimer



Random kopolimer

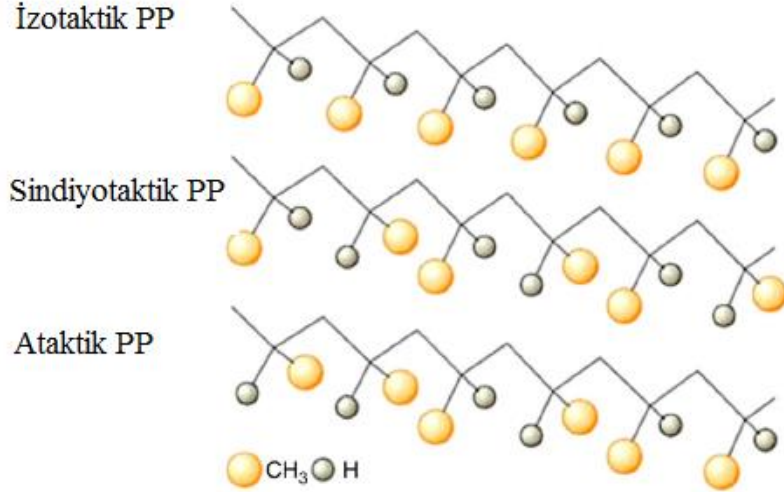


Blok kopolimer



Şekil 4.6. Polipropilen ürün sınıfları (Kutz, 2017)

Homopolimer propilen (HPP), polipropilenin yarıkristal katı formunda sadece propilen monomer içeren yapıdır. Homopolimerler kristalin ve kristalin olmayan iki faz yapısına sahiptir. Monomerleri bir arada tutmak için birçok yöntem bulunmaktadır ancak ticari anlamda en çok kullanılan PP kristalleşebilen polimer zincirleri oluşturan katalizörler ile üretilen polipropilendir. Yarıkristalin katı PP iyi fiziksel mekanik ve termal özelliklere sahiptir. PP’nin başka bir biçimi, yarı kristalin PP üretiminin bir yan ürünü olarak çok daha düşük hacimlerde üretilen ve çok zayıf mekanik ve termal özelliklere sahip olan yumuşak ve yapışkan bir malzemedir. Bu malzeme yapışkanlar, sızdırmazlık malzemeleri ve kauçuk ürünlerinde kullanılır. Yukarıdaki ürünler sırasıyla “izotaktik” (kristalleşebilen) PP (i-PP) ve “ataktik” (kristalleşmeyen) PP (a-PP)’dir. İzotaktik PP’de bütün metil gruplar zincirin aynı kısmındadır ve kristalleşebilir. Ataktik PP’de ise metil grupları zincir boyunca rasgele dizilmişlerdir ve kristalleşemezler (Karian, 2003). Şekil 4.7’de görüldüğü gibi polipropilenin izotaktik, sindiyotaktik ve ataktik olmak üzere fiziksel olarak üç farklı tipi vardır (Kutz, 2017).



Şekil 4.7. PP konfigürasyonu (Kutz, 2017)

Kopolimerler, düzensiz (random) ve düzenli (impakt) olmak üzere iki tiptir. Düzensiz (random) kopolimer (RCP), propilen ve genellikle %1-8 aralığında az miktarda etilenin kopolimerizasyonu ile tek bir reaktörde oluşan etilen/propilen kopolimerlerdir. Düzenli (blok ya da impakt) kopolimer(ICP) ise %45-65 oranında etilen içeren random kopolimer ile homopolimer propilen bir araya getirilmesiyle elde edilir (Karian, 2003).

Polipropilen özellikleri

Polipropilen bir ya da sadece 100 ürün değildir. Özellikleri ve karakteristikleri polimerin tipine (Homopolimer, Random Kopolimer veya Blok Kopolimer), moleküler ağırlığına ve moleküler ağırlık dağılımına, morfolojisine ve kristal yapısına, yapıştırıcılar, dolgu ve katkı malzemesine ve üretim yöntemlerine bağlı olduğundan çok boyutlu ürün aralığı oldukça geniştir (Chanda and Roy, 2009).

Termal özellikler

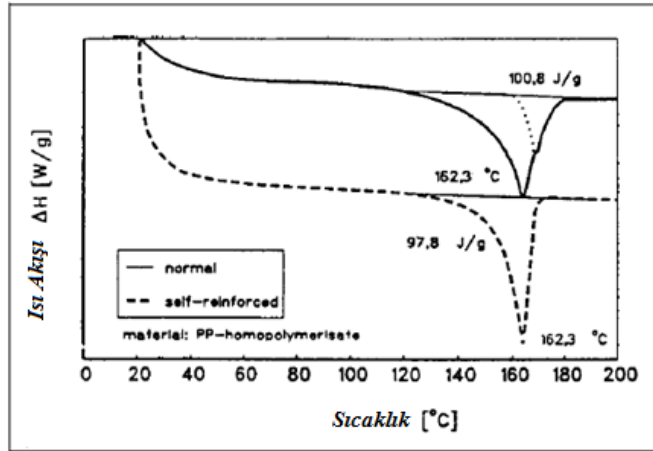
Cam geçiş sıcaklığı(T_g), polimerlerin katıda fazdan sıvı faza geçiş yaptığı sıcaklıktır. Cam geçiş sıcaklığının üstünde polimerler elastomerik özelliklerini kaybeder (esneme ve geri çekme kabiliyeti) ve akışkan bir sıvıya eritilir. Bir polimer malzemenin cam geçiş sıcaklığı, amaçlanan çalışma ortamının sıcaklığından uygun bir şekilde yüksek olduğu sürece, metal malzeme yerine kullanımı avantajlı olabilir. Polipropilen reçinesinin amorf bölgeleri, ölçüm yöntemi, ısıtma hızı, ısı geçmişi ve mikro yapısına bağlı olarak -35 ila 26 °C

aralığında cam geçişi sıcaklığına (T_g) sahiptir. Cam geçiş sıcaklığı polimerin serbest hacim miktarı ile ilgilidir. Molekülleri ve tabakaları cam geçiş sıcaklığının üstünde olan polimer zincirleri kristal olmayan polimer bölgelerinde titreşir ve hareket eder. Cam geçiş sıcaklığında serbest hacim kısıtlanır bu nedenle yalnızca düşük genlikli titreşimler meydana gelebilir. Bu hareket, tüm hareketlerin sona erdiği mutlak sıfıra kadar düşer. Polimer zincirinin sonundaki artırılmış serbest hacim ve zincir karmaşıklığının daha az olması nedeniyle düşük moleküler ağırlığa sahip reçineler genellikle daha düşük cam geçiş sıcaklıklarına sahiptir (Belofsky, 1995; Portnoy, 1994)

Katı yarıkristal polimerin katıdan sıvıya faz değişiminde iken yani erime noktası olan T_m noktasında kristalin yapısı ortadan kalkar. Erime noktasında malzeme viskoz bir sıvıya faz değişimindeyken yoğunluk, kırılma indisi, ısı kapasitesi ve şeffaflık gibi malzemenin fiziksel özellikleri de ani bir şekilde değişir. Erime noktaları genellikle diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak ölçülür (Belofsky, 1995). Polimerlerin erime noktaları yapısındaki kristallik miktarına bağlı olarak değişir. Mükemmel bir şekilde izotaktik polipropilen reçine yaklaşık 171°C teorik erime noktasına ticari izotaktik reçineler ise ataktik malzeme ve kristal olmayan bölgeler nedeniyle $160-166^{\circ}\text{C}$ arasında erime noktasına sahiptir. %30 kristalliğe sahip sindiyotaktik polipropilen reçine yaklaşık 130°C 'ta erir yani polimerin kristallik miktarı azaldıkça erime noktası sıcaklığı da büyük oranda azalır (Portnoy, 1994). Polimerlerin genellikle belirli bir erime noktasından ziyade dar erime sıcaklık aralığı vardır. Belirli bir kristalliğe sahip reçinede zincir uzunluğundaki değişim, kısmen farklı sıcaklıklarda eriyen çeşitli kalınlıklarda lamelleri oluşturur. Bir polimer için verilen erime noktası genel olarak bir DSC taramasında zirve noktasının en yüksek olduğu sıcaklıktır.

Şekil 4.8'de ısıtma hızı $10^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ olan DSC analizinde polipropilen bir numune ve referans malzeme ısıtılarak ve çevre sıcaklığı artarken iki malzemeyi aynı sıcaklıkta tutmak için gerekli olan enerji izlenmiştir. Polipropilen emilen ısı ile erir ve endotermik pik noktası ile sonuçlanır. Literatürde verilen erime noktası maksimum pik noktasıdır. Polimorfizm veya ısıtma döngüsü sırasında oluşan kristal değişiklikler nedeniyle polipropilenin DSC taramaları genellikle birden fazla pik sergiler. Alt tarama normal olarak işlenmiş polipropilendir. Üst tarama, yüksek enjeksiyon oranı ve basınç ile üretilen, yönlendirilmiş bir kristalizasyona sahip polipropilendir. Küçük bir yüksek sıcaklık çıkıntısı, birden fazla morfolojik formun varlığına işaret eder. Polipropilenin yüksek erime noktası, yüksek sıcaklıklarda

yumuşamaya karşı direnç sağlar. Düşük erime sıcaklıklarına sahip reçineler için ısı direnci düşüktür (Prox, 1993).



Şekil 4.8. Enjeksiyonla kalıplanan polipropilenin DSC'si (Prox, 1993)

Polipropilenin normal kullanım sıcaklıkları genel olarak cam geçiş ve ergime sıcaklıkları arasındadır, böylece kristalin yapısından gelen mukavemet ve sertlik amorf "uç bağlantıları" tokluğuyla birleştirilir. Polipropilenin düşük kırılma sıcaklığı (≤ 5 °C; 40 ° F), kısmen yüksek olan cam geçiş sıcaklığından kaynaklanmaktadır; sıcaklık düştükçe yani cam geçiş sıcaklığına yaklaşıncan, reçine gittikçe kırılma ve darbe direnci etkisiz hale gelir (Portnoy, 1994).

Mekanik özellikler

Polipropilen diğer termoplastikler gibi viskoelastik bir malzemedir ve mekanik özellikleri sırasıyla zaman, sıcaklık ve gerilimine bağlıdır. Dahası polipropilen yarı kristal bir malzemedir bu nedenle polipropilenin mekanik özellikleri yüksek oranda onun kristalliliğine de bağlıdır. Kristalliliğinin artması sertlik, akma gerilimi ve eğilme dayanımını artırırken tokluk ve darbe dayanımını azaltır. Ultra-yüksek kristallikteki polipropilen %1'lik yer değiştirmede sekant elastisite modülü 2067–2412 MPa aralığında düşük- kristalliliğe sahip polipropilen için ise bu değer 1378–1654 MPa aralığındadır. α -formda izotaktik polipropilen uygulamalarında kristalliliğın artması çatlakların büyümesini artırır ve kırılma tokluğunu azaltır (Portnoy,1994; Ouederni et al., 1996). Yani yarıkristal polimerler düzenli kristal yapısından dolayı amorf polimerlerden daha yüksek mukavemete sahiptir ve kimyasallara karşı dirençlidir. Amorf malzemeler saydamdır ve daha yüksek tokluk ve sünekliğe sahipken yarıkristal malzemeler daha fazla opak ve daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir (Belofsky, 1995).

Sferoid boyutu reçinenin mukavemetini ve sünekliğini etkiler. Yüksek kristalizasyon sıcaklıkları büyük çaplı sferoidler üretir. Yorulma çatlak testinde küçük çaplı sferoidler daha fazla malzeme hasarı ile daha fazla sünek yapı, büyük çaplılar ise daha az malzeme hasarıyla daha kırılğan bir yapı sergilemişlerdir (Botsis et al., 1996)

4.1.2. Termosetler

Termosetler, makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşturan üç boyutlu kovalent ağ yapısına sahip polimerlerdir. Bu nedenle termosetler bazen ağ ‘network’ polimerler olarak tanımlanır. Termosetler amorf polimerlerdir. Sıvı reçine ve sertleştiricinin polimerizasyonu boyunca çapraz bağlar şekillenir bu nedenle yapı amorf yapıdadır. Polimerin tekrardan ısıtılması durumunda ek ikincil bağlar erir ve polimer modülünü düşürür ancak çapraz bağlar gerçek erime ya da viskoz akış sergiler bu nedenle polimere sıcak işlem uygulanamaz (kauçuk haline dönüşür). Daha fazla ısıtma parçalanmasına sebep olur. (Ashby and Jones, 2008). Bu polimerler üretim süresinde sertleştikten sonra sıcaklık ya da başka bir etki ile tekrar yumuşamaları imkansızdır.

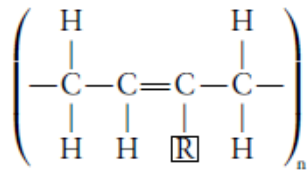
Genel olarak kullanılan termosetler epoksi ve polyesterler (ikisi de fiber katkılı polimerlerde matris malzeme olarak kullanılır) ve formaldehit esaslı plastikler kalıplama ve sert yüzey hazırlama için yaygın olarak kullanılır. Bu yapılar Şekil 4.9’da gösterilmiştir. (Ashby and Jones, 2008)

Termoset	Bileşen	Kullanım alanları
Epoksi	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ Amorf	Cam elyaf, yapışkanlar. Pahalı
Polyester	$\left(\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \text{O} \quad \quad \text{CH}_2\text{OH} \\ \quad \quad \quad \quad \\ -\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \right)_n$ Amorf	Cam elyaf, tabakalar, Epoksiden daha ucuz.
Fenol-formaldehit	$\left(\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ -\text{C}_6\text{H}_2-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_2 \end{array} \right)_n$ Amorf	Bakalit, Tufnol, Formika. Çok kırılğan.

Şekil 4.9. Yaygın kullanılan termosetlerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları (Ashby and Jones, 2008)

4.1.3 Elastomerler

Elastomerler veya kauçuklar seyrek çapraz bağlar içerir yani hemen hemen lineer polimerlerdir. Çapraz bağlar malzemenin yüksüz durumdaki şekline geri dönüşme özelliğini sağlar. Kuvvet uygulandığında boyutlarında meydana gelen değişimler kuvvet kaldırıldığında eski haline döner. Yumuşak ve termal iletken elastomerler bilgisayarlarda termal yönetim için kullanılmaktadır. Genel olarak kauçuğun yapısı Şekil 4.10'daki gibidir. Genel olarak kauçuklarda R'nin yerini H, CH₃ ya da Cl alır. Şekil 4.11'de yaygın kullanılan elastomerlerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları verilmektedir (Ashby & Jones, 2008).



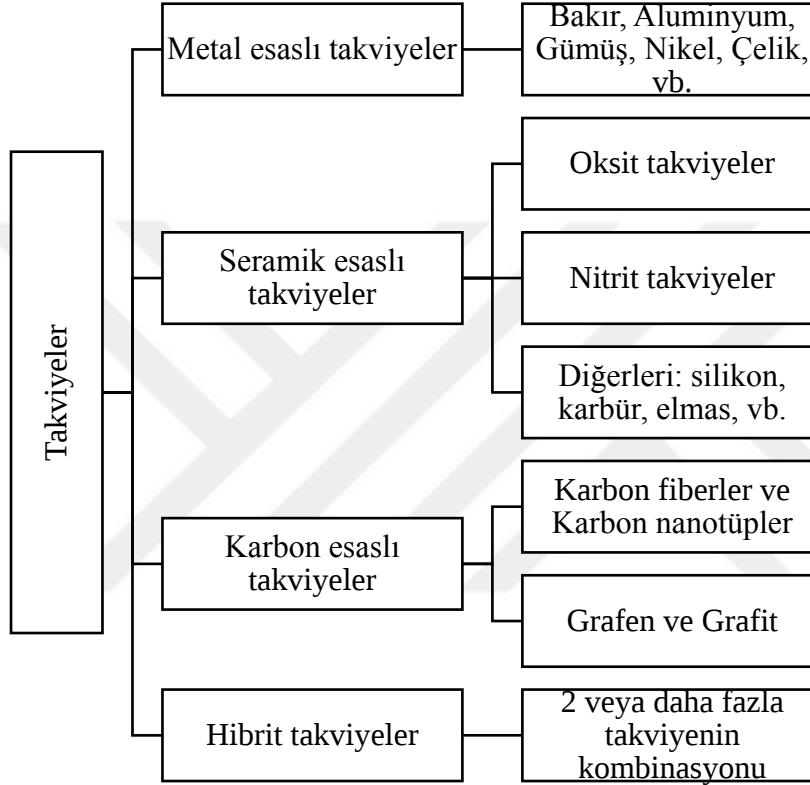
Şekil 4.10. Elastomerlerin genel kimyasal yapısı (Ashby and Jones, 2008)

<i>Elastomer</i>	<i>Bileşen</i>	<i>Kullanım alanları</i>
<i>Poliizopren</i>	$\left(\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ -\text{C}- & \text{C}=\text{C}- & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{CH}_3 \\ & & \\ & & \text{H} \end{array} \right)_n$	<i>Doğal Kauçuk</i>
<i>Polibutadiyen</i>	$\left(\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ -\text{C}- & \text{C}=\text{C}- & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$	<i>Sentetik kauçuk, araba lastikleri.</i>
<i>Polikloropren</i>	$\left(\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ -\text{C}- & \text{C}=\text{C}- & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{Cl} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array} \right)_n$	<i>Neopren. Yağ keçesi için yağ dirençli kauçuk.</i>

Şekil 4.11. Yaygın kullanılan elastomerlerin kimyasal yapısı ve kullanım alanları (Ashby & Jones, 2008)

4.2. Takviyeler

Termal iletken takviyeler metal, seramik, karbon ve hibrit esaslı takviyeler olarak sınıflandırılabilir (Şekil 4.12). Kompozite takviye edilen katkının miktarı önemlidir. Çok fazla katkının eklenmesi viskozite, sürtünme ve aşınma gibi özellikleri artıracağından üretim problemlerine yol açabilmekte ve ayrıca nano takviyeler topaklanma eğilimi gösterebilmektedir (Hussain et al., 2017).



Şekil 4.12. Parçacık takviyelerin sınıflandırılması (Vadivelu et al., 2016)

Metal esaslı takviyeler, kompozitin termal ve elektriksel iletkenliği geliştirmek için kullanılabilir. Bazı metal malzemelerin termal özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Farklı boyutlarda metalik partiküller mevcuttur. Bunlar 3D izotropik (küresel ya da kübik), 2D pullar ya da levhalar ve 1D çubuklar ya da fiberlerdir. Partiküllerin şekilleri ve dağılımları, kompozit malzemenin termal ve mekanik özelliklerini etkiler (Mamunya, Davydenko, Pissis, & Lebedev, 2002). Daha küçük boyuttaki metal partiküller daha fazla termal iletkenlik sağlar (Boudenne et al., 2005). Kopma modülü ve gerilimi gibi mekanik özellikler metalik takviyelerin eklenmesiyle artar. Dezavantajlar olarak yoğunluk, oksidasyon ve korozyon gibi problemler ortaya çıkar. Ayrıca katkılar yüksek oranlarda eklenirse üretim ekipmanlarında aşınmalar meydana gelir.

Çizelge 4.3. Bazı metalik takviyelerin termal iletkenliği (Han ve Fina, 2011; Chung,2001)

<i>Malzeme</i>	<i>K(W/mK)</i>	<i>CTE (10⁻⁶/°C)</i>	<i>Yoğunluk(g/cm³)</i>
Aluminyum	247	23	2.7
Bakır	483	17	8.9
Nikel	158	13	8.9
Gümüş	450	18	10.49

Metal esaslı takviyeler ile polimerlerin termal özellikleri Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi iyileştirilebilir. Termal iletkenlik değerleri bu şekilde 3-4 katı artırılabilir ancak metal parçacık takviyelerin yoğunluğu yüksektir.

Çizelge 4.4. Çeşitli metalik partikül takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri (Shah, 2006)

<i>Takviye tipi</i>	<i>Matris</i>	<i>Katkı hacim oranı (%)</i>	<i>Termal iletkenlik (W/mK)</i>	<i>Referans</i>
Bakır	Epoksi	10	0.48	Mamunya et al., 2002
		30	1.72	
Bakır	PVC	10	0.42	
		30	1.65	
Nikel	Epoksi	10	0.35	
		30	1.36	
Nikel	PVC	10	0.26	
AlN	LDPE	30	1.08	Gu et al., 2009
Küresel hegzagonal bor	PPS	25	1.83	Leung et al., 2013
		60	1.89	
Nikel	HDPE	30	1.99	Krupa and Cecen, 2013
Bakır	PP	45	2.45	Boudenne et al., 2005
Zinc	HDPE	20	1.7	Rusu et al., 2001

Seramik esaslı takviyeler, son ürünün termal iletken ancak elektriksel dirençli ve düşük termal genleşme katsayısı istenildiğinde kullanılır. Genellikle alüminyum nitrür, bor nitrür, silikon karbür ve berilyum oksit gibi takviyeler kullanılır. Bor

nitür ve alüminyum nitür, grafene benzer altıgen levha yapısına sahip olduğundan termal iletkenliği yüksektir. Atomlar, iyonik ve kovalent bağlarla bağlıdır ve bu durum termal kararlılık sağlar. Seramik esaslı takviyeler, termoplastik kompozitlerde yüksek termal kararlılık, daha düşük büzülme ve boyutsal kararlılık sağlar. Ayrıca metalik takviyelere göre yoğunluğu daha düşüktür ve daha yüksek çalışma sıcaklık aralığına dayanıklıdır. Dezavantajı ise termoplastikler ile uyumlu seramik katkıların hazırlanmasındaki zorluklar nedeniyle metal ve karbon takviyelerden daha pahalı olmasıdır. Çizelge 4.5'te bazı seramik takviyelerin termal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bazı seramik takviyelerin termal iletkenliği (Chung,2001)

<i>Malzeme</i>	<i>K(W/mK)</i>	<i>CTE (10⁻⁶/°C)</i>	<i>Yoğunluk(g/cm³)</i>
Alüminyum nitür	320	4.5	3.3
Berilyum oksit	260	6	3
Bor nitür	320	2.9	2.10
Silikon karbür	270	3.7	3.3

Seramik esaslı takviyeler ile polimerlerin termal özellikleri Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi iyileştirilebilir. Termal iletkenlik değerleri yüksek oranlarda artırılmıştır.

Çizelge 4.6. Çeşitli seramik partikül takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri

<i>Takviye tipi</i>	<i>Matris</i>	<i>Katkı hacim oranı (%)</i>	<i>Termal iletkenlik (W/mK)</i>	<i>Referans</i>
Alüminyum nitür kılı	PVF	60	11.5	Xu et al., 2001
Bor nitür	Polibenzoksazin	30	0.2	Ishida and Rimdusit, 1998
		78.5	32.5	
Alüminyum nitür	Epoksi	62	4.2	Bujard, 1989
		80	4.5	Berman, 1976
Bor nitür	Epoksi	31	2.3	Bujard, 1988
Alüminyum nitür	Polistren	40	1	Yu et al., 2002

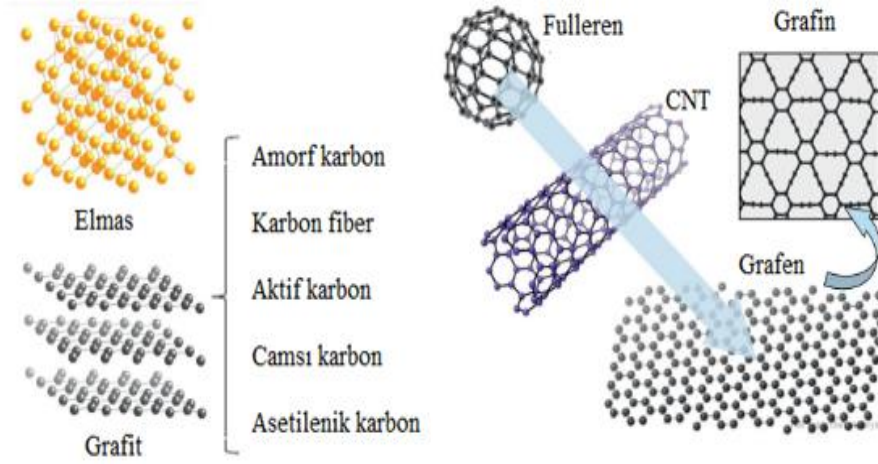
4.2.1. Karbon esaslı takviyeler

Karbon esaslı takviyeler, kompozitlerin termal, elektriksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilir. Karbon takviyeler, metalik takviyelerin aksine nispeten daha düşük hacimsel yoğunluğa sahiptir. Tepkimeye girmezler ve termoplastiklerle uyumludur (Hussain et al., 2017). Karbon atomları arasındaki bağ, nanoyapılar, kristalit yönelme ve mikro yapıları gibi çeşitli özellikleri karbonu birçok uygulamada kullanılan eşsiz bir malzeme haline getirmiştir. Örneğin elmas, şu ana kadar bilinen en sert malzeme iken grafit en yumuşağı olabilir. Elmas ve grafit ikisi de karbon elementinin 3 boyutlu (3D) kristalin formundadır (Bkz. Şekil 4.13). Grafit, sadece sp^2 hibritleşmiş bağları ve elmas sadece sp^3 hibritleşmiş bağları içerir. Elmastaki karbon atomları, yüz merkezli kübik (FCC) kristal yapıli kafes içerisinde sıralanmıştır. Elmasın üstün fiziksel kalitesi çoğunlukla karbon atomları arasındaki sp^3 hibritleşmesiyle oluşan kovalent bağlardan kaynaklanmaktadır. Elmastan farklı olarak grafit, katmanlı yapıya sahiptir. Her bir katmanda karbon atomları altıgen kafes yapısında 0.142 nm (sp^2 hibritleşmesi) aralıklarla sıralanmıştır ve katmanlar arasındaki mesafe ise 0.335 nm'dir. En bilinen grafit formları olan α (hegzagonal) ve β (romboedrik) benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Lamel yapılar, tabaklar arasından ziyade yanal düzlemler içinde daha güçlü kuvvetlere sahiptir (Zhu et al., 2018).



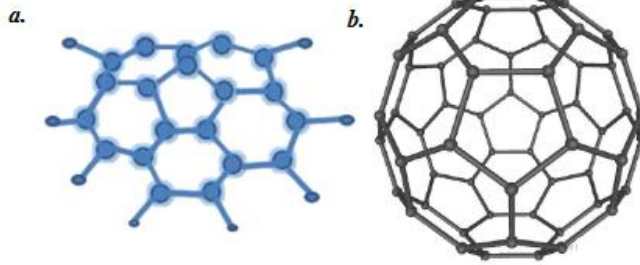
Şekil 4.13. Elmas ve grafit örneği (Bondavalli, 2017)

Grafitik karbon nano malzemeler aynı grup elemanları olarak görülebilir çünkü hegzagonal ağ yapısında temel olarak sp^2 hibritleşmiş karbon atomlarını içermektedir. Bu ortak yapı, grafitik karbon nano malzemelerin ortak özellikler içerdiğini gösterir ancak yapısının boyutları ve şekilleri çok büyük farklılıklar oluşturmaktadır. Grafen, grafit, fulleren (örneğin, C_{60}), karbon nanotüp (CNT), grafen ve ilgili malzemeler (örneğin; karbon fiber (CF), amorf karbon (AC), kömür) gibi diğer allotropların basit yapısal elemanıdır (Bkz. Şekil 4.14) (Zhu et al., 2018).



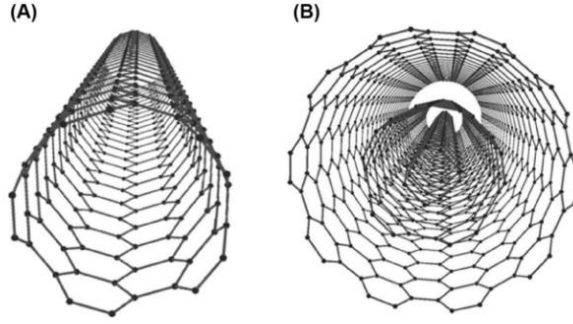
Şekil 4.14. Karbon allotropları ve ilgili malzemeler (Zhu et al., 2018)

Fullerenler (bucky küreleri), karbon atomlarının küresel ya da silindir şeklinde bir araya gelerek oluşturduğu moleküldür. En çok bilinen küresel fulleren ise 60 karbon atomundan oluşan C_{60} 'dır. Şekil 4.17'de görüldüğü gibi C_{60} , yüzeyinde 20 altıgen ve 12 beşgen içeren içi boş bir küredir (Bkz. Şekil 4.15). Ayrıca C_{60} , bukminsterfulleren olarak da adlandırılır (Bondavalli, 2017).



Şekil 4.15. Fullerenler a) Kranulen yapısı b) Bukminsterfulleren, C_{60} (Bondavalli, 2017).

Karbon nanotüpler, 1991 yılında elektrik deşarjı yoluyla grafit elektrotların buharlaştırılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilirken keşfedilmiştir. Karbon nanotüplerin özellikleri molekül yapılarıyla ilgilidir: helezon şeklinde düzenlenen karbon atomları petek (hegzagonal) yapıya (sarılmış grafen tabakası) yerleştirilmiştir. Sadece tek bir boş tüpten oluşan yani tek katmanlı grafenin sarılmasıyla tek duvarlı karbon nanotüpler (SWCNT) veya farklı çaptaki eş merkezli tüplerin bir araya gelmesiyle çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) elde edilebilir (Bkz. Şekil 4.16) (Bondavalli, 2017).

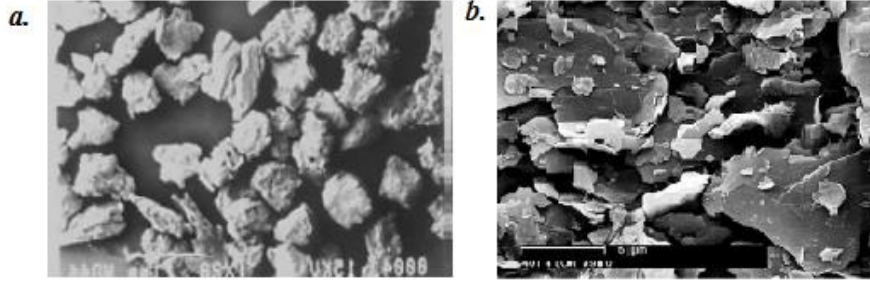


Şekil 4.16. Karbon nanotüp a) Tek duvarlı b) Çok duvarlı (Bondavalli, 2017)

Karbon fiberler, uzun ve çapı yaklaşık 5-10 μm olan ince tellerdir ve mikroskobik yapıda birbirine bağlı karbon atomları, fiberin uzun eksenine paralel sıralanmıştır. Kristal düzeni fiberleri boyutuna göre çok güçlü yapar. Binlerce karbon fiber bir iplik oluşturmak için bükülmüştür. Bu iplikler tek başına veya kumaşa dokunarak kullanılabilir. İplik veya kumaş epoksi ile bir araya getirilerek sargı veya kalıp ile çeşitli kompozit malzemeler şekillendirilir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler, uzay aracı parçaları, yarış arabası gövdeleri, golf sopaları, bisiklet çerçeveleri, oltalar, otomobil yayları, yelkenli direkleri ve hafiflik ve yüksek dayanımın istenildiği birçok alanda kullanılır (Zhu et al., 2018).

4.2.1.1.Grafit

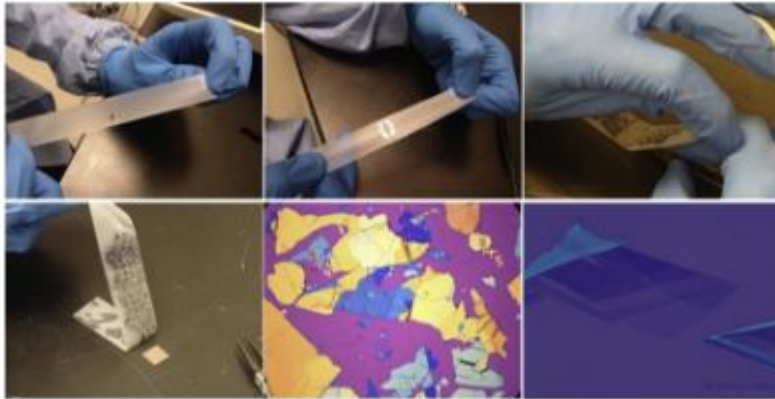
Grafit bir diğer adıyla grafen nano pullar (GNP), yüksek mekanik özellikleri, elektriksel iletkenliği ve termal iletkenliği (5000 W/mK) ile önemli bir malzemedir. Doğal grafit, uzun yıllardır dünyada birçok yerde bol miktarda bulunmasına rağmen kullanım alanı sınırlıdır. Sentetik grafitin keşfedilmesiyle birlikte doğal grafitin kullanımı daha da sınırlanmıştır. Sentetik grafit el yapımı olan ve aynı zamanda yapay grafit olarak bilinen bir üründür. Sentetik grafit, kalsine edilmiş petrokoku (calcalcined petroleum coke, CPC) ve kömür koku (pitch coke) gibi amorf karbonlarının 2500°C üstünde ısıtılarak maruz bırakılarak üretilir. Yüksek sıcaklıklarda grafitleşebilir karbonlar 3 boyuta dönüşür. Bunun sonucunda 2 boyutlu amorf karbon düzeninden 3 boyutlu kristalin karbon düzenine geçer (Tamashausky, 1998). Sentetik grafitin morfolojik yapısı partikül boyutunun bir fonksiyonudur. Partikül boyutu 20 mikrondan daha büyük olanların makroskopik morfolojisi grafit üretmek için kullanılan koka (coke feed) çok benzerdir. Ancak tüm grafitler ‘temel yapısal birim’ olan pul pul yapıdadır ve boyut olarak öncül partikülde bu pul yapının belirgin hale geldiği 20 mikronun altındadır. Şekil 4.17’te partikül boyutu 20 mikronun üstündeki ve altındaki sentetik grafit gösterilmiştir (Tamashausky, 1998)



Şekil 4.17. Grafit SEM görüntüleri a) Sentetik grafit (partikül boyutu 20 mikronun üstünde),
b) Pullu yapıya sahip sentetik grafit (partikül boyutu 20 mikronun altında) (Tamashausky, 1998)

4.2.1.2. Grafen

Grafenin başarılı bir şekilde grafitten ayrılarak keşfedilmesi 60 yıl sürmüştür. 2000 yılında IgNobel ödülünü kazanan Andre Geim, tek katmanlı grafenin elde edilmesiyle eski öğrencisi olan Novoselov ile 2010 yılında Nobel ödülünün gerçek kazananı olmuşlardır. Andre ve Novoselov, yüksek oranda yönlendirilmiş pirolitik grafitin (HOPG) yüzey tabakasını kaldırmak için yani malzemenin ince tabakasını elde etmek için en basit yöntem olarak da düşünülen bant kullanmışlardır. Şekil 4.18 'te Novoselov grafenin mekanik eksfoliasyon yöntemi ile nasıl elde ettiğini göstermiştir. Çeşitli kalınlıklardaki grafen pulları, bir silikon levhanın yüzeyi üzerine aktarılmıştır ve bu renkli parçacıklar optik mikroskopla kaydedilmiştir (Zhu et al., 2018).



Şekil 4.18. Grafenin mekanik eksfoliasyon yöntemi ile eldesi (Zhu et al., 2018)

Grafen, sp^2 melezleşmesi yapan karbonlardan hegzagonal kafes yapısına sahip 2 boyutlu atomik boyutta bir karbon allotropudur. Grafen 2004 yılında grafitten ayrıldığından beri büyük ilgi çekmiştir.

Grafen, optik saydamlık, elektriksel iletkenlik, mekanik dayanım ve termal iletkenlik gibi birçok sıradışı özelliğe sahiptir. Düşük direnç, sıradışı mekanik özellikler, geniş özel yüzey alanı gibi üstün özellikleri nedeniyle grafen süper kapasitör, elektrokataliz ve sensör içinde geniş uygulama şansına sahiptir (Novoselov ve Geim, 2004). Grafen, 0.77 mg/m^2 düzlemsel yoğunluk ile süper hafif bir malzemedir. Grafen karbon atomları sadece bir atomik kalınlığında tabakalardan oluşur bu özellik grafenin süper ince ve ultra hafif olmasına katkı sağlamaktadır (Zhu et al., 2018).

Grafen ortam koşullarında $15000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ bildirilen değeri aşan son derece yüksek elektron hareketliliğine sahiptir. Ayrıca, grafen düşük üretim maliyeti ile birlikte geniş özel yüzey alanına (teorik değeri $2600 \text{ m}^2/\text{g}$) sahiptir. Melezleşme malzemenin fonksiyonelliğini artırması için verimli bir strateji olabilir ve grafen üzerinde nanomalzemelerin integrasyonu onların elektronik, kimyasal ve elektrokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi için potansiyel olarak yeni bir yol açmaktadır. Bu nedenle grafen esaslı hibrit malzemeler malzeme bilimi alanında şimdiye dek yeni araştırma konusu haline gelmiştir (Jasuja, 2009).

Eşsiz özellikleriyle çok küçük ve geniş-alan nanomalzeme olarak gelişmekte olan grafenler çeşitli NP'lerin melezleştirilmesinde yapı taşı olabilmesi açısından gelecek vadeder. Ancak, grafen yayılımının istikrarsız yapısından dolayı NP'lerin grafene yerleştirilmesi zordur. Günümüze kadar, sodyum dodesil sülfat kaplı grafen kullanılarak TiO_2 /grafen nanokompozit sentezi (Wang et al., 2009), π - π etkileşimleri ile Au NP'lerin grafen ile bağlantısı ve tabaka tabaka protokolü yoluyla Pt/grafen hibrit filmi (Zhu et al., 2010) gibi kendiliğinden-düzenlenme uygulamaları yoluyla grafen/NPler hibriti için az sayıda örnekleri bildirilmiştir. Ancak yüksek yükleme ve dengeli dağılım isteği ile birlikte grafen/NP hibritlerin sentezi için kendiliğinden-düzenleme stratejisinde hala zorluklar vardır.

Dahası, kimyasal dönüşüm metodu daha fazla modifikasyon veya melezleşmeye yardımcı sabitleyiciler olabilen karboksil, hidroksil ve epoksi grupları gibi (Tung et al., 2009) negatif elektrik yüklü kalıntı kusurlarını önleyen yüksek miktarda grafeni üretebilir. Ancak, kendiliğinden düzenlenme işleminde direk olarak grafen nanotabakaların negatif yüklerinden yararlanılmasının iki temel zorluğu vardır: (1) grafenin yüksek özel yüzey alanı nedeniyle, grafenler agregasyona yatkındır (güçlü van der Waals ve π - π arasındaki etkileşimi nedeniyle) (2) negatif yük NP'ye direkt olarak bağlanması için çok zayıftır. Bu iki zorluğun üstesinden gelebilmek için, dengeleyici olarak poli (N-vinil-2-pirolidon) (PVP) ve

katyonik polielektrolit fonksiyonlu GN'lerin stabil yapı taşı dağılımını sağlamak için fonksiyonel makromolekül olarak PDDA kullanılmıştır.

Bazı karbon esaslı takviyelerin termal iletkenlikleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Karbon esaslı takviyelerin termal iletkenlikleri (Zheng et al., 2014; Singh et al., 2011)

Malzeme	K (W/mK)
Karbon siyahı	6-174
Karbon fiber(PAN)	8-70
Karbon fiber(Pitch)	530-1100 (eksen)
Karbon nanotüpler	2000-6000 (eksen)
Grafit	5000
Grafen	5000- 6000

Bazı karbon esaslı takviyelerle elde edilen termal iletken polimer kompozitler Çizelge 4.8'te verilmiştir.

Çizelge 4.8. Karbon esaslı takviyeli polimerik kompozitlerin termal iletkenlikleri

Takviye tipi	Matris	Katkı hacim oranı (%)	Termal iletkenlik (W/mK)	Referans
Grafit	Polietilen	10	0.65	(Krupa and Chodák, 2001)
		30	1.8	
Grafit	Polistren	10	0.25	
		30	0.9	
Sentetik grafit	Naylon 6.6	40	1.1	(Weber et al., 2003)

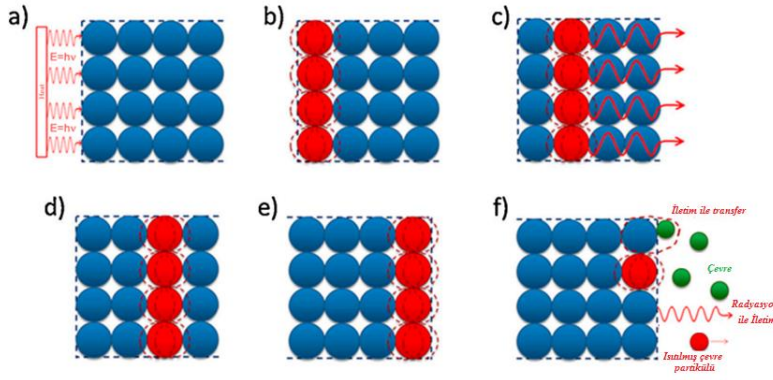
4.3. Termal İletim Mekanizmaları

4.3.1. Grafen Termal İletim Mekanizmaları

Katılarda ısı fononlar ve elektronlar ile taşınır. Metallerde termal iletkenlik elektronların serbest taşınımı ile gerçekleşir. Bakır oda sıcaklığında 400 W/mK termal iletkenliğe sahiptir ve fononların katkısı toplamın %1-2'si ile sınırlıdır. Grafenin termal iletkenliği metalik özelliğinden dolayı fononlar ve elektronlar ile gerçekleşir. Ancak elektronların grafenin termal iletkenliğine katkısı seyrekir.

Genellikle grafenin termal iletkenliğinin fononlar tarafından gerçekleştiğine inanılmaktadır. Şekil 4.19'da verilen kristalin malzemelerin termal iletkenliği aynı zamanda grafene de uygulanabilir. Kristal kafesin bir tarafı ısı kaynağı ile temas ederken ısı vibrasyonlar şeklinde atomların ilk katmanına iletilir. Kafes içindeki atomların yoğun bir şekilde paketlenmesinden dolayı ve aralarındaki güçlü kimyasal bağlardan dolayı ilk katman atomlarındaki vibrasyon hızlı bir şekilde yakınındaki atomlara doğru geçer ve bu şekilde kristalin malzemelerde hızlı ısı transferi ile sonuçlanır. İdeal bir yapıya sahip olan grafende bütün karbon atomları katmana kovalent bağ ile bağlıdır. Grafendeki atomlardan bazıları ısı kaynağı ile iletişime geçtiğinde ve vibrasyona başladığında vibrasyonlar kovalent bağın güçlü etkisi ile çevredeki atomlara hızlı bir şekilde geçer. Diğer bir deyişle grafende ısı transferi bir pozisyondan diğerine geçer (Burger et al.,2016).

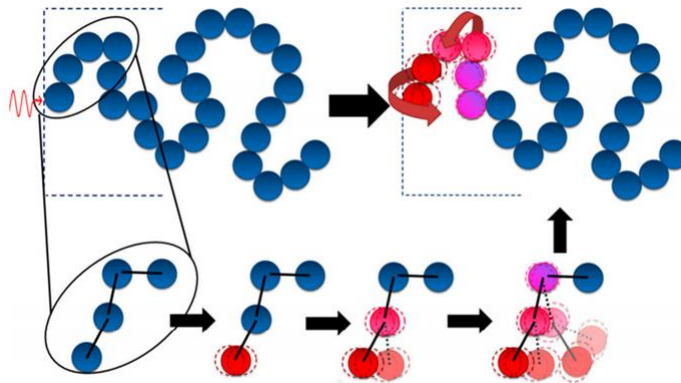
Bazı araştırmalarda grafendeki ısı transferinin fonon dalgaları ile gerçekleştiğini öne sürmektedir. Termal iletken kompozit üretimi için kullanılacak grafenin birçoğu grafen nanotabakalar ve grafen nanopullar gibi çok katmanlı grafendir. Çok katmanlı grafenin katmanlarından bir tanesi titreşime başladığında her bir katmanın kendi arasındaki van der Waals bağlarının zayıflığından dolayı titreşimlerin yakınındaki grafen katmanlarına aktarımı zordur. Yani, ısının grafen katmanları arasında transferi zordur. Bu nedenle çok katmanlı grafenlerde anizotropik ısı iletimi mevcuttur (Li et al., 2017).



Şekil 4.19. Kristalin malzemedeki termal iletkenlik şeması (Burger et al., 2016)

4.3.2. Polimerlerde Termal İletkenlik Mekanizmaları

Polimerlerin termal iletkenliği, kristallik, sıcaklık, makro moleküllerin yönelmesi vb. gibi birçok parametreye bağlıdır. Polimerlerde ısı taşıyıcıları olarak genellikle fononlar görülmektedir. Çünkü çok az serbest elektron mevcuttur. Amorf polimerlerdeki ısı transferi mekanizması Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Polimer yüzeyi ısı kaynağı ile temas ettiğinde ısı, vibrasyon şeklindeki moleküler zincirdeki ilk atoma aktarılır ve daha sonra en yakın atom ve diğerlerine aktarılır. Isı, grafende olduğu gibi dalga şeklinde yayılmaz polimerde de ısı yayılır ancak çok yavaş bir şekilde yayılır. Moleküler zincirdeki ısı transferi atomların düzensiz titreşim ve rotasyonu ile sonuçlanır ve bu durum polimerlerin termal iletkenliğinin büyük oranda azalmasını sebep olur. İyi bir iletken tam bir kafes yapısına sahiptir ve atomlar çok yakın bir şekilde toplanmıştır. Isı ilk atoma ulaştığında bundan bir diğerine hızlı bir şekilde iletilir. Ancak iletimi zayıf olan iletkenlerde ısı transferi, termal iletkenliği azaltan atomların titreşimi ve rotasyonuna neden olur (Burger, 2016).



Şekil 4.20. Polimerde termal iletim mekanizmaları (Burger, 2016)

4.3.3. Grafen-Polimer Kompozitlerde Isı Transfer Mekanizmaları

Polimer içindeki grafenin termal iletim mekanizması karışıktır. Genelde grafen çok geniş bir yüzeye sahiptir. Polimere eklenmesiyle fazla sayıda ara yüzeyler oluşur. Bu ara yüzeyler fonon yayılmasına ve çok yüksek ara yüzey termal gerilmesine sebep olur. Bu nedenle grafen-polimer ara yüzeyinde ısı transferi zordur. Eğer grafen ile polimer arasında uyumsuzluk meydana gelirse ara yüzey fonon saçılması ile sonuçlanır ve ısı transferini engeller. Eğer katkının miktarı sızıntı eşiğinin (percolation threshold) altındaysa katkılar termal iletken yolu oluşturmak için birbirleriyle etkileşime geçemezler. Bu durumda, kompozitin termal iletkenliğinin belirlenmesindeki ana faktör grafen ve polimer arayüz termal direnci olur. Yüzey modifikasyonu grafen polimer arayüzey etkileşimini artırmak ve arayüzey termal direncin azaltılması için uygulanabilir bir yöntemdir. Modifiye edilmiş yüzey, polimer matris moleküler zincirleri ile kovalent ve kovalent olmayan bağ sağlarken grafen kompozit içerisinde yüksek termal iletken kanal gibi davranır. Böylece grafenden polimere fonon transferi geliştirilir ve ayrıca polimerden grafene olan fonon transferi desteklenir. Polimerlerin moleküler zincirleri ve grafen yüzeyindeki moleküler zincirler birbiriyle iç içe geçebilir ve ara katman oluşturur. Bu ara katman birbirine geçmiş moleküler zincirlerle arayüzeydeki fonon saçılmasını azaltır ve arayüz termal direncini en aza indirir. Bununla birlikte katkının miktarı sızdırma eşiğinin üstünde olduğunda kompozitteki ısı grafenin yüksek termal iletkenliğinden dolayı termal iletim yolu boyunca aktarılır. Termal yolların artırılması ve grafen ve grafen-polimer arayüzeyi arasındaki termal direncin azaltılması yüksek termal iletkenlikte kompozitlerin üretimi için önemlidir (An Li et al., 2017).

5. MALZEME VE METOT

5.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tezde kullanılan malzemeler ticari kullanılabilirlik, maliyet, verimlilik ve geniş alanda kullanım gibi kriterlere dayanarak seçilmiştir. Malzeme olarak 2 farklı karbon takviye ve polipropilen matris kullanılmıştır. Matris için diğer mühendislik termoplastikleri ile karşılaştırıldığında daha düşük yoğunluğa sahip olan ve iletken matris olarak PETKİM firmasından MH418 polipropilen ve LG Chemicals firmasından LG Seetec M1600 polipropilen malzeme kullanılmıştır. Karbon takviye olarak yüksek ısı iletkenliğe sahip olan Asbury Carbons şirketinden Thermocarb TC-300 sentetik grafit ve Grafen Chemical Industries Co şirketinden iGP2 grafen nano pullar kullanılmıştır. Ayrıca bağlayıcı olarak Plastaid-T ve yağlayıcı olarak ise Zinc Stearate (ZnSt) kullanılmıştır.

Matris malzemesi olarak kullanılan MH418 polipropilen bir homopolimer ve LG Seetec M1600 polipropilen (Bkz. Şekil 5.1) bir blok kopolimerdir. MH418 polipropilen ve LG Seetec M1600 polipropilen malzemelerin özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

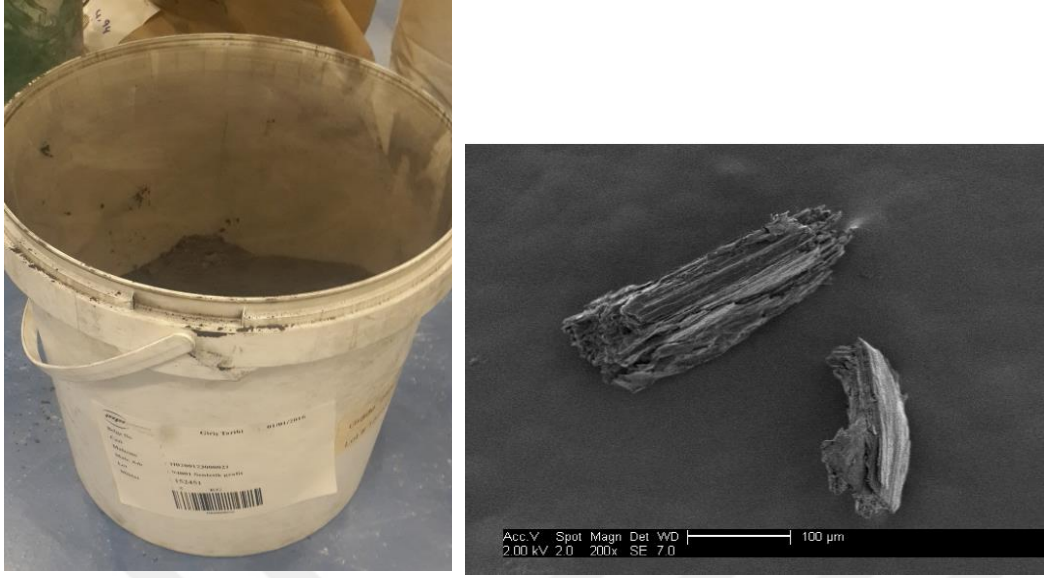


Şekil 5.1. LG Seetec M1600 polipropilen malzeme

Çizelge 5.1. LG Seetec M1600 ve MH 418 polipropilen özellikleri

Özellikler	LG Seetec M1600	MH 418
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk(g/cm ³)	0.9	0.905
MFI (230°C, 2.16 kg), (g/10 dk)	25	4.7
Mekanik Özellikler		
Akma çekme mukavemeti, (MPa)	25	34
Kopma uzaması, %	300	-
Eğilme modülü, (MPa)	1200	1450
Izod darbe dayanımı (çentikli, 23°C), (J/m)	98	22
Izod darbe dayanımı (çentikli, -20°C), (J/m)	39	-
Sertlik, (R-skalası)	90	94
Termal Özellikler		
Vikat yumuşama noktası(1kgf), (°C)	152	-
Deformasyon sıcaklığı, (4.6 kgf/cm ²), (°C)	105	110
Erime sıcaklığı, (°C)	140-165	163

Takviye malzemesi olarak kullanılan Asbury Carbons şirketinden Thermocarb TC-300 sentetik grafit termal olarak işlenmiş yüksek derecede aromatik bir petrol hammaddesinden elde edilmiştir. Şekil 5.2’de kullanılan Thermocarb TC-300 sentetik grafit malzeme ve mikro yapısı gösterilmiştir ve Çizelge 5.2’de Thermocarb TC-300 sentetik grafitin özellikleri verilmiştir.

**a.****b.**

Şekil 5.2. a) Thermocarb TC-300 sentetik grafit b) SEM görüntüsü

Çizelge 5.2. Thermocarb TC-300 sentetik grafit özellikleri

Özellikler	
Karbon miktarı, ağırlıkça %	99.91
Kül miktarı, ağırlıkça %	<0.1
Sülfür miktarı, ağırlıkça %	0.004
Yoğunluk, g/cm ³	2.24
BET yüzey alanı, m ² /g	1.4
Termal iletkenlik (23°C), W/mK	600 “kristalografik yöndeki”
Elektriksel direnç (23°C), Ω cm	0.020
Partikül şekli	İğnemsî
Partikül en/boy oranı	1.7

Takviye malzemesi olarak kullanılan Grafen Chemical Industries Co şirketinden iGP2 grafen nano pulların SEM mikro yapısı Şekil 5.3’de ve özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. a) iGP2 grafen nano pullar b) SEM görüntüsü

Çizelge 5.3. Grafen Chemical Industries Co şirketinden grafen nano pulların özellikleri

<i>Özellikler</i>	
Kalınlık, nm	5-8
Çap, µm	5
Saflık, %	<99
Yüzey alanı, m ² /g	120-150
Yoğunluk, g/cm ³	0.05
ID/IR Raman Spektra Oranı	0.08

5.2. Üretim Yöntemleri

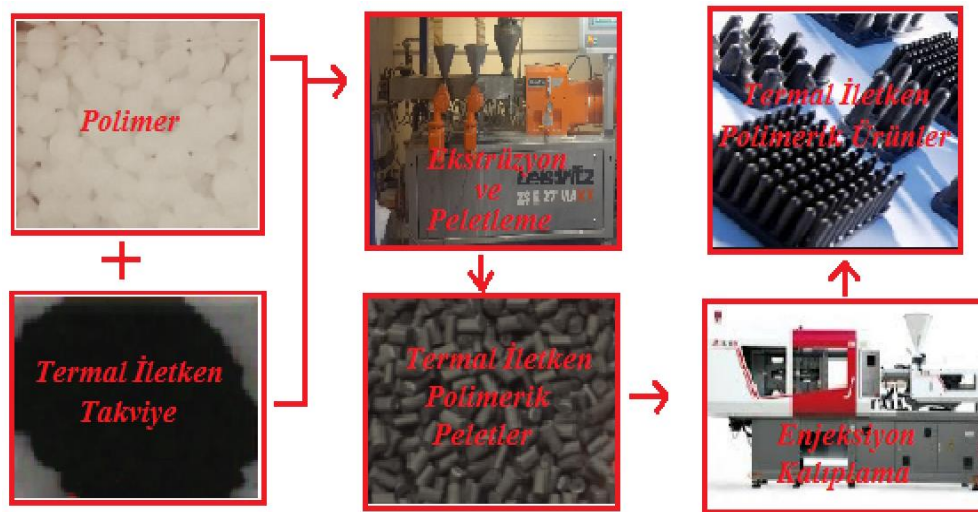
Polimer üretimi, kısaca polimerlerin morfolojisi stabilize edilirken polimerik malzemelerin şekillendirilmesi olarak tanımlanabilir. Polimerlerin özelliklerindeki büyük farklılıkların üstesinden gelmek için geniş aralıkta üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Bu nedenle polimerler birçok farklı yolla üretilebilir. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama başta olmak üzere basınçla kalıplama, hava basınçlı kalıplama, ısıl şekillendirme en yaygın endüstriyel üretim yöntemleridir (Tadmor & Gogos, 2006).

Basınçla kalıplama genellikle termoset malzemeler ile kullanılır. Reçine veya polimer tozu ısıtılmış kalıbın tabanına yerleştirilerek eritilir. Üst kalıp alt kalıba doğru alçalır ve ısıtılan reçine kapanan kalıpta basınç ile şekil alır. Çapraz bağlanma ile yapısının iyice güçlenmesi için bu şekilde basınç altında tutulan reçine bir süre bekletilir ve kalıbın soğuması beklenir. Daha sonra katılaşınca kalıp açılır (Tadmor & Gogos, 2006).

Hava basınçlı (şişirme) kalıplama ile termoplastik malzemeler kullanılır ve içi boş boru formunda ürünlerin elde edilmesi için kullanılır. Ekstrüzyon şişirme, enjeksiyon şişirme ve gerdirme olmak üzere üç yöntem vardır. Ekstrüzyon şişirmede ergitilen plastik metal kalıp içerisine basılır ve basınçlı hava ile şişirilir böylece kalıbın çeperlerine sarılan ergimiş polimer katılaşarak içi boş ve boru şekli (parison) elde edilir. Enjeksiyon şişirme yönteminde ön şekillendirilen plastik ön ısıtmadan sonra soğutulmuş kalıp içine yerleştirilir ve basınçlı hava ile ürünün içi boşaltılmış olur (Tadmor & Gogos, 2006).

Isıl şekillendirme yöntemi ile termoplastik levhalar ısıtılır ve vakum, basınçlı hava veya mekanik bir sistem ile istenilen şekli alması sağlanır (Tadmor & Gogos, 2006).

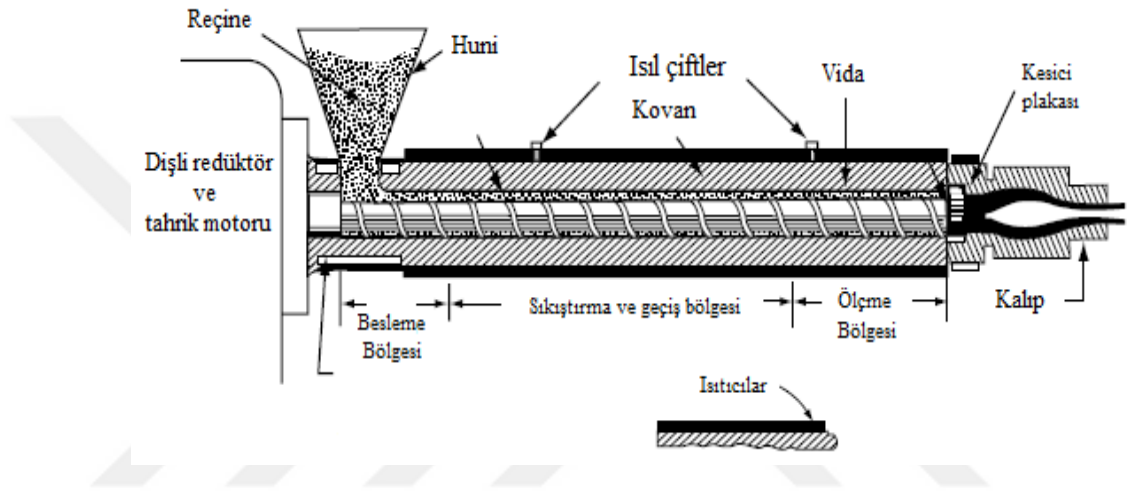
Bu tezde sentetik grafit ve grafen takviyeli polimerik kompozitler öncelikle ekstrüzyon makinesi ile matris ve takviye malzemenin homojen karışımından peletler elde edilmiştir ve enjeksiyon kalıplama ile numuneler elde edilmiştir. Üretilen termal iletken polimerik kompozit numunelerin üretim şeması Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Termal iletken polimerik kompozit numunelerin üretim şeması

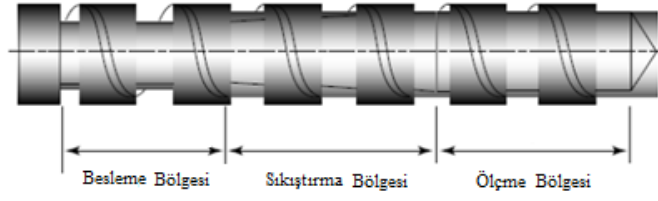
5.2.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, granül veya toz şeklindeki polimerden polimer kompozit malzeme ve son ürün üretmek için kullanılabilir (Bkz. Şekil 5.5). Termoplastiklerin şekillendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerdendir. Ekstrüzyon işlemi 3 ana bileşenden oluşur: beslemeler, ekstruder ve kalıp. Beslemeler, işlenecek olan polimer ya da dolgu malzemesini içerir. Karışım veya kompozit malzeme oluşturmak için bir veya daha fazla besleme herhangi bir kombinasyonda yüklenebilir (Fried, 1995).



Şekil 5.5. Tek vidalı basit bir ekstrüzyon makinesinin kısımları (Harper, 2000)

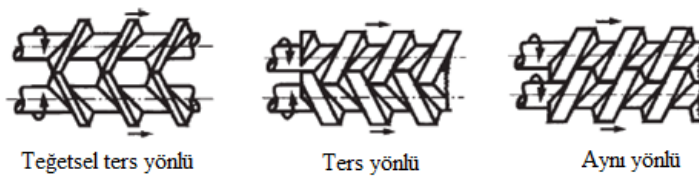
Ekstruder, ısıtılmış kovan ve vida elemanı ile üç ana bölümden oluşur (Bkz. Şekil 5.6). Isıtılmış kovan, besleyicilerden vida elemanına beslenen katı polimerin erimesine yardımcı olmak için kullanılır. Vida elemanı, besleme, sıkıştırma ve ölçme bölümlerine sahiptir. Besleme bölümü, polimerin hunilerden taşınması veya polimerin diğer katkı maddeleri veya polimerler ile karıştırılması için kullanılır. Bu bölüm, iç sürtünme ve ısıtılmış kovan ile ergimiş polimeri sıkıştırma bölümüne besler. Sıkıştırma bölümünde, ergimiş polimer, ölçüm bölümüne beslenen homojen bir reçineye karıştırılır ve kovan duvarlarından dönen vidayla ayrılarak kalıptan itilir. Uç kalıbın şekli, nihai ürünün şeklini (boru, plaka, çubuk vb. gibi) belirler. Polimer peletleri üzerindeki uçucuların (çözücüler veya nem gibi) çıkmasını sağlamak için ekstruderlerin çoğunda havalandırma boşlukları bulunmaktadır (Fried, 1995).



Şekil 5.6. Ekstrüzyon vidası kısımları (Harper, 2000)

Ekstruderlerde tek veya çift vida kullanılabilir. Genelde endüstride tek vidalı ekstruderler yaygındır ancak çift vidalı ekstruderlerin bazı üstün avantaj ve özellikleri vardır. Tek vidalı makinelerde reçine ve dönen vida arasındaki sürtünme reçinenin vidanın hareketi ile döndürür ve dönen reçine ile kovan arasındaki sürtünme ise malzemenin ileriye doğru hareket etmesini sağlar bu aynı zamanda ısı üretir. Tek vidalı ekstruderde daha yüksek oranda ürün elde etmek için da hızının ve/veya vida çapının artırılması, sürtünme ısısının fazla artması ve daha yüksek sıcaklıklarla sonuçlanacaktır. Bunun aksine birbirine geçmeli çift vidalı ekstruderlerde verimli karıştırma ve kendi kendine sürtme hareketi vardır. Bu ekstruder, vidalar arasındaki kovanlarda bulunan malzemeyi çok düşük bir sürtünme ile taşıyan pozitif yer değiştirmeli dişli pompası gibi hareket ederek çok düşük bir sürtünme ile malzemeyi ileriye doğru ittirir. Çift vidalı ekstrüzyon makinesinde dış kaynaklardan bağımsız olarak kontrol edilir ve vida hızından etkilenmez (Chanda and Roy, 2006).

Çift vidalı ekstruderler dizaynına bağlı olarak aynı veya ters yönlü olabilir. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi kısmen veya tamamen iç içe geçmiş vidalar şeklinde dizayn edilebilir. Tamamen iç içe geçmiş vida çiftlerinin kendi kendine süpürme özelliği bulunmaktadır. Teğetsel ters yönlü makineler, eşleştirilmiş (Şekil 5.7’de gösterilen) ve kademeli vida kanadı şeklinde mevcuttur. Her iki tasarım da vidalı-vida etkileşim akışları ve malzeme alışverişleri oluşturur ve bunun sonucunda çok iyi dağıtıcı karıştırıcılar ve polimer modifikasyon reaktörleri elde edilir (Tadmor and Gogos, 2006). Eş yönlü çift vidalı ekstruderler genellikle nanokompozitlerin üretiminde tercih edilirler (Mitch et al., 2003).



Şekil 5.7. İç içe geçmiş vidaların sınıflandırılması (Tadmor & Gogos, 2006)

Bu çalışmada Leistritz Extruder Corporation Model ZSE 27 model ekstrüzyon makinesi polimer kompozit malzeme elde etmek için kullanılmıştır. Bu ekstrüzyon makinesi 40 mm uzunluk/çap oranı, 27 mm eşyönlü içiçe geçmiş çift vidalı dizayna ve 10 bağımsız ısıtma bölgesine sahiptir. Vida dizaynı, polimer kompozit içindeki yüksek oranda karbon katkılardan maksimum termal iletkenliği sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ekstrüzyon makinesi Şekil 5.8’de görülebilir.

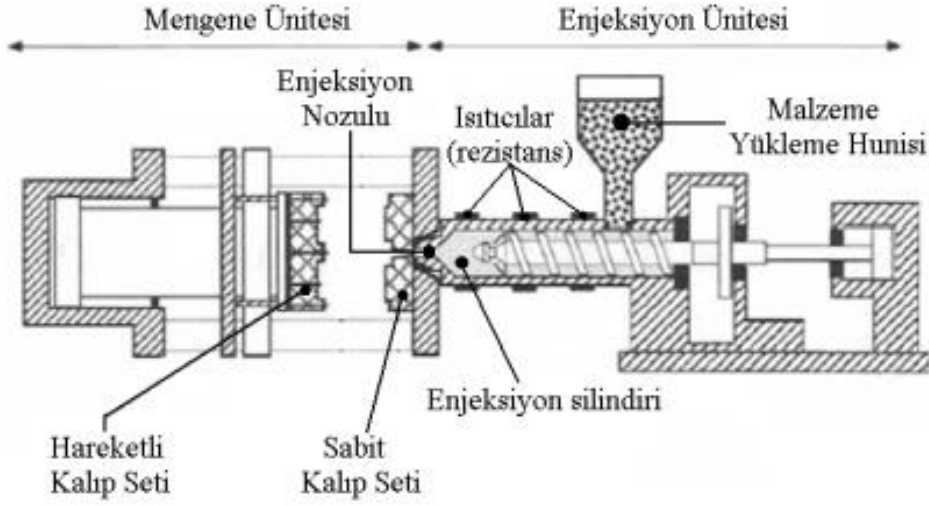


Şekil 5.8. American Leistritz Extruder Corporation Model ZSE 27

5.2.2. Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyonla kalıplama, en genel olarak partikül halindeki termoplastik malzemenin ısıtılarak işlem sıcaklığına getirilmesi ve basınçla kalıba enjekte edilen parçanın kalıpta soğutulması ve kalıptan atılması işlemidir (Bkz. Şekil 5.9.) Enjeksiyon kalıplama yöntemi termoplastik malzemelerin üretimi için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem ile parçalar ekonomik olarak büyük miktarlarda ve geniş aralıkta tasarım özgürlüğü ile üretilebilmektedir (Fried, 1995).

Enjeksiyonla kalıplama işlemi sırasında önce granül halindeki termoplastik malzeme huni yardımıyla enjeksiyon ünitesine girer ve Arşimet vidası ile karıştırılır. Enjeksiyon makinesindeki silindirin etrafındaki rezistanslar sayesinde plastik sıvı hale getirilir. Vida malzemeyi karıştırırken aynı zamanda malzemeyi enjeksiyon ucuna doğru iter. Kalıpta soğutulan ürün dışarı çıkartılır. Bu işlemler tekrarlanarak termoplastikler ile farklı şekillerde ve kısa zamanda birçok ürün elde edilebilir (Siginer et al., 1999).



Şekil 5.9. Enjeksiyon presinin genel yapısı (Siginer, Kee, & Chhabra, 1999)

Bu çalışmada Şekil 5.10'da görülen Bole North America Model BL90EK/C320 model enjeksiyon makinesi dikdörtgen numuneler elde etmek için kullanılmıştır. Bu enjeksiyon makinesinin özellikleri Çizelge 5.4'de gösterilmiştir. Enjeksiyon kalıplama koşulları 100 bar basınç, vida hızı 80 rpm ve sıcaklığı 80°C olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon kalıplama koşulları her bir numune için kalıplandığı sürece aynı tutulmuştur.



Şekil 5.10. Bole North America Model BL90EK/C320

Çizelge 5.4. Bole Model BL90EK/C320 Özellikleri

<i>Şirket</i>	<i>Bole North America</i>
Model	BL90EK/C320
Vida Çapı(mm)	40
Vida Boyu/Çapı oranı	18:1
Teorik enjeksiyon Kapasitesi(cm ³)	226
Enjeksiyon Basıncı(MPa)	140
Maksimum Vida Hızı(r/min)	220
Maksimum Enjeksiyon Hızı(mm/s)	100
Enjeksiyon strok(mm)	180

5.3. Termal İletken Polimerik Kompozitler ve Isı Değiştiricisi Üretimi

5.3.1. Grafen yüzey modifikasyonu ve karakterizasyonu

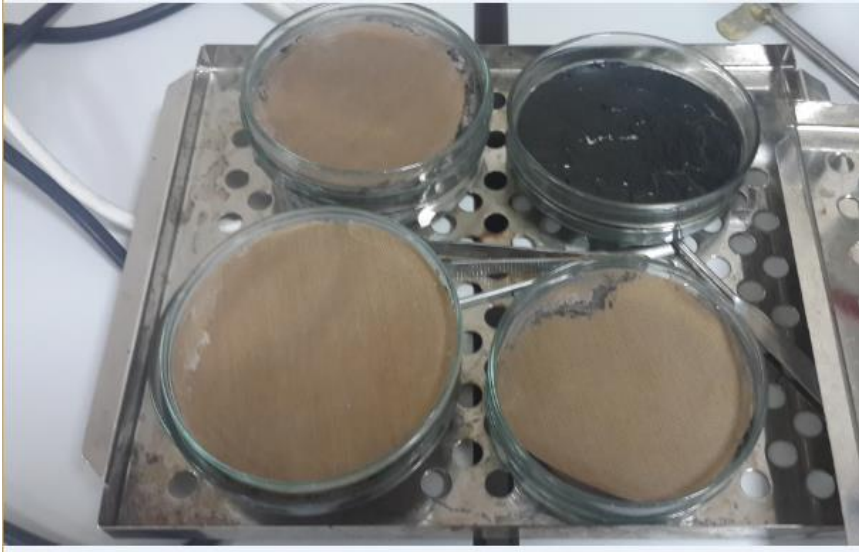
Grafenin birçok avantajının yanında hidrofobik yapıya sahiptir. Van der Waals bağları ve π - π etkileşiminden dolayı tersinir olmayan agregasyona yatkındır ve hatta tekrar grafitte grafitleştirilebilir (Niyogi et al., 2006). Kovalent veya kovalent olmayan işlevselleştirme yoluyla agregasyon sorununu çözmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda kovalent olmayan stratejilerin özellikle fonksiyonel madde olarak polielektrolitlerin kullanımının kovalent olanlardan daha elverişli olduğu elde edilmiştir (Liu et al., 2010).

Lineer pozitif yüklü bir polielektrolit ve suda çözünür bir kuaterner amonyum olan poli(dialildimetilamonyum klorid) (PDDA), sulu solüsyonda eritildiğinde genellikle pozitif yüklü bir kolloid gibi davranır. Pozitif yüklü PDDA, elektrostatik etkileşim ile negatif yüklü yüzey üzerini kolaylıkla kaplayabilir (Song et al., 2015). PDDA, nanomalzemeleri işlevsel hale getirmek ve kovalent olmayan bir yöntemle yoluyla grafenin iyi dağılımını sağlamak için kullanılabilir (Liu et al., 2013). Üstelik PDDA, grafen ile mükemmel bağlama kabiliyetine sahiptir ve grafenin elektronik yapısını değiştirmez (Liu et al., 2010). Grafenin yüzey modifikasyonu ile amaç grafenin agregasyonunu önleyerek iyi bir dağılımın elde edilmesi ve grafen yüzeyindeki azot/ karbon (N/C) oranının artırılmasıdır. Bu tezde elde edilecek olan modifiye grafen, polimer kompozitin içinde takviye olarak kullanılmıştır.

5.3.1.1. Grafen yüzey modifikasyonu

Grafenin yüzey modifikasyonunun gerçekleştirilmesi için 25mL polidialil dimetil amonyum klorür (PDDA) çözeltisine 0.075g, 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g ve 0.5g grafen eklenerek farklı numuneler hazırlanmıştır. Öncelikle 0.075g grafen parafilm üzerinde analitik terazide tartılarak beherde bulunan yaklaşık 25mL PDDA çözeltisine eklenmiştir. Karıştırıldıktan sonra ultrasonik homojenizatöre koyularak %20 genlik değerinde 8-10 dakika kadar muamele edilmiştir. Karışımın yüzey alanı genişletmek için petri kabının içi teflonun ile kaplanmış (Bkz Şekil 5.11) ve karışım bu kaptan etüve konularak 100°C’de 1,5 saat kurutulmuştur. Numuneler havanda dövülerek aynı sıcaklıkta 30 dakika kadar daha etüvde bekletilmiştir.

Aynı karıştırma genliği ve süresi 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g ve 0.5g grafenlere de uygulanmıştır. Ancak bu aşamada düşük grafen miktarı kullanılarak yapılan yöntemden farklı olarak bu örneklerin istenilen düzeyde kurumaması nedeniyle kurutma süresi daha uzun tutulmuştur. Yaklaşık olarak 6 saat boyunca kurutma yapılmıştır. Ayrıca ağırlıkça çeşitli oranlardaki grafen, PDDA içerisine birkaç etapta eklenmiştir.



Şekil 5.11. Teflon üzerinde kurutulmuş PDDA ile Grafen karışımı

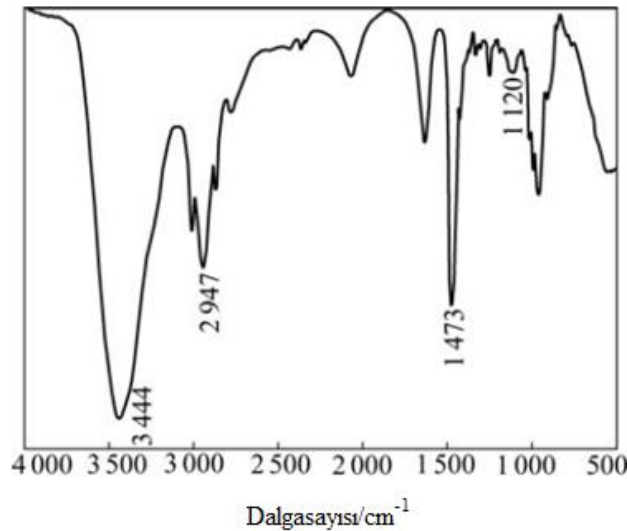
5.3.1.2. Grafen yüzey karakterizasyonu

Grafenin yüzey karakterizasyonunu gerçekleştirmek için FTIR ve XPS analizleri gerçekleştirilmiştir.

FTIR Analizleri

Kızılötesi spektroskopi (IR) ilk yapısal spektroskopik tekniktir ve IR radyasyon etkileşimine dayalı bağlı atomlar arası bağların karakterizasyonu için ve ayrıca maddenin emdiği ve moleküllerde titreşime sebep olduğu radyasyon dalgalarının ölçülmesinde kullanılır. IR spektroskopisi, biyolojik malzemelerden kompozit malzemelere, sıvılardan gaz numunelere kadar birçok malzemenin hızlı bir şekilde kimyasal yapısının belirlenmesi ve karakterizasyonunda kullanılan bir yöntemdir. Titreşimsel spektroskopi ilke olarak IR spektrum ile başlamıştır. Günümüzde fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), bilgisayar yardımıyla interferometrenin çıktısını (interferogram) eş zamanlı olarak spektruma dönüştürür ve modern bir yazılım algoritması, kalitatif ve kantitatif analiz için FTIR spektroskopisinin kullanılmasına olanak sağlar. Genellikle FTIR spektrumu grafiği transmitansın yüzde (%T) veya absorpsiyon (A) olarak dalga sayısı (cm^{-1}) ile IR frekansına karşılık gösterilmektedir (Țucureanu et al., 2016).

Şekil 5.12’de saf PDADMA’nın FTIR spektrumu görülmektedir. Çizelge 5.5’de ise PDADMA FTIR spektrumundaki etkili olan fonksiyonel gruplar verilmiştir (Sun et al., 2008).



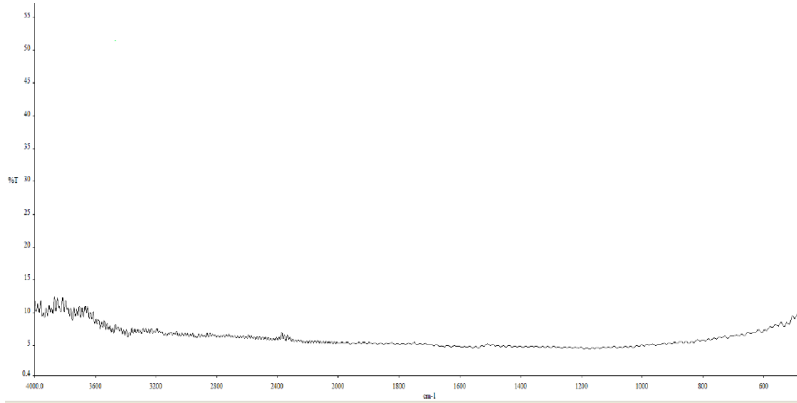
Şekil 5.12. Saf PDADMA’nın FTIR spektrumu (Sun et al., 2008).

Çizelge 5.5. Saf PDADMA'nın FTIR spektrumunda titreşimler (Sun et al., 2008).

<i>Bant aralığı/cm⁻¹</i>	<i>Titreşim</i>
3444	O-H simetrik olmayan gerilme
3005	N-CH ₂ grubunun C-H simetrik gerilmesi
2947.2865	CH ₃ grubunun C-H simetrik olmayan gerilmesi
1635	O-H simetrik deformasyon
1473.1418	O-H simetrik olmayan deformasyon
1339	C-H deformasyon
1258.1120	N-C simetrik gerilmesi
946.907	O-H deformasyon
650	O-H deformasyon

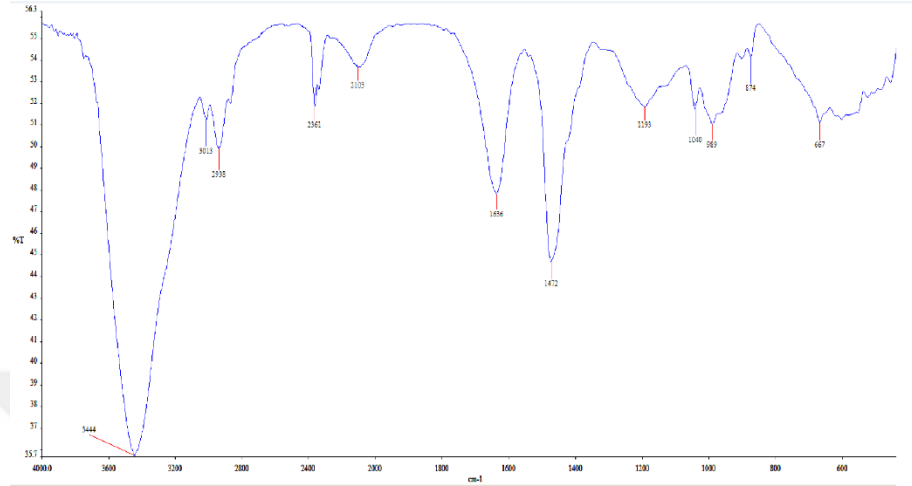
Bu tezde yüzey karakterizasyonu işleminde FTIR analizi için Perkin Elmer marka Spektrum BX-II model FTIR spektrometresi kullanılmıştır. 0.1 g numune 100 g KBR ile karıştırılarak pellet haline getirilmiştir. FTIR spektrumları 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve 400-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında kaydedilmiştir.

Grafenin ve 0.1 g grafen ve 0.075 g grafen kullanılarak hazırlanan PDDA modifiyeli örneklerin FTIR spektrumları Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



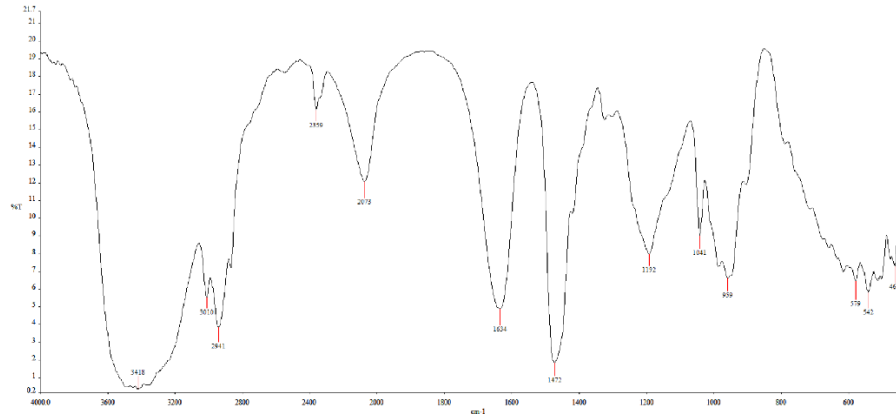
Şekil 5.13. Grafenin FTIR spektrumu

Genellikle saf grafenin FTIR spektrumunda herhangi bir fonksiyonel gruba bağlı belirgin pik noktaları yoktur (Țucureanu et al., 2016). Şekil 5.13’de görüldüğü gibi grafenin spektrumundan düşük miktarda nem içerdiği görülmektedir. Dikkate değer bir fonksiyonel gruba rastlanmamıştır.



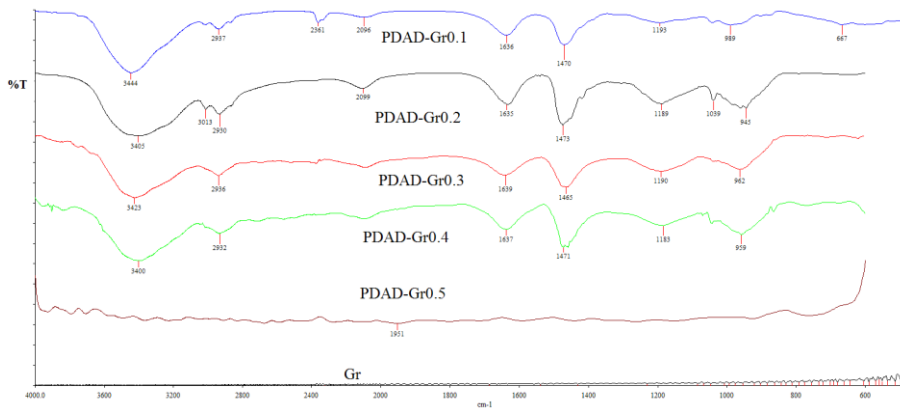
Şekil 5.14. PDDA modifiyeli 0.1 g grafen içeren numunenin FTIR spektrumu

Şekil 5.14’de 0.1 gr grafen içeren FTIR spektrumunda 3200-3400 cm^{-1} aralığında görülen band OH titreşiminden kaynaklanmaktadır. 3013 cm^{-1} ’deki pik N-CH₂ grubunun C-H simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 2950-2850 cm^{-1} aralığındaki pikler CH₃ grubunun C-H simetrik olmayan gerilmesini göstermektedir. 1636 cm^{-1} ve 1472 cm^{-1} ’deki pikler O-H grubunun sırasıyla simetrik ve simetrik olmayan deformasyon pikleridir. 1192 cm^{-1} ’deki pik ise N—C simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Benzer bir şekilde 2103 cm^{-1} ’deki pikin de C-N grubundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Lee et al., 2011). 900 cm^{-1} civarındaki ve 667 cm^{-1} ’deki pikler O-H deformasyon gerilmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.15. PDDA modifiyeli 0.075 g grafen içeren numunenin FTIR spektrumu

Şekil 5.14 için yapılan çıkarımlar Şekil 5.15 için de söylenebilir. Şekil 5.14'den farklı olarak 3418 cm^{-1} 'de görülen OH bandının daha yayvan olması su içeriğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. C-N grubundan kaynaklanan pikler Şekil 5.14'den farklı olarak 2073 cm^{-1} ve Şekil 5.13'de de aynı olduğu gibi 1192 cm^{-1} de görülmektedir. Bütün bu sonuçlar dikkate alındığında PDAD ait pikler PDAD modifiyeli grafen örneğinin FTIR spektrumunda açık bir şekilde görülmüştür. Bu da bize modifiye işleminin başarılı bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Şekil 5.16'te katkısız ve 0.1g, 0.2, 0.3g, 0.4g ve 0.5g katkılı grafenlerin elde edilen FTIR spektrumları verilmiştir.



Şekil 5.16. Saf grafen ve 0.1-0.5 gr grafen takviyeli PDAD FTIR analizleri

Grafen miktarının arttığında ortaya çıkan durum ise Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 0.5 gr grafen içeren numunede PDAD etkisi görülmemekte aksine grafenin olduğu görülmektedir.

XPS Analizleri

X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) veya kimyasal analiz için elektron spektroskopisi (ESCA) en çok kullanılan bir yüzey analiz tekniğidir. XPS analizi birçok malzemeye uygulanabilir ve incelenen malzeme yüzeyinin kimyasal yapısı ile ilgili önemli bilgi verir. Metot, numuneleri uyararak bir x-ışın demeti kullanarak fotoelektronların saçılmasını sağlar. Bu analiz için ortalama derinlik yaklaşık 5nm'dir. Numune yüzeyi tarafından emilen fotoelektronlara neden olan mono enerjili Al K α x-ışınları ile numune yüzeyinin uyarılmasıyla gerçekleştirilir. Elektron enerji analiz cihazı fotoelektronlar tarafından emilen enerjinin ölçülmesinde kullanılır. Bağlanma enerjisi ve fotoelektron maksimum noktasının yoğunluğu ile tespit edilen elementin elementsel kimliği, kimyasal yapısı ve miktarı belirlenebilir.

Yüzey modifikasyonu uygulanan numunelerin yüzey karakterizasyonu Specs ESCA instrument. Spectra markalı XPS cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Spektrumlar 200 W gücünde ve 10^9 – 10^{10} torr basınçta monokromatik Al K α kaynağı kullanılarak kaydedilmiştir.

Yapılan grafen XPS analizleri sonucunda elde edilen yüzeyde bulunan karbon, oksijen ve azot miktarları Çizelge 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Grafen XPS analiz sonuçları

<i>Element</i>	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>N</i>
Grafen	%97	%3	%0
0.1 g grafen	%90	%5	%5
0.075 g grafen	%82	%7	%11

Çizelge 5.6’da verilen sonuçlara göre grafen üzerinde N bulunmazken yüzey modifikasyonu sonucunda kimyasal çözeltiye konan grafen miktarı arttıkça N/C oranı azalmaktadır. Bu sonuçlar modifikasyonun başarılı olduğunu göstermektedir.

5.3.2. Modifiye Edilmiş Grafen, Sentetik Grafit ve Grafen Takviyeli Polimerik Kompozitlerin Üretimi

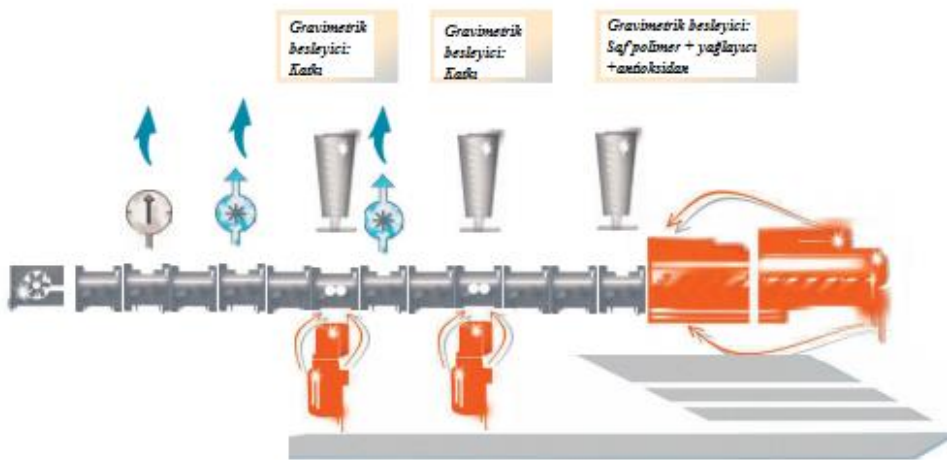
Modifiye grafen takviyeli polimerik kompozit üretiminde katkı olarak (%5-10-15-20) modifiye edilmiş grafen ve matris olarak Petkim MH 418 markalı homopolimer polipropilen kullanılmıştır. Modifiye grafen kullanarak PP kompozitlerin üretimi aşamasında PDDA miktarı en aza indirgenerek grafen miktarı optimum seviyede yüksek tutulmuştur. Yapılan karışım denemelerinde en verimli miktarın 1,75 g grafene 5 mL PDDA olduğuna karar kılınmıştır. Bu karışım; her bir etabı 1,75 g grafen ve 5mL PDDA olmak üzere toplamda en son 40 gram olacak şekilde 8 etapta hazırlanmıştır. Bu karışımlar teflonun üzerinde yüzey alanı genişletilerek etüve konulmak suretiyle her biri 100°C’ de 1,5 saat kurutulmuştur. Kurutulan modifiye edilmiş numuneler öğütücü cihazda toz haline getirilmiştir. Hazırlanan 40 gramlık numuneden %5 (PP5MG), %10 (PP10MG), %15 (PP15MG) ve %20 (PP20MG) oranlarında kullanılmıştır. Homopolimer propilen içerisine ağırlıkça %5-10-15-20 oranlarında modifiye grafen eklenerek Gelimat mikser

(termo kinetik enerji mikseri) cihazının içinde homojen olarak karıştırılmıştır. Gelimat mikserden elde edilen homojen 4 farklı derişimden kompozit levhaların eldesi ısıtmalı-soğutmalı preste kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.7’de modifiye grafen takviyeli polipropilen numunelerin formülleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. Modifiye edilmiş grafen takviyeli polipropilen numunelerin formülleri

<i>Numuneler</i>	<i>Polipropilen (%wt)</i>	<i>Modifiye edilmiş Grafen (%wt)</i>
PP	100	0
PP5MG	95	5
PP10MG	90	10
PP15MG	85	15
PP20MG	80	20

Sentetik grafit ve sentetik grafit/grafen polimerik kompozitlerin homojen karıştırılması için American Leistritz Extruder Corporation Model ZSE 27 ekstrüzyon makinesi kullanılmıştır. Şekil 5.17’de görüldüğü üzere 1. ana besleyici ile 2. ana besleyici 1. bölgededir. 2. ve 3. bölgeler kapalıdır. 4. bölgede 3. yan besleyici bulunur. 6. bölge ise erimiş polimer veya 7. bölgede katkının beslenmesiyle açığa çıkan herhangi kabarcık veya gazların atılması için atmosfere açıktır. 7. bölgede 4. yan besleyici bulunmaktadır. 8. bölge kapalıdır. 9. bölge atmosfere açıktır ve 10. bölge diğer bir kapalı bölgedir. 11. bölgede basınç ölçülmektedir. 12. bölge kapalıdır.



Şekil 5.17. Ekstrüzyon makinesi besleme bölgeleri

Şekil 5.18’de ekstrüzyon makinesinin besleyicileri görülmektedir. 1. ana besleyici kapasitesi 35 kg, 2. ana besleyici kapasitesi 1.5 kg, 3. ve 4. yan besleyici kapasitesi 25 kg’dır.



Şekil 5.18. Ekstrüzyon makinesi besleyicileri

Öncelikle LG Seetec M1600 saf polipropilen granülleri, su soğutmalı olan böylece polimerin erimesini ve besleyiciye yapışmasını engelleyen birinci bölgeden gravimetrik besleyici kullanılarak 1. ana besleyiciden beslenmiştir. Sentetik grafit ve grafen katkılı polimerik kompozitler için katkılar %1.5 Plastaid-T and ZnSt %0.5 oranında yüksek hızlı mikser ile karıştırıldı. Bu karışım 2. ana besleyiciden beslenmiştir. Daha sonra sentetik grafit takviyeli polimerik kompozit için (%10-20-30-40-50) Thermocarb TC-300 sentetik grafit 3. yan besleyiciden beslenmiştir. Grafen ve sentetik grafit katkılı polimerik kompozitler için (%50) sentetik grafit ve (%1.5 ve 3) grafen 3. yan besleyiciden eklenmiştir. Besleme oranı, vida hızı, kalıbın sıcaklık ve basıncı gibi özellikler kabindeki kontrol paneli üzerinden görüntülenmektedir ve kontrol edilmektedir. Bütün kompozit formülasyonları için ekstrüzyon çalıştırma koşulları aynı tutulmuştur. Ekstrüzyon makinesi bölge sıcaklıkları 195-220°C arasında set edilmiştir. Çizelge 5.8’de sentetik grafit ve Çizelge 5.9’da sentetik grafit ve grafen takviyeli polipropilen numunelerin formülleri verilmiştir.

Çizelge 5.8. plakalı takviyeli polipropilen numunelerin formülleri

<i>Numuneler</i>	<i>Polipropilen (%wt)</i>	<i>Sentetik Grafit (%wt)</i>
PP	100	0
PP10SG	90	10
PP20SG	80	20
PP30SG	70	30
PP40SG	60	40
PP50SG	50	50

Çizelge 5.9. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polipropilen numunenin formülü

<i>Numuneler</i>	<i>Polipropilen (%wt)</i>	<i>Grafen(%wt)</i>	<i>Sentetik Grafit (%wt)</i>
PP50SG1.5G	48.5	50	1.5
PP50SG3G	47	50	3

Ekstruderden sonra 3mm çaplı polimer demeti su banyosuna girer ve daha sonra peletleyici ile 3 mm uzunluğunda peletler üretilir. Şekil 5.19'da ve 5.20'de sırasıyla su banyosu ve peletleyici resimleri gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.19. a) su banyosu b) 3mm uzunluğunda peletlerin soğutulması



Şekil 5.20. Peletleyici ve 3mm uzunluğunda peletler

Polipropilen esaslı kompozitler su banyosundan sonra içerisine su girmesi ihtimalinden dolayı suyun atılması için ekstrüzyondan sonra 80°C sıcaklıkta 2 saat kurutulmuştur. Enjeksiyon kalıplamadan önce kurutulan polimer kompozitler kurutulduktan hemen sonra nem önleyici torbalarda saklanmıştır. Şekil 5.21’de üretilen polipropilen esaslı kompozit peletler gösterilmektedir.



Şekil 5.21. Üretilen polipropilen esaslı kompozit peletler

Test numunelerinin üretilmesi için Bole North America Model BL90EK/C320 enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon kalıplama koşulları 100 bar basınç, vida hızı 80 rpm ve sıcaklığı 80°C olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon kalıplama koşulları her bir numune için kalıplandığı sürece aynı tutulmuştur. şekil 5.22’de görüldüğü gibi test numunelerinin hazırlanmasında 3 mm kalınlığında kalıp kullanılmıştır. şekil 5.23’de enjeksiyon kalıplama ile elde edilen ve karakterizasyon için kilitli poşetlerde numuneler gösterilmiştir.

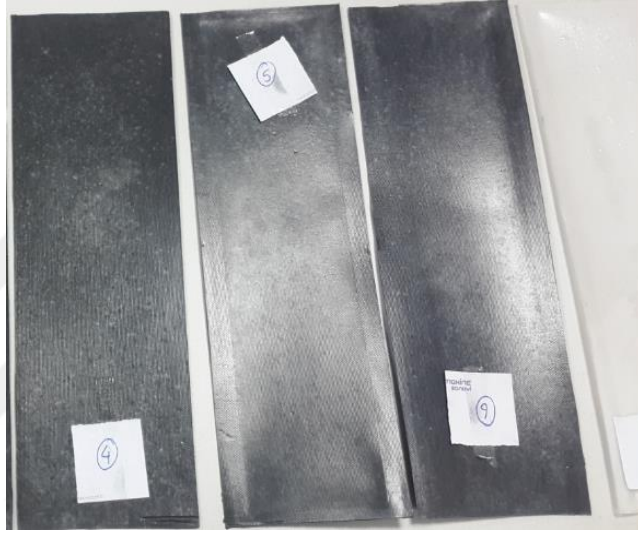


şekil 5.22. Enjeksiyon kalıplamada kullanılan 3 mm kalınlığında kalıp



şekil 5.23. Enjeksiyon kalıplama ile elde edilen test numuneleri

Üretilen sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin termal iletkenlik testlerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 5.24'te gösterilen kompozit levhalar üretilmiştir. Bu levhalar ekstrüzyon sonucu elde edilen homojen derişimin 0.75m kalınlığında 10x40 cm ebadında kalıp içersine konularak ısıtmalı- soğutmalı pres yardımıyla üretilmiştir. Isıtmalı pres işlemi 210 saniye boyunca 170°C sıcaklıkta ve 40 bar ile 120 bar basınç aralığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kompozitler 120 saniye boyunca 20°C sıcaklıkta ve 120 bar basınçta soğutmalı pres işlemine maruz bırakılmıştır. Xenon Flaş termal iletkenlik cihazı ile ölçümü yapılacak numuneler basınçla kalıplama yöntemi ile üretilmiştir.

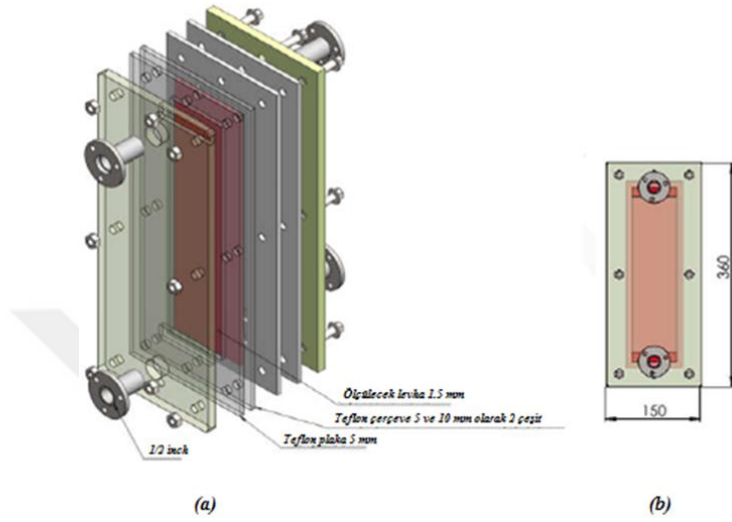


Şekil 5.24. Termal iletkenlik testi için üretilen kompozit levhalar

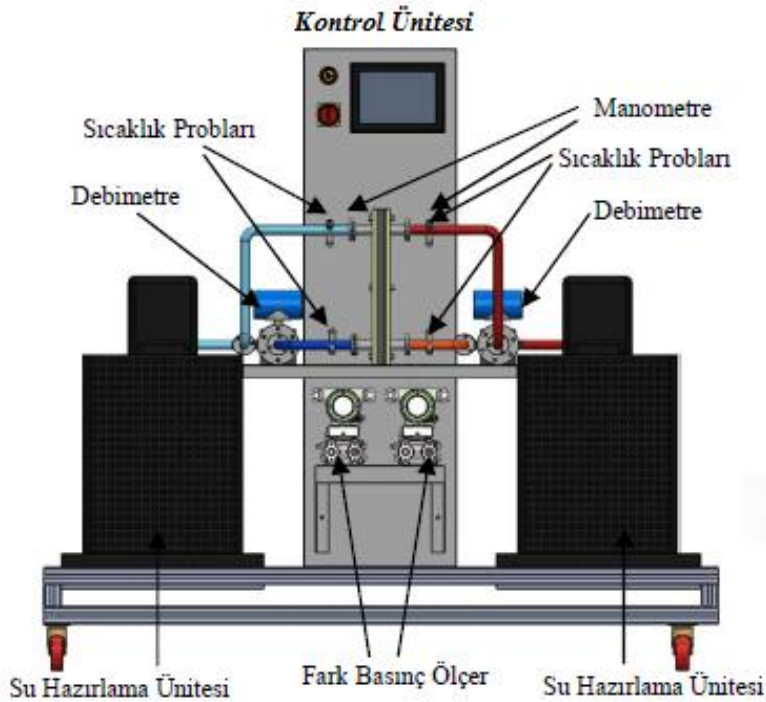
5.3.3. Kompakt Isı Değişirici Tasarımı Ve Üretimi

Kompakt ısı değıştirici tasarımı birçok unsur göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Farklı kütsel oranlarına sahip grafen ve sentetik grafit katkı polimer yapıların termal iletkenliklerinin kolay bir şekilde ölçülmesi için amacıyla modüler yapıda oluşmaktadır. Sızdırmazlığın sağlanması için kompakt ısı değıştirici 6 adet civata kullanılmıştır. Ayrıca tüm ısı değıştirici ısı kayıplarını minimize etmek amacıyla yalıtılmıştır. Isı değıştiricisinin gövdesi sert işlenebilir polimer yapılardan oluşturulmaktadır. Bu tasarımıyla temel kompakt ısı değıştiricisini değıştirmeden sadece test levhasını değıştirerek testlerin yapılması sağlanmıştır. Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen kompakt ısı değıştirici, civatalar hariç polimer yapılardan oluşmuştur. Plakalı kompakt ısı değıştiricisi tasarımı ve deney düzeneğı SolidWorks programı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu deney düzeneğine uygun kalıp tasarlanmıştır. Tasarlanan ısı değıştiricinin kalıbı

oluşturularak ısıtılmalı-soğutulmalı pres yöntemiyle grafen katkılı kompozit granüllerden kompakt ısı değiştirici üretilmiştir. Şekil 5.25'te SolidWorks programı ile oluşturulan plakalı kompakt ısı değiştiricisi tasarımı ve kauçuk o-ring'lere sahip ısı değiştirici plakaların tasarımı gösterilmektedir. Şekil 5.26'da ısı değiştiricisinin ön görünüşünün Solidworks tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 5.25. SolidWorks ile ısı değiştiricisi tasarımı



Şekil 5.26. Isı Değiştirici Test Düzenekinin Ön Görünüşü

6. DENEYSEL METODLAR

Polimer karakterizasyonu, molekül ağırlık dağılımı, moleküler yapı, polimerin morfolojisi, termal özellikleri, mekanik özellikleri ve birçok özelliğin belirlenmesini içerir. Karmaşık olan bu yapıların incelenmesi ve yorumlanması polimerik malzemeyi daha iyi anlamak ve kontrol etmek için önemlidir ve polimer biliminin temelini oluşturur.

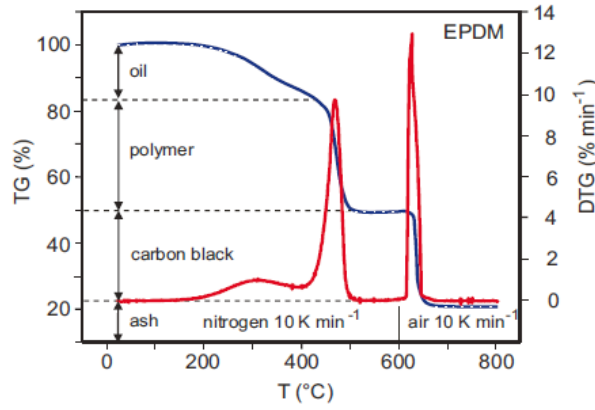
6.1. Termal Analizler

Bir maddenin sıcaklığının kontrollü bir şekilde artırılıp ya da azaltılması sırasındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sıcaklığa bağımlı olarak değişimlerinin ölçülmesi ve yorumlanmasına ‘Termal Analiz’ olarak ifade edilmektedir (Brown, 2001).

Termal analiz malzemedeki kütle, enerji ve boyutsal değişimi gibi özelliklerle ilgilidir ve en çok kullanılan alanlardan bazıları seramik malzeme, plastikler, yakıtlar, toprak ve kil endüstrisidir (Brown, 2001).

6.1.1. TGA Analizi

TGA Analizi numunenin kütlesindeki değişimin zaman ve/veya sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenmesini sağlar. TGA eğrilerinin birinci türevi zaman ya da sıcaklığa bağlı olarak kullanılabilir. Bu değerler de kütle değişimini gösterir. Bu eğrilere DTG eğrileri adı verilir. Kütle değişimleri, buharlaşma, ayrışma ve ayrıca kimyasal reaksiyonlar, manyetik ve elektriksel geçişlerinden kaynaklanmaktadır. TGA analizi polimerlerle ilgili çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılır ve polimer ürünler için bozunma mekanizmaları hakkında bilgi verir. Bunlara ek olarak bozunma şekilleri her bir polimer için karakteristik olduğundan, bunların tanımlamalarında da kullanılabilir (Grellmann and Seidler, 2013). TGA deneylerinde atmosfer, reaktif, inert ya da oksit olabilmesinden dolayı çok önemli bir işleve sahiptir. İnert koşullar altında örneğin nitrojen atmosferinde, birçok plastik 400°C ve 600°C sıcaklığı arasında çözünür (Bkz. Şekil 6.1). Ancak karbon siyahı bu sıcaklık aralığında dayanıklıdır. İlk bozunma maksimum yaklaşık 300°C’de meydana gelir. 400°C’a kadar plastikler ve düşük moleküler segmentler buharlaşır. 400°C ile 500°C arasında EPDM polimer bileşenlerinde bozunma başlar. 600°C’de ise atmosfer nitrojenden oksijene çevrilir ve karbon siyahı yanar. (Grellmann and Seidler, 2013).

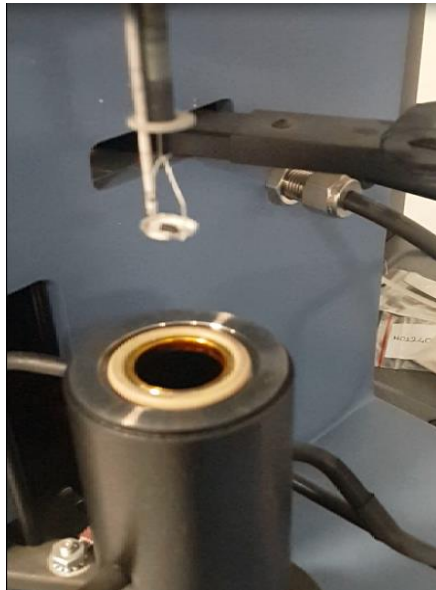


Şekil 6.1. Katkılı EPDM'nin bozunma davranışı (TG- bağlı kütle) (Grellmann and Seidler, 2013).

Bu çalışmada TGA analizleri için TA Instruments Inc., TGAQ500 cihazı kullanılmıştır (Bkz. Şekil 6.2). TGA analizleri ASTM E1131 standardına göre ve azot gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. Kefe tipi olarak platin kullanılmıştır. TGA analizi için 5-10 mg numuneler kullanılmıştır (Bkz. Şekil 6.3). Modifiye edilmiş grafen takviyeli numuneler oda sıcaklığından dakikada 10 °C artırılarak 650°C'ye kadar, sentetik grafit ve grafen takviyeli numuneler ise 950°C'ye kadar ısıtılarak TGA analizi gerçekleştirilmiştir. Amaç ekstrüzyon makinesinde besleyicilerin belirlediğimiz oranlarda besleyip beslemediğini belirlemektir. Bu karakterizasyon işleminde yüksek sıcaklıklara kadar dayanıklı (1000- 1500 °C) sentetik grafit ve grafen gibi karbon temelli malzemelerin bozunmadan kalması gerekmektedir. PP ise yaklaşık 450 °C'de bozunma piki verir 500 ile 550 °C arasında düz doğru oluşur.



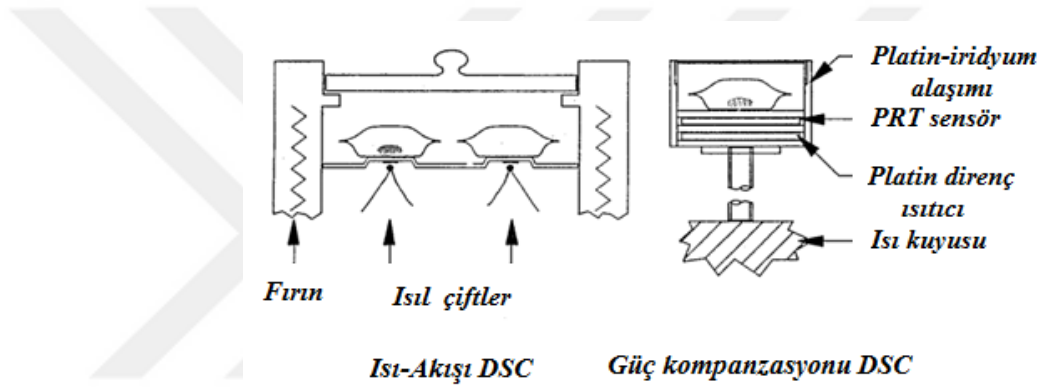
Şekil 6.2. TA Instruments Inc., TGAQ500



Şekil 6.3. 5-10 mg ağırlığındaki numune

6.1.2. DSC Analizi

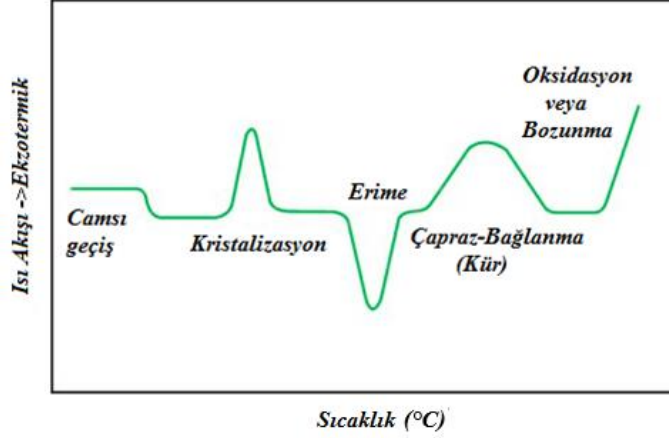
Diferansiyel taramalı kalorimetre, numune ve referansın ısı akışı arasındaki farkı kontrollü bir sıcaklık programı uygulanarak sıcaklığın fonksiyonunu ölçen termal karakterizasyon yöntemidir. Maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristallenme ve termal bozunma yapıları bu metotla incelenir. 2 tip DSC cihazı vardır. Bunlar ısı akışı DSC ve güç kompanzasyonu DSC'dir (Bkz. Şekil 6.4). Bu cihazların farkı güç kompanzasyonu DSC ısı dengeleyici kalorimetreler sınıfına aittir ayarlanabilir Joule ısını arttırarak veya azaltarak ölçülecek ısı (neredeyse tamamen) elektrik enerjisi ile telafi edilir. Isı akışı DSC'de ise ısı değişimli kalorimetreler sınıfına aittir. Isı akışı DSC'lerinde, amacı ısıyı yani ısıdaki değişimi ölçmektir (Höhne, Hemminger, & Flammersheim, 2003).



Şekil 6.4. En çok kullanılan tiplerdeki DSC ölçüm cihazları (Kutz, 2002)

DSC ölçümünde numune ve referans kullanılır. Numune ve referans maddesi kontrollü bir sıcaklık programı ile kontrollü olarak ısıtılır veya soğutulur. Sistemde numune ve referans aynı sıcaklık düzeyinde tutmak için sistem tarafından numuneden ısı alınması veya verilmesi gerekir. Böylece her iki maddeye aktarılan ısı değişimi milivolt cinsinden algılanır ve numunenin emdiği veya yaydığı ısı ölçülür (Crompton, 2006).

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi DSC ile malzemenin erime, camsı geçiş, termal kararlılık, oksidasyon başlangıcı, kür başlangıcı, kristalizasyon, polimorfik geçiş, sıvı kristal, protein denatürasyonu ve katı-katı geçiş gibi genel sıcaklık ölçümleri yapılabilmektedir.



Şekil 6.5. Isı akışı-sıcaklık grafiği (TA Instruments eğitimi 02/2014)

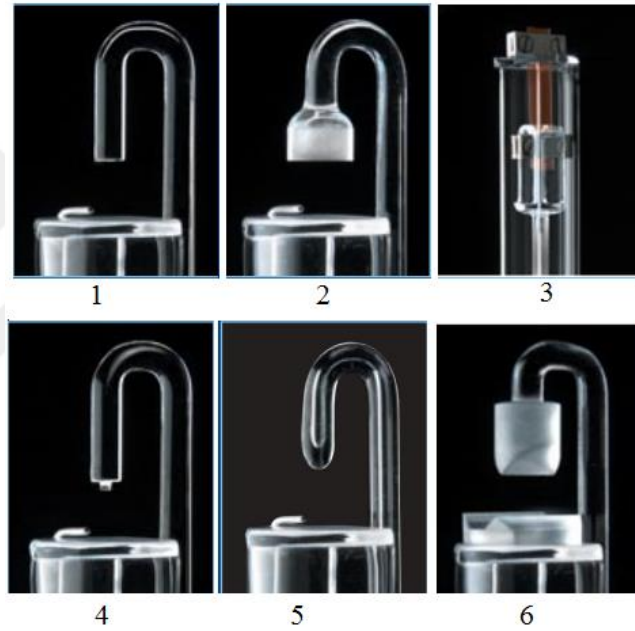
Bu çalışmada Şekil 6.6’da gösterilen TA Instruments Inc., DSCQ20 model cihaz kullanılmıştır. Analizler ASTM D3418 standardına göre ve nitrojen atmosferinde 50 mL/dk akış hızında gerçekleştirilmiştir. Kese tipi olarak T-zero alüminyum kullanılmıştır. Numune boyutu, polimerler için 5-10 mg, çapraz bağlı termosetler için 10-15 mg ve metaller veya kimyasal erime için 3-5 mg olmalıdır. Bu deneyde kullanılan numune boyutu 5-10 mg aralığındadır. Numuneler 10 °C/dk’da 25 °C’den 200 °C’ye kadar ısıtıldıktan sonra geçmiş termal etkileri kaldırmak için 10 dk izotermal olarak tutulmuştur ve 20°C/dk’da -50°C’ye soğutulmuştur. Bu cihazla malzemenin erime noktaları tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. TA Instruments Inc., DSCQ20 model cihaz

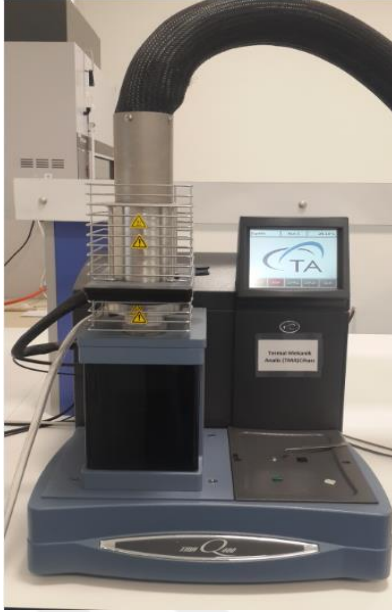
6.1.3. Termomekanik Analiz

TMA cihazı ısı genleşme katsayısının ve camı geçiş sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. TMA için birçok prob tipleri vardır. Bunlar ölçülmek istenen özelliğe ve numunenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 6.7’de bunlardan birkaçı gösterilmiştir; genleşme, sıkıştırma, penetrasyon ve gerilim olmak üzere 4 farklı prob bulunmaktadır. Genleşme ve sıkıştırma probu, termal genleşme ve uygulanan basınç altında numunede meydana gelen geçişi belirlemek için kullanılır. Penetrasyon probu yumuşama sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. Gerilme probu ise film ve fiber gibi numunelerde termal genleşme ve termal büzülme belirlemek için kullanılır.

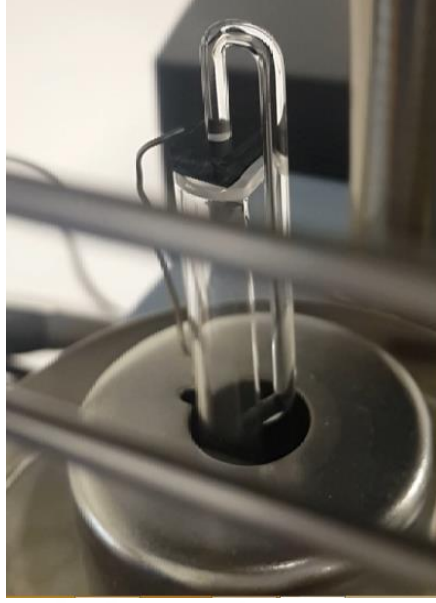


Şekil 6.7. TMA prob tipleri 1. ve 2. genleşme, 3. gerilme, 4. ve 5. penetrasyon, ve 6. 3 nokta eğilme

TMA analizlerini gerçekleştirmek için Şekil 6.8’de gösterilen TA Instruments Inc., TMAQ400 model cihaz kullanılmıştır. Analizler ASTM D696 standardına göre ve azot ortamında gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma sıcaklığı -150°C ile 1000°C aralığındadır. Prob tipi olarak genleşme prob seçilmiştir. Yaklaşık 3 mm boyutundaki numune probun arasına Şekil 6.9’da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Numune ortam sıcaklığından -30°C ’ye düşürülmüş ve izotermal olarak 5 dk bekletilmiştir. Daha sonra $5^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma oranı ile 120°C ’ye yükseltilmiştir. Bu cihazla malzemenin termal genleşmesi tespit edilmiştir.



Şekil 6.8. TA Instruments Inc.,
TMAQ400

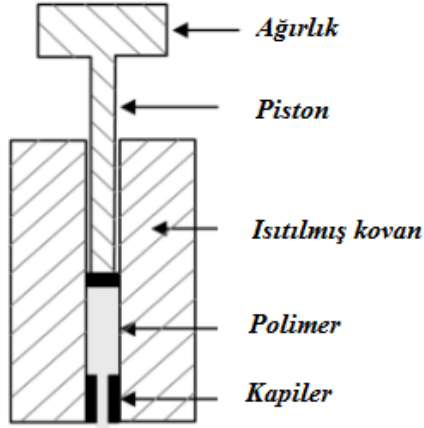


Şekil 6.9. Numunenin cihaza
yerleştirilmesi

6.1.4. Erime Akış Hızı Analizi

Erime akış indeksi (MFI) veya erime akış hızı (MFR), 10 dakika içinde standart orifis içinden ergimiş polimer miktarı ile elde edilir. Yaklaşık 3 mm veya daha küçük partikül boyutundaki numune cihaza doldurulur ve daha sonra polimerin tipine göre belirlenen sıcaklık ve piston ağırlığı ile malzemenin akışı sağlanır. Akan malzeme tartılır ve erime akış hızı g/10 dk olarak hesaplanır. Şekil 6.10'da erime akış cihazı çalışma prensibi gösterilmiştir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip malzeme düşük moleküler ağırlığa sahip malzemeye nazaran akışa karşı daha dayanıklıdır. Ancak bu testten elde edilen veriler polimerlerin işlenebilirliği ile doğrudan ilişkili olmak zorunda değildir. Çünkü plastik malzemeler genellikle saf biçimde kullanılmaz ve içerisine eklenen katkılar kararlılık ve akışkanlık gibi malzemenin işlenme özelliklerini etkiler.

Üretilen malzemelerin erime akış hızının belirlenmesi için Şekil 6.11'de gösterilen GÖTTFERT marka mi2.2 model cihaz kullanılmıştır. Analizler ASTM D1238 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Polipropilen matrisli kompozit malzemeler için 230°C ve 2.16 kg'da bulunmuştur.



Şekil 6.10. Erime akış cihazı



Şekil 6.11. GÖTTFERT marka mi2.2 model cihaz

6.1.5. Termal İletkenlik Analizi

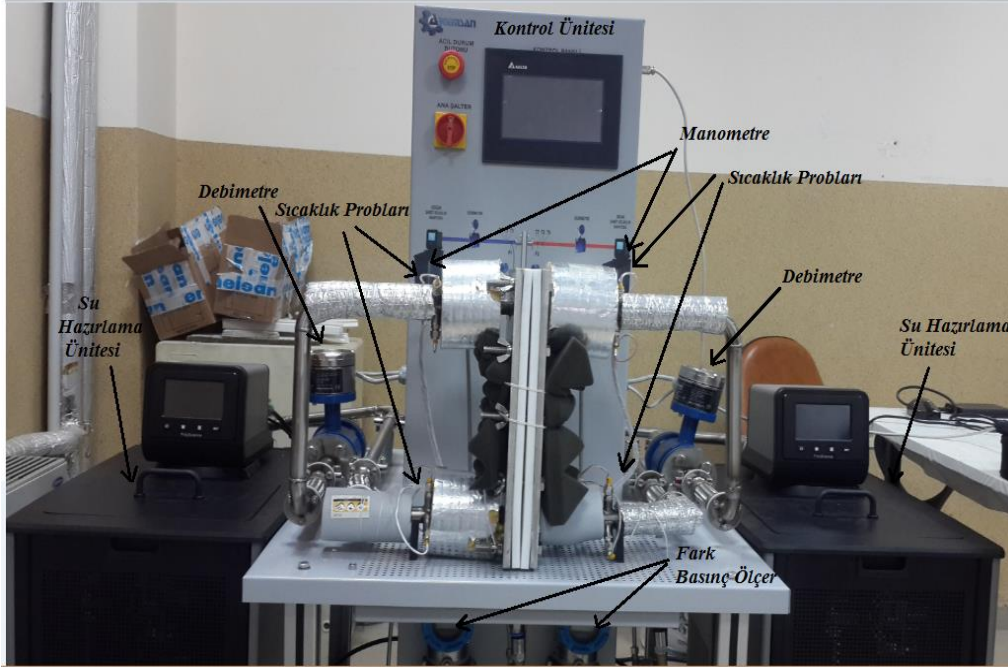
Üretilen termal iletken polimerik kompozitlerin 25°C'deki termal iletkenliğini belirlemek için Şekil 6.12'de gösterilen TA Instruments Inc. Xenon Flash Instrument DXF 200 termal iletkenlik test cihazı ile ASTM E1461-07 standartına göre gerçekleştirilmiştir. Bu metotta ısı yayılım (α) direk ölçülmüştür ve daha sonra malzemenin yoğunluğu (ρ) ve özgül ısı (C_p) bilindiği için termal iletkenlik (k) denklem 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k = \alpha * C_p * \rho \quad (6.1)$$



Şekil 6.12. TA Instruments Inc. Xeon Flash Instrument DXF 200

Sentetik grafit ve/veya grafen katkılı polimerik kompozit ısı değiştiricilerin termal iletkenlik analizi, tasarımı yapılan ve üretilen ısı değiştirici test düzeneği (Bkz. şekil 6.13) ile TS EN 305, TS EN 306 ve TS EN 307 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Termal iletkenlik analizleri için ısı değiştiriciye giren ve çıkan akışkanların debileri, giriş ve çıkış sıcaklıkları çok hassas olarak ölçölmektedir. Isı değiştiriciye giriş koşulları PID (proportional integral derivative) kontrol sistemleri kullanılarak çok hassas olarak kontrol altında tutulmaktadır. Herbir giriş ve çıkış ölçüm noktalarında sıcaklıklar 3 adet PT1000 direnç tipi termometre kullanılarak ölçölmektedir. Aynı ölçüm noktalarından üç adet termometre kullanılarak ölçömlerin daha doğru yapılması amaçlanmıştır. Sıcak ve soğuk akışkanın basınçları ve ısı değiştiricide meydana gelen basınç farkları ölçölerek kontrol ünitesinde bulunan ekrandan okunabilmekte veya bilgisayara veriler aktarılabilmektedir. şekil 6.13'te ısı değiştirici test düzeneği gösterilmiştir.



şekil 6.13. Isı değiştirici test düzeneği

Termal iletkenlik testlerinin gerçekleştirilmesi için üretilen sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozit levhalar şekil 6.14'te gösterilen ısı değiştirici plaka o-ringler arasında yerleştirilmiş ve 6 civata ile sıkıştırılmıştır.



Şekil 6.14. Isı değıştirici plakası

Soğuk akışkanın ısı değıştiriciye giriş sıcaklığı 10°C’de sabit tutularak sıcak akışkanın giriş sıcaklığı 40°C, 50°C ve 60°C olacak şekilde ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık ayarlamasında sıcak ve soğuk akışkan pompa debileri aynı olacak şekilde %20, %40, %60, %80, %100 ayarlanarak farklı kütleli debi değeri sağlanarak her bir numune için değeriendirmeler yapılmıştır. Isı değıştirici test düzeneğinin kontrol ünitesi ve bilgisayar arasında gerçekleştirilen RS 232 ara bağlantısı kullanılarak deney sonuçları bilgisayara aktararak kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanarak incelenen levhalarla ilgili hesaplamalar yapılan bilgisayar programları kullanılarak ısı iletim katsayılarının belirlenmiştir. Sentetik grafit ve/veya grafen katkıli polimerik kompozit levhaların deney ve bilgisayar sonuçları özet halinde verilmiştir.

6.2. Mekanik Analizler

Polimer esaslı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri oda sıcaklığında çekme, 3 nokta eğilme ve darbe testleri gerçekleştirilmiştir.

6.2.1. Çekme Analizi

Çekme analizi, standartlara göre hazırlanmış numunenin tek ekseninde, sabit piston başlığı hızı ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Çekme analizinde genellikle iki tutucu çeneden biri sabit diğeri hareketlidir. Analiz

sırasında numuneye sürekli artan bir çekme kuvveti uygulanırken eş zamanlı olarak numunenin uzaması da kaydedilmektedir ve test sırasında uygulanan yük ve oluşan uzama miktarını grafik olarak çizdirmektedir. Çekme deneyi sonucunda numunenin imal edildiği malzemenin elastisite modülü, elastiklik sınır, rezilyans, akma gerilimi, çekme mukavemeti, tokluk, % uzama ve % kesit daralması belirlenebilir. Çekme dayanımı için formül 6.2 kullanılır.

Çekme dayanımı (σ_c):

$$\sigma_c = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (6.2)$$

Bu formülde $F_{\max}$, maksimum kuvveti; A_0 ise ilk kesit alanını tanımlamaktadır. Yüzde kopma uzamasını belirlemek için formül 6.3 kullanılır.

Yüzde kopma uzaması (KU):

$$\varepsilon = \frac{(l - l_0)}{l_0} \quad (6.3)$$

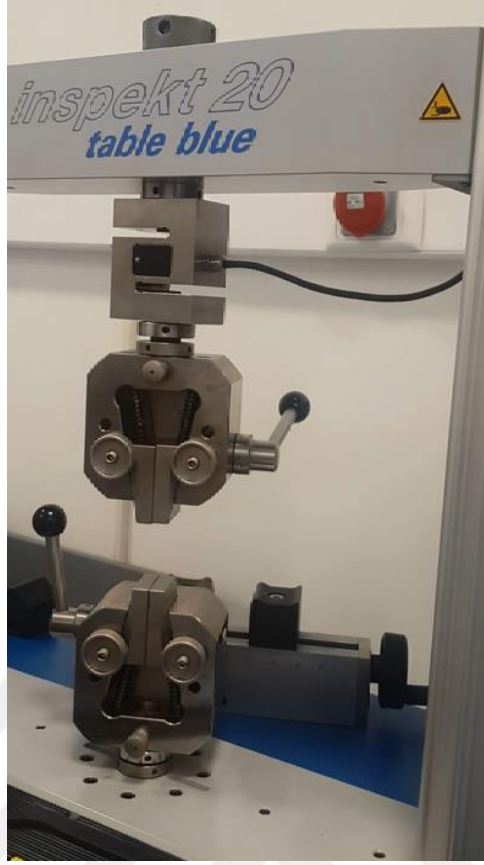
Bu formülde l_0 numunenin ilk uzunluğu; l ise numunenin test sırasındaki uzunluğu olarak tanımlamaktadır. Young modülünü belirlemek için formül 6.4 kullanılır.

Young modülü (elastisite modülü):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6.4)$$

Bu formülde elastisite modülü (E), gerilim (σ) değerinin ise gerinim (ε) değerine oranı ile elde edilir.

Çekme analizleri Şekil 6.15’de gösterilen 20-kN yük hücresine sahip universal test cihazı olan Inspekt Table Blue 20 ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Analizler ASTM D-638 standartına göre sabit piston başlığı hızı 50 mm/dk olarak seçilmiştir. Tekrarlanabilirliğini test etmek için her bir numune için 6 deney yapılmıştır. Çekme dayanımı, kopma uzaması ve Young modülü altı değer ortalaması olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.15. Inspekt Table Blue 20 çekme test cihazı

Şekil 6.16'da çekme testi için kullanılan numune örneği gösterilmiştir. Çekme numunelerinin kalınlığı 3 mm ve genişliği 6 mm'dir. LOT mesafesi 70 mm ve çeneler arası mesafe 57 mm'dir.



Şekil 6.16. Polimerik kompozit çekme numunesi örneği

6.2.2. 3 Nokta Eğilme Analizi

3 nokta eğilme analizi en çok kullanılan eğilme analizlerindendir. Analiz esnasında numunenin orta kısmından sürekli artan bir eğilme kuvveti uygulanırken numunenin tam ortasında oluşan sehim değerleri ölçülerek kaydedilmektedir. Ölçülen değerler ile uygulanan yük ve sehim grafik olarak çizdirilmektedir. Eğilme

analizi ile malzemenin elastisite modülü, eğilme momenti, eğilme dayanımı ve maksimum sehım miktarı tespit edilir. 3 nokta eğilme için maksimum gerilme için 6.5 numaralı formül kullanılır.

$$\sigma = \frac{3 * F * L}{2 * b * t^2} \quad (6.5)$$

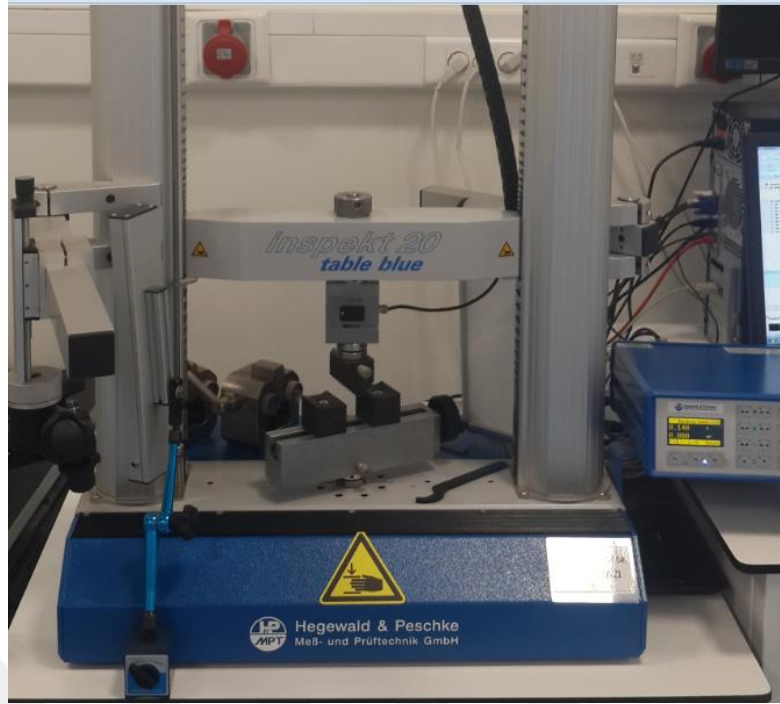
Bu denklemde F, kuvvet (N); L, iki destek arası mesafe (mm); b, numune genişliği(mm); t, numune kalınlığı (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Elastisite modülü, elastik sınırlar içerisinde gerilmenin karşılık gelen şekil değiştirmeye oranıdır. Eğilme elastisite modülü 6.6 numaralı formül ile hesaplanır.

$$E_{eğilme} = \frac{L^3 * \Delta P}{4 * \Delta u * b * t^3} \quad (6.6)$$

Bu denklemde L, iki destek arası mesafe (mm); ΔP , lineer bölgedeki kuvvetteki değişim (N); Δu , lineer bölgedeki yer değiştirme (mm); b, numune genişliği(mm) ve t, numune kalınlığı (mm) olarak tanımlanmaktadır.

3 nokta eğilme analizleri için Şekil 6.17’de gösterilen universal test cihazı olan İnspekt Table Blue 20 ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Analizler ASTM D790 standartına göre eğilme hızı sabit piston başlığı hızı 2 mm/dk olarak seçilmiştir. Her bir numune için 6 deney yapılmıştır. Testlerde 3 mm kalınlığında, 12 mm genişliğinde ve 62 mm boyunda numuneler kullanılmıştır. İki destek arasındaki mesafe 48 mm’dir. 3 nokta eğilme testinde kullanılan bazı numuneler Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.17. Inspekt Table Blue 20 3 nokta eğilme test cihazı

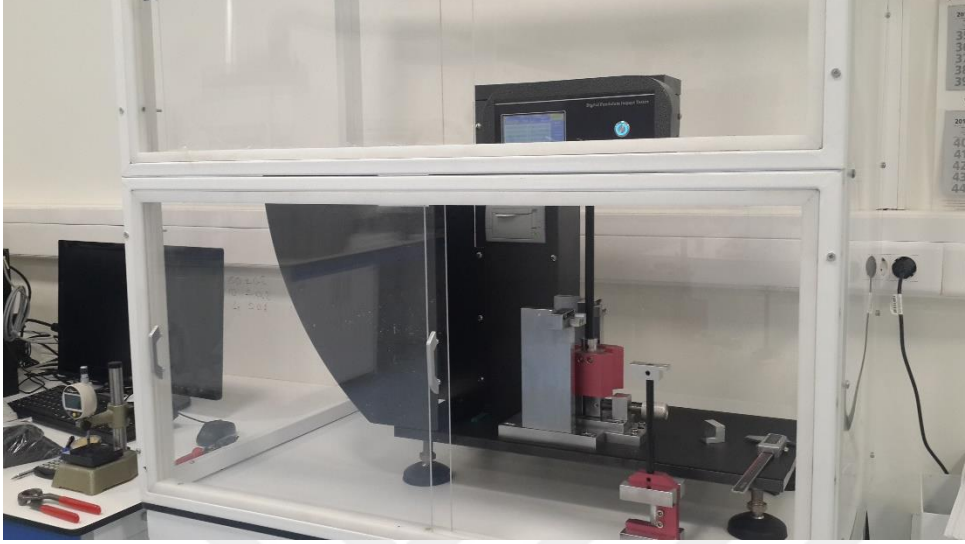


Şekil 6.18. 3 nokta eğilme testi numuneleri

6.2.3. Izod ve Charpy Darbe Testleri

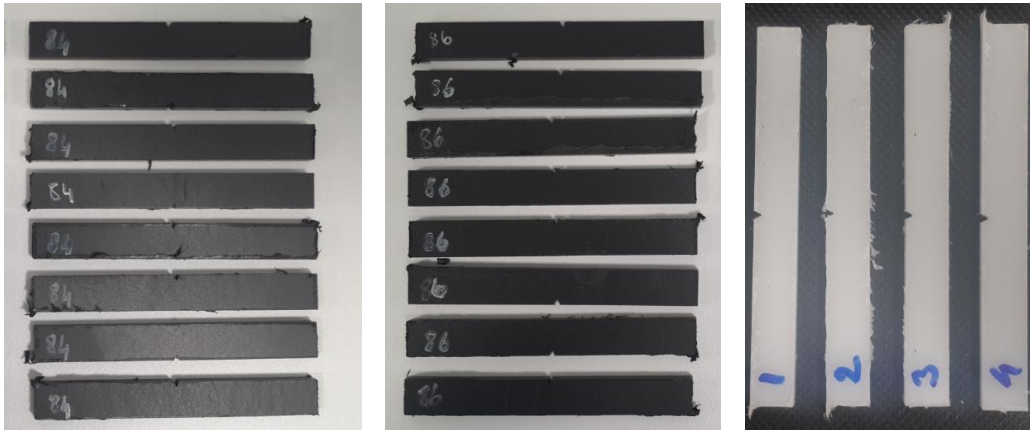
Darbe testi, malzemenin çarpma dayanımı veya tokluğunu belirlemek için kullanılır. Malzemenin enerji absorblama özelliğinin belirlenmesi önemlidir. Bu özelliğin belirlenmesi için Izod ve Charpy darbe testleri sıklıkla kullanılan iki darbe testidir. Izod ve Charpy darbe testleri çentikli ve çentiksiz olarak Şekil 6.19'da

gösterilen Fanyuan Instrument Inc. dijital izod darbe dayanım cihazı ile Izod darbe testleri ISO 180 ve Charpy darbe testleri ISO 179 standardına göre oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.19. Fanyuan Instrument Inc. dijital izod darbe dayanım cihazı

Numunelerin kalınlıkları 4 mm, genişliği 10 mm, boyu ise 80 mm olarak kesilmiştir. Izod testi 3.5 m/s hızla ve 5.5 J ile Charpy testi ise 2.9 m/s hızla 5 J ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.20’de Izod ve Charpy darbe testi için kullanılan çentikli ve çentiksiz numunelerin bazıları gösterilmektedir.



Şekil 6.20. Izod ve Charpy darbe testi çentikli bazı numuneler

7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde saf polipropilen ile modifiye grafen, sentetik grafit ve grafen katkılı polimer kompozitlerin termal ve mekanik analiz sonuçları verilmiştir.

7.1. TGA Sonuçları

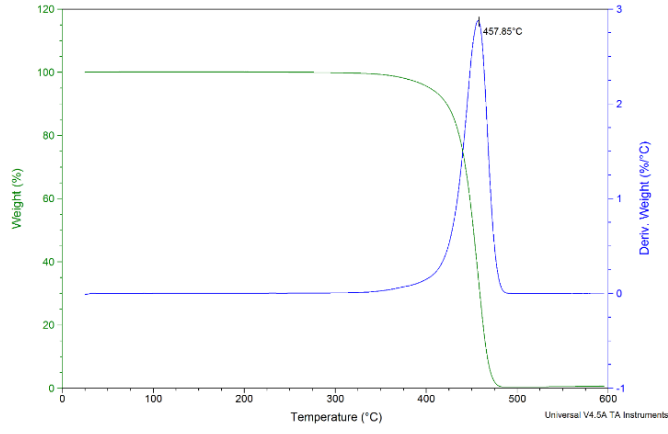
ASTM E1131 standardına göre ve azot gazı ortamında gerçekleştirilen TGA analizlerinin sonuçları verilmiştir.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP5MG, PP10MG, PP15MG ve PP20MG) numunelerinin ve saf polipropilenin TGA deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.1’de verilmiştir. Şekil 7.1’de analiz sonucunda elde edilen TG ve DTG eğrileri gösterilmiştir.

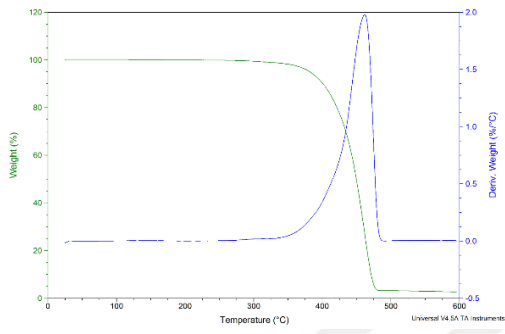
Çizelge 7.1. Modifiye Edilmiş Grafen Takviyeli Kompozitlerin TGA verileri

<i>Numune</i>	<i>Bozunma Başlangıç sıcaklığı (°C)</i>	<i>Maksimum Bozunma sıcaklığı (°C)</i>	<i>600°C ye kalan kütle (%)</i>
PP	404	458	0.6
PP5MG	382	462	2.7
PP10MG	389	464	4.3
PP15MG	392	462	6.6
PP20MG	382	465	8.5

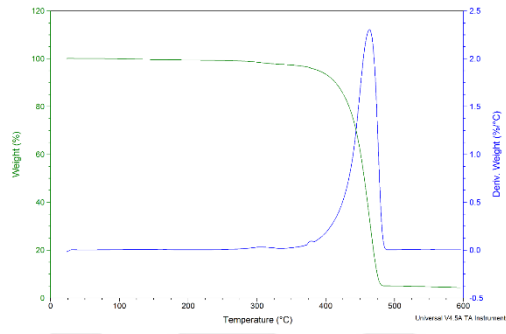
Çizelge 7.1’deki analiz sonuçlarından görüldüğü üzere bozunma başlangıç sıcaklıkları MG eklenince düşme eğilimi göstermiştir. Ancak maksimum bozunma sıcaklıkları ise az da olsa bir artış görülmüştür. %20 MG eklenince bozunma başlangıç sıcaklığı 404°C’den 380°C’ye düşmüştür. Maksimum bozunma sıcaklığı 458°C’den 465°C’ye artmıştır. 600°C’de kalan kütleler de MG eklenince artışlar farkedilebilir. Başlangıç bozunma sıcaklığı %5 ağırlık kaybının meydana geldiği sıcaklıktır.



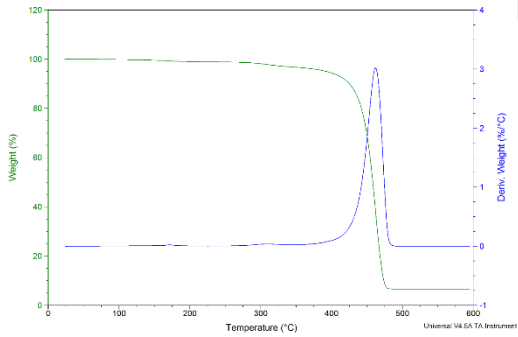
(a)



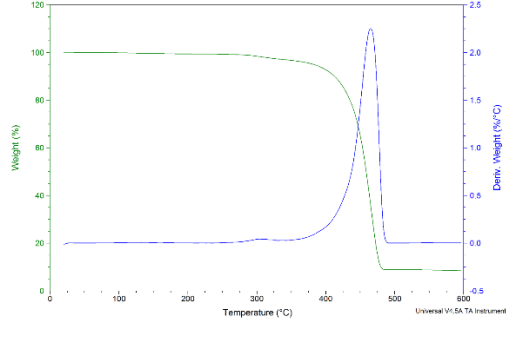
(b)



(c)



(d)



(e)

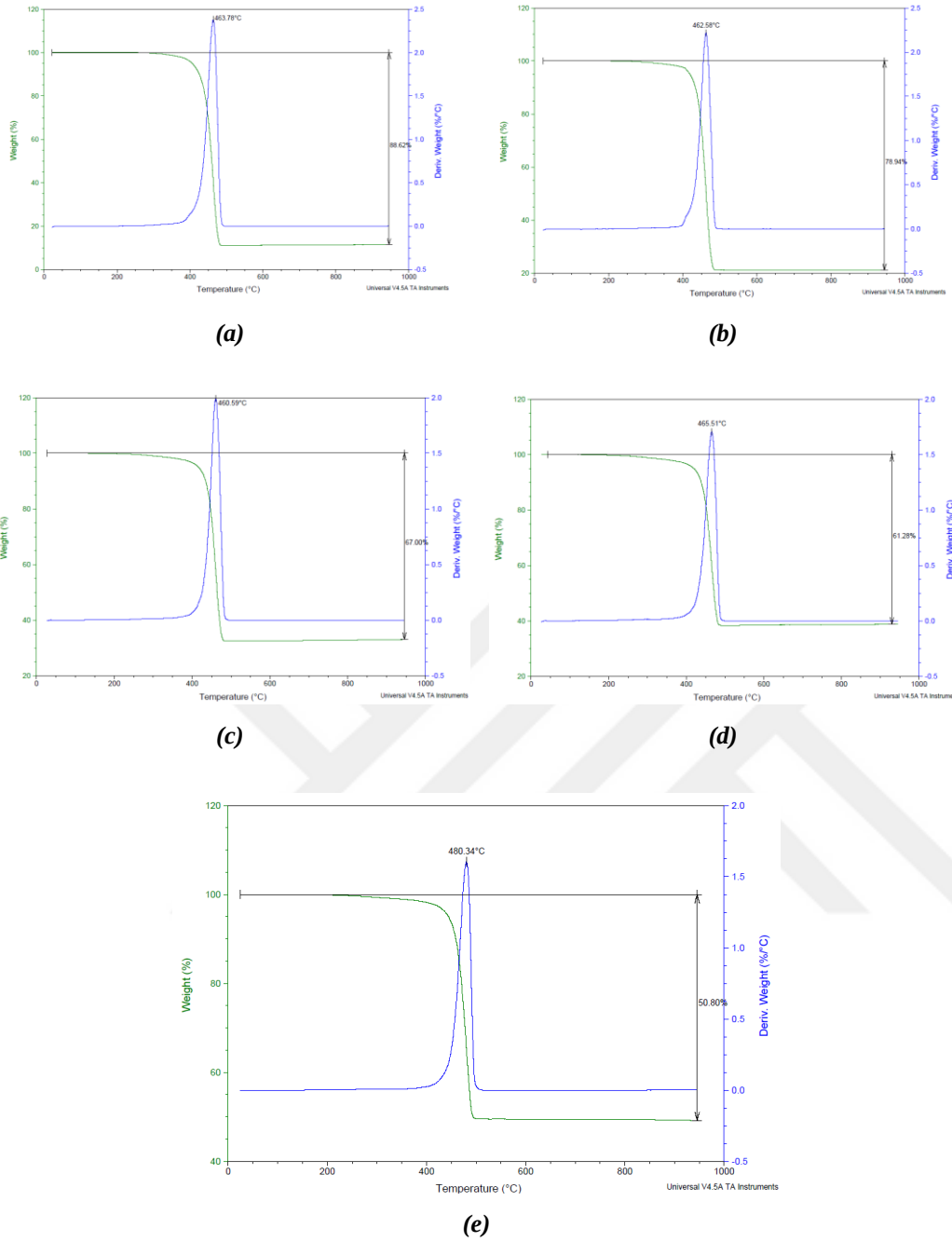
Şekil 7.1. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP10MG d) PP15MG e) PP20MG

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki sentetik grafit katkılı polimerik kompozit (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) numunelerinin ve saf polipropilenin TGA deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Şekil 7.2’de analiz sonucunda elde edilen TG ve DTG eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin TGA verileri

<i>Numune</i>	<i>Bozunma sıcaklığı (°C)</i>	<i>950°C ye kadar kütle kaybı (%)</i>
PP	462	30
PP10SG	464	89
PP20SG	463	79
PP30SG	460	67
PP40SG	465	61.20
PP50SG	480	50.80

Çizelge 7.2’deki analiz sonuçlarından görüldüğü üzere polipropilenin maksimum bozunma sıcaklığı 462°C’dir ve 500°C üzerindeki sıcaklıkta tamamen bozunmuş olur. Polipropilen içerisine sentetik grafit eklenmesiyle bozunma sıcaklığı artış eğilimi göstermiştir. En yüksek bozunma sıcaklığı %50 sentetik grafit katkısı ile elde edilmiştir. Sentetik grafit takviyesi ile elde edilen termal iletken polimer kompozitlerin ısı kararlılığı artmıştır. Sentetik grafit katkılı kompozitler daha fazla ısıyı absorbe eder ve böylece bozunmaya başlaması için gerekli olan eşik enerjisine ulaşmak için daha fazla sıcaklık gerekmektedir bu durum ısıl bozunma sıcaklığının yükselmesine sebep olmuştur. Bozunmadan kalan kütle miktarları ekstrüzyon makinesinde besleyicilerin belirlediğimiz oranlarda besleyip beslemediğini göstermektedir.

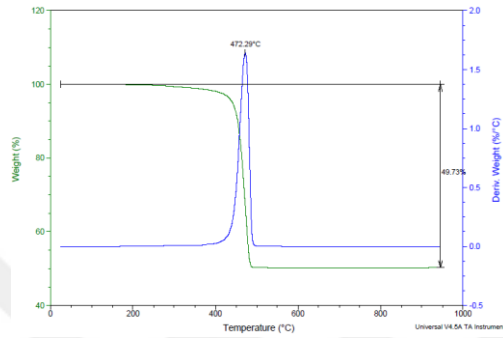


Şekil 7.2. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c) PP30SG d) PP40SG e) PP50SG

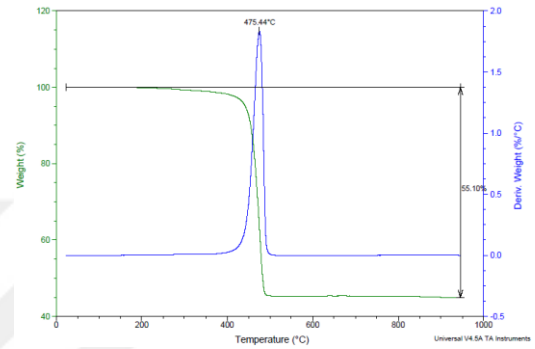
Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) numunelerinin ve saf polimerin TGA deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.3’de verilmiştir. Şekil 7.3’de analiz sonucunda elde edilen TG ve DTG eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin TGA verileri

<i>Numune</i>	<i>Maksimum Bozunma sıcaklığı (°C)</i>	<i>950°C'ye kalan kütle (%)</i>
PP50SG1.5G	472.29	2.7
PP50SG3G	475.44°C	4.3



(a)



(b)

Şekil 7.3. Çeşitli takviye oranlarında TGA sonuçları a) PP50SG1.5G b) PP50SG3G

Çizelge 7.3'deki analiz sonuçlarına göre bozunma sıcaklığı, PP50SG1.5G için 475.44°C ve PP50SG3G için 472.29°C'dir. Saf polipropilenin bozunma sıcaklığı olan 462°C göz önüne alındığında sentetik grafit ve grafen eklenmesiyle bozunma sıcaklığının çok az da olsa arttığı görülmektedir. Tek takviyeli polimerik kompozit ile karşılaştırıldığında %50 sentetik grafit eklenmesiyle daha yüksek bozunma sıcaklığı elde edildiği görülmektedir.

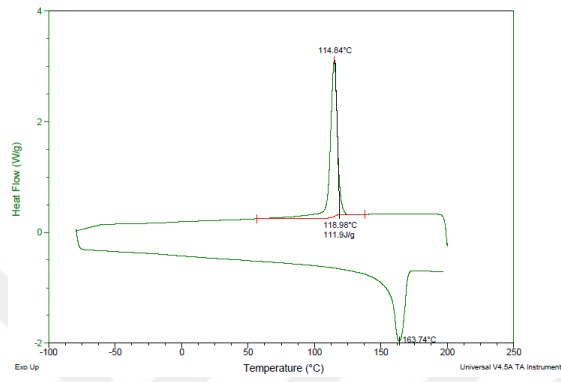
7.2. DSC Sonuçları

ASTM D3418 standardına göre ve nitrojen atmosferinde 50 mL/dk akış hızında gerçekleştirilen DSC analizlerinin sonuçları verilmiştir.

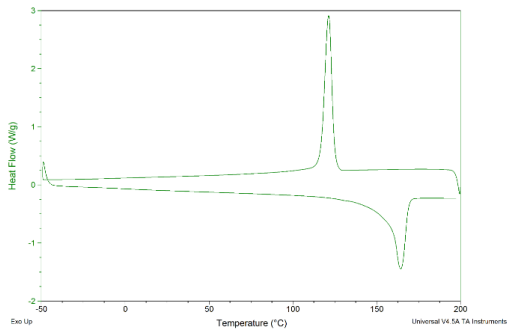
Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP5MG, PP10MG, PP15MG ve PP20MG) numunelerinin DSC deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.4'de analiz sonucu elde edilen DSC eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Modifiye edilmiş grafen takviyeli kompozitlerin DSC verileri

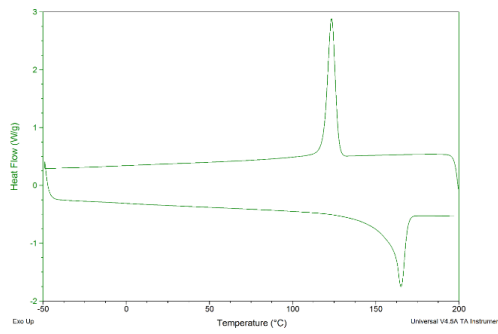
<i>Sample</i>	<i>T_e</i> (°C)	<i>T_c</i> (°C)	ΔH_c (J/g)	ΔH_m (J/g)
PP	164	115	98.1	85.9
PP5MG	164	121	86.1	86.0
PP10MG	165	123	83.3	79.5
PP15MG	166	123	78.5	72.2
PP20MG	167	122	79.0	67.0



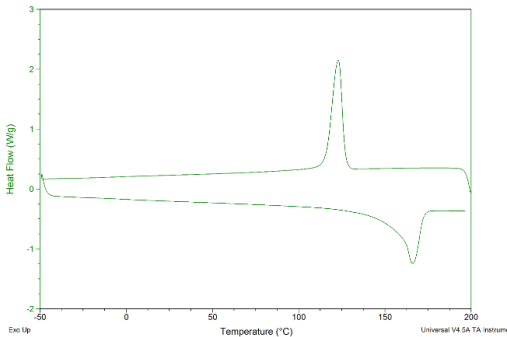
(a)



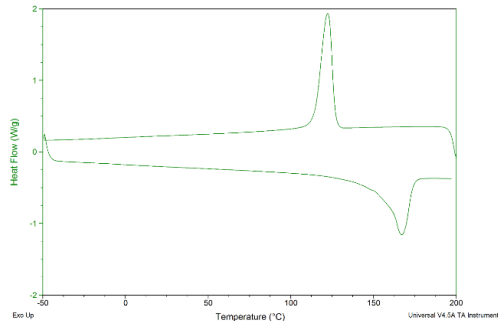
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 7.4. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP10MG d)PP15MG
e) PP20MG

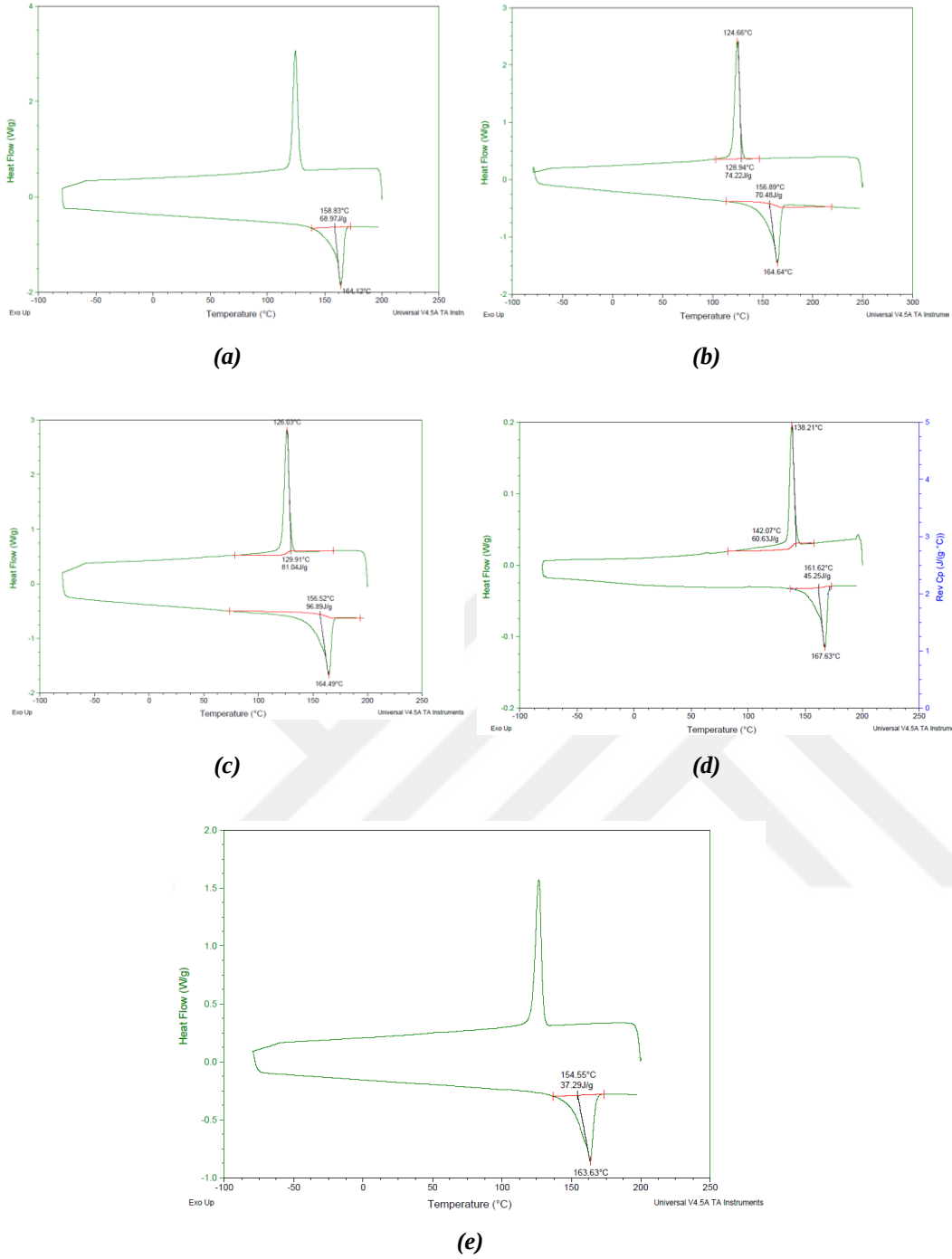
Çizelge 7.4'deki analiz sonuçlarına göre PP'nin erime noktası(T_e) 164°C, kristalizasyon sıcaklığı ise 115°C, erime entalpisi 85.9 J/g, kristalizasyon entalpisi ise 98.1 J/g olarak bulunmuştur. MG eklenmesi ile erime sıcaklığında dikkate değer bir değişiklik görülmemiştir. Kristalizasyon sıcaklıklarında ise 6-8°C aralığında artışlar olmuştur. Kristalizasyon entalpisi ise %20 MG eklenmesi ile 98.1 J/g'dan 79.0 J/g değerine düşmüştür. Erime entalpisi ise 85.9 J/g'dan 67.0 değerine düşmüştür.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafit katkılı polimerik kompozit (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) numunelerinin DSC deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.5'de verilmiştir. Şekil 7.5'de analiz sonucu elde edilen DSC eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin DSC verileri

<i>Numune</i>	<i>T_e (°C)</i>	<i>T_c (°C)</i>
PP	163	-
PP10SG	164.12	-
PP20SG	164.64	124.66
PP30SG	164.49	126.03
PP40SG	167.63	138.21
PP50 SG	163.63	-

Çizelge 7.5'teki analiz sonuçlarına göre sentetik grafit katkısının polipropilenin erime sıcaklığına önemli bir etkisi görülmemiştir. En yüksek erime sıcaklığı %40 sentetik grafit katkısı ile 167.63°C olarak elde edilmiştir. Saf polipropilen ve %40 oranında sentetik grafit katkılı polimer kompozitlerin erime sıcaklığı arasında yaklaşık 4-5°C'lik artış gözlemlenmiştir. Grafit ilave edildiğinde saf polipropilene kıyasla daha yüksek kristalleşme sıcaklıkları elde edilmiştir.

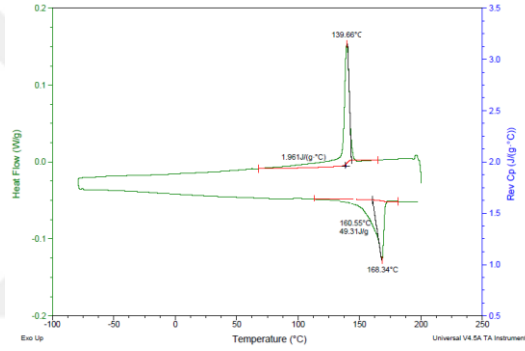


Şekil 7.5. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c) PP30SG d) PP40SG
e) PP50SG

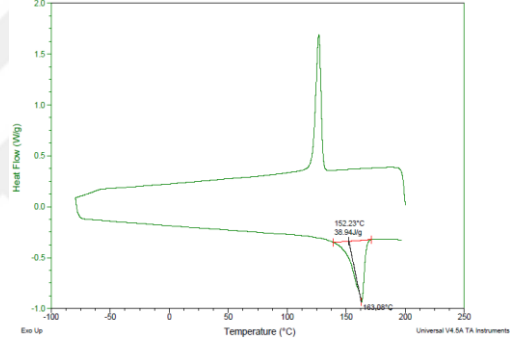
Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) numunelerinin DSC deneyi sonucunda elde edilen verileri Çizelge 7.6’da verilmiştir. Şekil 7.6’da analiz sonucu elde edilen DSC eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin DSC verileri

Numune	Erime sıcaklığı (°C)
PP	163
PP50SG1.5G	168.34
PP50SG+3G	163.08



(a)



(b)

Şekil 7.6. Çeşitli takviye oranlarında DSC sonuçları a) PP50SG1.5G b) PP50SG3G

Çizelge 7.6’daki analiz sonuçları erime sıcaklığı PP50SG3G için 163.08°C ve PP50SG1.5G için 168.34°C’dir. Saf polipropilenin erime sıcaklığı olan 163°C ile karşılaştırıldığında sentetik grafit ve grafen katkısı ile erime sıcaklığında belirgin değişim görülmemiştir. %50 sentetik grafit ve %1.5 grafen içeren polimerik kompozit için ise yaklaşık %4-5 aralığında değişim gözlenmiştir. PP50SG1.5G için kristalizasyon sıcaklığı 139.66°C’dir.

7.3. TMA Sonuçları

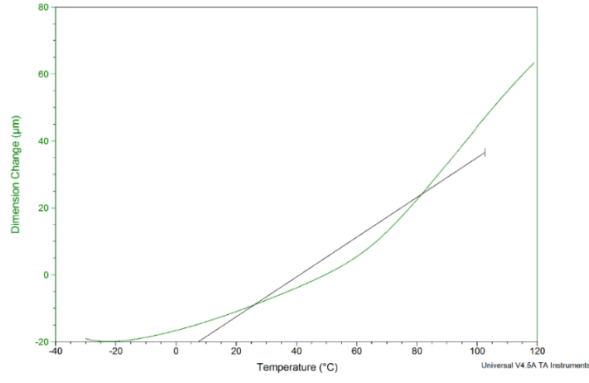
ASTM D696 standardına göre ve azot ortamında gerçekleştirilen TMA analizlerinin sonuçları verilmiştir.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP5MG, PP10MG, PP15MG ve PP20MG) numunelerinin TMA deneyi sonucunda ortalama termal genleşme katsayısı bulunmuş Çizelge 7.7’de verilmiştir. Şekil 7.7’de analiz sonucu üretilen kompozitlerin boyutlarındaki değişimin sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilen TMA eğrileri gösterilmiştir.

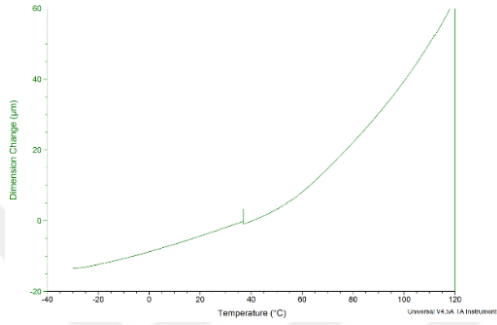
Çizelge 7.7. Modifiye grafen takviyeli kompozitlerin TMA verileri

<i>Numune</i>	<i>Ortalama termal genleşme katsayısı ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)</i>
PP	202
PP5MG	226
PP10MG	124
PP15MG	97
PP20MG	146

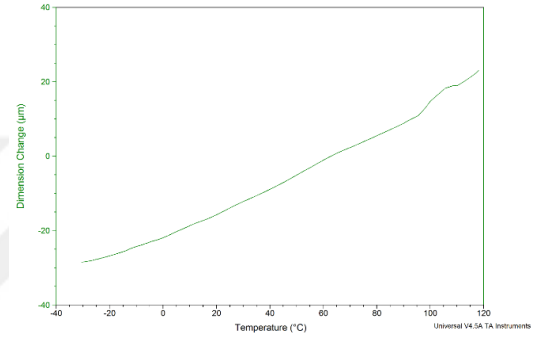
Düşük genleşme katsayısı, kompoziti yapısal uygulamalarında istenen bir özelliktir. Çizelge 7.7’den görüldüğü gibi saf polipropilenin ortalama genleşme sayısı $202 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ bulunmuştur. Polipropilenin termal genleşme katsayısı %5 MG eklenmesiyle bu değer yaklaşık %12 artarak $226 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ bulunmuştur ancak diğer oranlarda (%10, 15 ve 20) termal genleşme katsayıları sırasıyla yaklaşık olarak %38, %52 ve %28 oranında PP’nin değerinden daha düşük çıkmıştır.



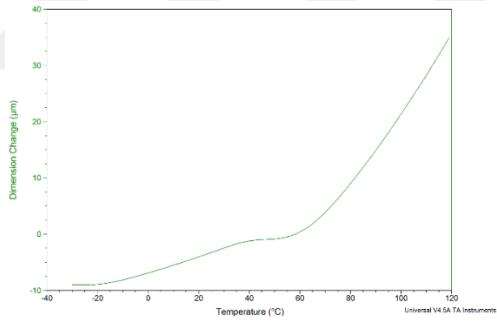
(a)



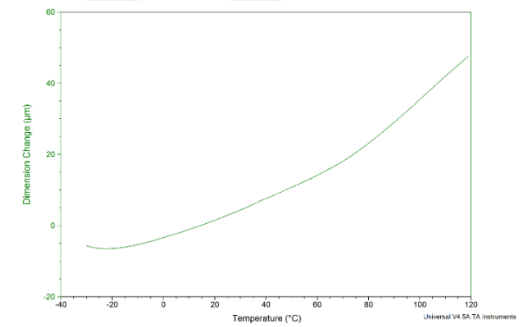
(b)



(c)



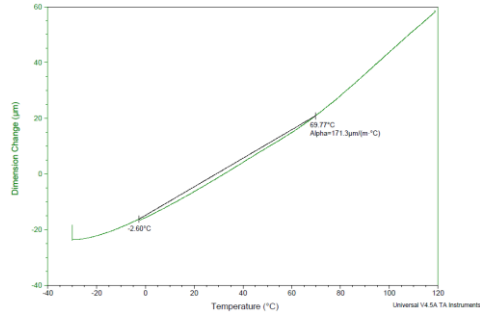
(d)



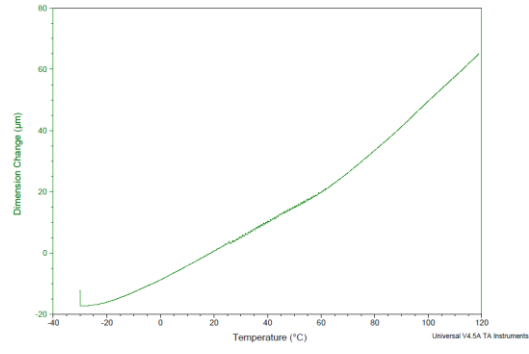
(e)

Şekil 7.7. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) Saf PP b) PP5MG c) PP10MG d)PP15MG e) PP20MG

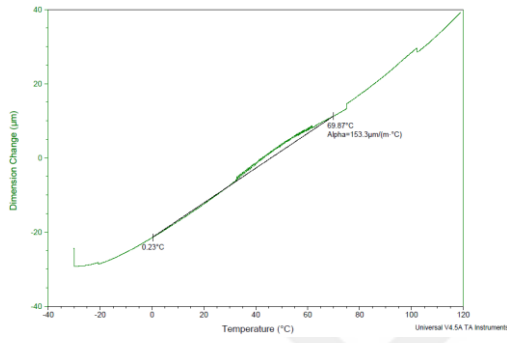
Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) numunelerinin TMA deneyi sonucunda ortalama termal genleşme katsayısı bulunmuş Çizelge 7.8’de verilmiştir. Şekil 7.8’de analiz sonucu üretilen kompozitlerin boyutlarındaki değişimin sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilen TMA eğrileri gösterilmiştir.



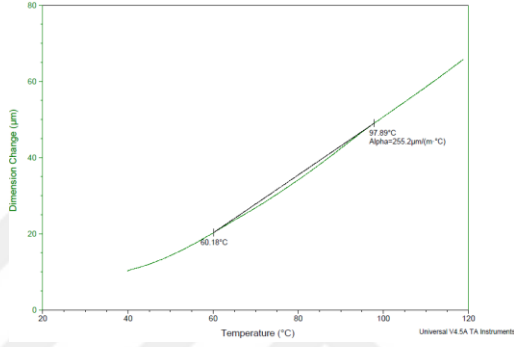
(a)



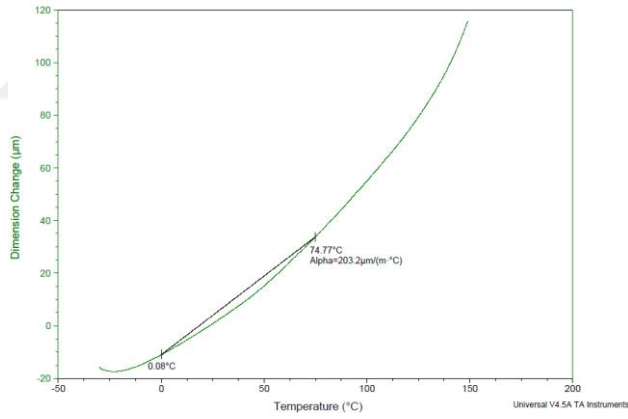
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 7.8. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) PP10SG b) PP20SG c) PP30SG d) PP40SG
e) PP50SG

Çizelge 7.8. Sentetik grafit takviyeli kompozitlerin TMA verileri

<i>Numune</i>	<i>Ortalama termal genleşme katsayısı ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)</i>
PP	181
PP10SG	171
PP20SG	165
PP30SG	153.3
PP40SG	255.2
PP50SG	203.2

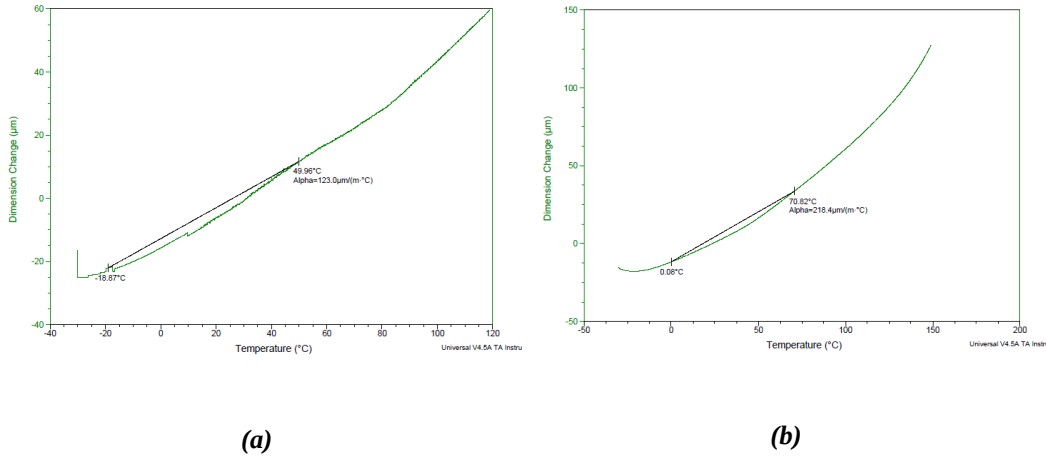
Çizelge 7.8’den görüldüğü gibi saf polipropilenin ortalama genleşme sayısı 181 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ bulunmuştur. Polipropilenin termal genleşme katsayısı %10,20 ve 30 SG eklenmesiyle bu değer sırasıyla yaklaşık %6, 8 ve 15 oranlarında azalarak 171 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$, 165 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ve 153.3 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur ancak diğer oranlarda (%40 ve 50) termal genleşme katsayıları sırasıyla yaklaşık olarak %40 ve %12 oranında PP’nin değerinden daha fazla çıkmıştır.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) numunelerinin TMA deneyi sonucunda ortalama termal genleşme katsayısı bulunmuş Çizelge 7.9’da verilmiştir. Şekil 7.9’da analiz sonucu üretilen kompozitlerin boyutlarındaki değişimin sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilen TMA eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 7.9. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin TMA verileri

<i>Numune</i>	<i>Ortalama termal genleşme katsayısı ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)</i>
PP	181
PP50SG1.5G	123.0
PP50SG3G	218.4

Çizelge 7.9’daki analiz sonuçlarına göre sentetik grafit, %1.5 grafen ile üretildiğinde saf polipropilenin ısı genleşme katsayısından %30 daha az ve %3 grafen ile üretildiğinde ise %18 daha fazla bulunmuştur.



Şekil 7.9. Çeşitli takviye oranlarında TMA sonuçları a) PP50SG1.5G b) PP50SG3G

7.4. Erime Akış Hızı Sonuçları

ASTM D1238 standardına göre ve polipropilen matrisli kompozit malzemeler için 230°C ve 2.16 kg’da bulunan erime akış hızı analizlerinin sonuçları verilmiştir.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) numunelerinin erime akış hızı analizi sonucunda ortalama termal genleşme katsayısı bulunmuş ve Çizelge 7.10’da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Sentetik grafite takviyeli kompozitlerin erime akış hızı verileri

Numune	Erime akış hızı (g/10dk)
PP	25
PP+10%SG	41
PP+20% SG	38.37
PP+30% SG	37.97
PP+40% SG	38.00
PP+50% SG	29.00

Çizelge 7.10'daki erime akış hızı analiz sonuçlarına göre saf polipropilenin erime akış hızı 25 g/10 dk olarak bulunmuştur. Erime akış hızı değeri %10,20,30 ve 40 SG eklenmesiyle yaklaşık %50-60 oranında artarken %50 SG ile %16 oranında artmıştır. Yani sentetik grafitin kullanılması erime akış hızını artırmıştır. Çünkü karbon esaslı takviyeler çok iyi bir yağlayıcıdır bu nedenle malzemenin daha iyi akmasını sağlar.

Ağırlıkça çeşitli oranlardaki modifiye grafen katkılı polimerik kompozit (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) numunelerinin erime akış hızı analizi sonucunda ortalama termal genleşme katsayısı bulunmuş ve Çizelge 7.11'de verilmiştir.

Çizelge 7.11. Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozitlerin erime akış hızı verileri

<i>Numune</i>	<i>Erime akış hızı (g/10dk)</i>
PP	25
PP+50%SG+%1.5G	28.72
PP+50%SG+%3G	27.50

Çizelge 7.11'deki erime akış hızı analiz sonuçlarına göre erime akış hızı değeri saf polipropilen değerine kıyasla %1.5 ve %3 grafenin %50 SG ile kullanılmasıyla sırasıyla yaklaşık %25 ve %10 oranında artmıştır. %50 SG içeren kompozitin erime akış hızı değeri olan 29 g/10 dk'dan daha düşük bulunmuştur. Grafenin sentetik grafit ile kullanımında malzemenin erime akış hızı az da olsa azalmıştır.

7.5.Çekme Testi Sonuçları

Bu bölümde ASTM D-638 standartına göre sabit piston başlığı hızı 50 mm/dk olarak gerçekleştirilen çekme analizlerinin sonuçları verilmiştir. Tekrarlanabilirliğini test etmek için her bir numune için 4 deney yapılmıştır.

Sentetik grafit takviyeli polimer kompozit numuneleri (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) için çekme testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin çekme testi verileri

	<i>Elastisite Modülü (MPa)</i>	<i>F_{max}(N)</i>	<i>Maksimum Çekme dayanımı (MPa)</i>	<i>Kopmadaki birim şekil değiştirme (%)</i>	<i>Tokluk</i>
PP10SG	610.67	331.77	21.27	9.72	1.803
PP20SG	951.65	326.93	21.94	3.91	0.600
PP30SG	1006.06	321.19	20.57	3.30	0.493
PP40SG	1118.55	320.72	20.68	2.53	0.346
PP50SG	1352.71	330.32	18.82	2.21	0.298

Sentetik grafit takviyeli polimer kompozit numunelerinin elastisite modülleri saf polipropilenin elastisite modülü değeri olarak bulunan 530.34 MPa karşılaştırıldığında sentetik grafit oranının artmasıyla polipropilenin elastisite modülünü arttırdığını göstermiştir. Bu durum katkı parçacıklarının kompozit yapının elastisitesi üzerindeki etkisi fazla olduğunu ve sentetik grafit oranının artmasıyla elastisite modülü artış gösterme eğiliminde olduğunu göstermektedir (Sarikanat et al., 2011).

Saf polipropilen ve %10-%50 sentetik grafit katkılı kompozitlerin maksimum çekme dayanımları karşılaştırıldığında saf propilenin 21.70 MPa olan maksimum çekme dayanımının sentetik grafitin eklenmesiyle azaldığı gözlenmektedir. Bu durum yani sentetik grafitin eklenmesiyle mekanik dayanımın azalması topaklanma teorisi temeline dayanmaktadır. Daha düşük katkı oranı matris ile etkileşim yaratmak için yeterli değildir. Böylece kompozitler düşük sentetik katkı oranında daha fazla matris topaklanmasına sahiptir. Daha yüksek miktardaki katkı oranlarında ise çok yüksek gözenekli yapı ve geniş yüzey alanı nedeniyle kompozitteki sentetik grafitlerin topaklanmaya meyillidir. Bu nedenle düşük miktardaki polimerik matris her bir sentetik grafit yapısının içine veya arasına giremez ve sentetik grafit tamamen ıslamaz. Kompozit plakalarının oluşumunda bazı sentetik grafit parçacıkları birbiri üstüne binebilir bu durum ise gerilmenin yoğunlaştığı kompozitin iç yapısında kusur meydana getirebilmektedir. Düşük miktardaki matris nedeniyle yetersiz sızdırmazlık, kompozit plakanın kırılgan olmasına ve küçük bir gerilim altında kolayca kırılmasına neden olur (Dhakate et al., 2009).

Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozit numuneleri (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) için çekme testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.13. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin çekme testi verileri

	<i>Elastisite Modülü (MPa)</i>	<i>F_{max}(N)</i>	<i>Maksimum Çekme dayanımı (MPa)</i>	<i>Kopmadaki birim şekil değiştirme (%)</i>	<i>Tokluk</i>
PP50SG1.5G	1229.02	314.50	18.09	2.08	0.313
PP50SG3G	805,72	319.82	18.26	2.17	0.282

Çizelge 7.13’teki çekme testi sonuçlarına göre saf propilenin elastisite modül değeri ile karşılaştırıldığında %50 SG’in %1.5 ve %3 grafen ile kullanılmasıyla sırasıyla %130 ve %50 arttığı %50SG içeren kompozit numunenin 1352.71 MPa olan elastisite modülü ile karşılaştırıldığında sırasıyla %9 ve %40 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Maksimum çekme dayanımında ise saf propilen ile karşılaştırıldığında %15-16 aralığında azalma görülmektedir.

7.6. 3 Nokta Eğilme Testi Sonuçları

Bu bölümde ASTM D790 standartına göre sabit piston başlığı hızı 2 mm/dk olarak gerçekleştirilen eğilme analizleri sonuçları verilmiştir. Tekrarlanabilirliğini test etmek için her bir numune için 4 deney yapılmıştır.

Sentetik grafit takviyeli polimer kompozit numuneleri (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) için eğilme testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.14. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin eğilme testi verileri

	<i>Eğilme modülü (MPa)</i>	<i>F_{max}(N)</i>	<i>Eğilme dayanımı, (MPa)</i>	<i>Kopma uzaması, (%)</i>
PP10SG	1809.93	53.06	41.66	12.12
PP20SG	2055.90	47.33	37.63	8.98
PP30SG	2580.88	47.41	37.45	4.78
PP40SG	3198.68	51.53	39.53	3.36
PP50SG	2609.68	52.60	33.82	2.90

Literatürde sentetik grafit oranının artmasıyla maksimum %40 sentetik grafit içeren tüm kompozitlerin eğilme modülü artış göstermiştir. %40 oranının üstünde ise sürekli bir azalış göstermiştir. Çizelge 7.14'te saf polipropilenin eğilme modül değeri olan 1059.65 MPa ve %10-%50 oranında sentetik grafit katkılı polimer kompozitlerin eğilme modülleri karşılaştırılmıştır. Literatürdeki duruma benzer olarak eğilme modülü %40 sentetik grafit içeren polimerik kompozite kadar artış ve %50 sentetik grafit oranında düşüş göstermiştir. Maksimum eğilme modülü %40 sentetik grafit içeren kompozit numunede elde edilmiştir (Dhakate et al., 2009).

Eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında ise saf polipropilenin 35.50 MPa olan değeri %10 SG eklenmesiyle maksimum değeri olan 41.66 MPa bulunmuştur. %10 SG'den daha fazla oranlardaki (%20,30 ve 50) sentetik grafit içeren kompozitlerde ise bu değer azalış göstermiştir.

Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozit numuneleri (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) için çekme testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.15. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin eğilme testi verileri

	<i>Eğilme modülü (MPa)</i>	<i>F_{max}(N)</i>	<i>Eğilme dayanımı, (MPa)</i>	<i>Kopma uzaması, (%)</i>
PP50SG1.5G	3164.19	51.13	33.73	2.43
PP50SG3G	2252.28	51.08	33.12	3.80

Çizelge 7.15'teki eğilme analiz sonuçlarına göre grafenin sentetik grafitte eklenmesiyle eğilme dayanımında değişiklik gözlenmemiştir. %1.5 grafen eklenmesiyle eğilme modülünde artış görülmektedir

7.7.Darbe Testi Sonuçları

Bu bölümde 3.5 m/s hız ve 5.5 J ile Izod ve 2.9 m/s hız ve 5 J ile Charpy darbe analizleri sırasıyla ISO 180 ve ISO 179 standardına göre oda sıcaklığında gerçekleştirilen çentikli ve çentiksiz olarak darbe analizlerinin ortalama sonuçları verilmiştir.

Sentetik grafit takviyeli polimer kompozit numuneleri için darbe testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.16. Sentetik grafit takviyeli polimer kompozitlerin darbe testi verileri

	<i>Izod Çentikli Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Izod Çentiksiz Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Charpy Çentikli Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Charpy Çentiksiz Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>
PP	9.80	35.40	8.13	51.67
PP10SG	6.77	32.58	7.10	46.79
PP20SG	7.40	20.80	5.80	25.20
PP30SG	6.90	14.30	5.70	19.00
PP40SG	6.40	12.70	5.50	15.80
PP50SG	5.90	12.55	5.42	11.60

Çizelge 7.16’daki darbe analiz sonuçlarına göre sentetik grafitin eklenmesiyle tüm analizlerde darbe dayanımını düşürmektedir. Karbon esaslı takviye olan sentetik grafit polipropileni sertleştirerek daha kırılğan bir malzeme haline getirmiştir.

Sentetik grafit ve grafen takviyeli kompozit numuneleri (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) için darbe testi sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitlerin darbe testi verileri

	<i>Izod Çentikli Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Izod Çentiksiz Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Charpy Çentikli Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>	<i>Charpy Çentiksiz Darbe Dayanımı, (kJ/m²)</i>
PP50SG1.5G	5.60	12.54	5.41	11.50
PP50SG3G	5.60	12.52	5.32	11.70

Çizelge 7.17’deki darbe analiz sonuçlarına göre %50SG içeren polimer kompozit numune ile karşılaştırıldığında grafenin sentetik grafitte eklenmesiyle değişimin olmadığı gözlenmektedir. Saf polipropilen ile karşılaştırıldığında ise dayanımın yaklaşık %40 oranında azaldığı görülmektedir.

7.8. Termal İletkenlik Sonuçları

Modifiye grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik değerleri Çizelge 7.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.18. Modifiye grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri

<i>Numune</i>	<i>İletkenlik (W/mK)</i>
PP5MG	0.272±0.003
PP10MG	0.282±0.002
PP15MG	0.308±0.017
PP20MG	0.316±0.003

Çizelgeden 7.18’den de görüldüğü gibi iletkenlik değerleri oldukça düşüktür. Bunda ölçme yönteminin de etkisi var. Grafenin yönelmeleri ile ölçme yöntemine göre farklı sonuçlar verebilmektedir. Sonuçlardan grafenin iletkenliğinin yetersiz olduğu görülmektedir. Burada hem ölçme yöntemini değiştirilmesi hem de grafenin yanında başka iletkenlik katkılarının da ilave edilmesi zorunlu görünmektedir.

Sentetik grafit katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik değerleri Çizelge 7.19’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.19. Sentetik grafit katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri

<i>Numune</i>	<i>İletkenlik (W/mK)</i>
PP	0.12
PP10SG	0.54
PP20SG	0.75
PP30SG	1.06
PP40SG	1.64
PP50SG	3.70

Çizelge 7.19'daki termal iletkenlik sonuçlarına göre sentetik grafit takviyesinin artırılması termal iletkenliği düzenli bir şekilde artırmıştır. En yüksek termal iletkenlik %50 SG içeriği ile elde edilmiştir. Saf polipropilenin termal iletkenliğinin yaklaşık 30 katı bir değer bulunmuştur.

Sentetik grafen ve grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik değerleri Çizelge 7.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.20. Sentetik grafen ve grafen katkılı polimerik kompozitlerin termal iletkenlik verileri

<i>Numune</i>	<i>İletkenlik (W/mK)</i>
PP	0.12
PP50SG1.5SG	4.20
PP50SG3SG	4.60

Çizelge 7.20'deki sonuçlara göre grafenin sentetik grafit içerisine eklenmesiye sinerjik bir etki oluşturarak polipropilenin termal iletkenliğinin PP50SG1.5SG ve PP50SG3SG sırasıyla 35 ve 38 katı termal iletkenlik elde edilmiştir.

Çizelge 7.21'den 7.28'e kadar saf polipropilen ve termal iletken polimer kompozit levhalar için soğuk akışkanın ısı değiştiriciye giriş sıcaklığı 10°C'de sabit tutularak sıcak akışkanın giriş sıcaklığı 40°C, 50°C ve 60°C olacak şekilde ayarlanarak ısı değiştirici test düzeneğinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen ölçümler verilmiştir.

Çizelge 7.21. PP termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

Numune	Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)	Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)	Isı İletim Katsayıları (kört), (W/mK)
PP	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	0.1400461600621684261
		% 40 ve % 40	0.1365843734934934843
		% 60 ve % 60	0.1227342375439453433
		% 80 ve % 80	0.1132843253953467214
		% 100 ve % 100	0.12457383462845545

Çizelge 7.22. PP10SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

Numune	Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)	Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)	Isı İletim Katsayıları (kört), (W/mK)
PP10SG	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	0.33006846206215246
		% 40 ve % 40	0.32753417797596196
		% 60 ve % 60	0.32223776843660856
		% 80 ve % 80	0.3159987867500905
		% 100 ve % 100	0.3289567724184558

Çizelge 7.23. PP20SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

Numune	Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)	Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)	Isı İletim Katsayıları (kört), (W/mK)
PP20SG	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	0.39934491798844723
		% 40 ve % 40	0.39815945335551634
		% 60 ve % 60	0.3759544966276907
		% 80 ve % 80	0.425240234731947
		% 100 ve % 100	0.41969732435895146

Çizelge 7.24. PP30SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

<i>Numune</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)</i>	<i>Isı İletim Katsayıları (kort), (W/mK)</i>
PP30SG	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	0.5743802019509843
		% 40 ve % 40	0.5457910153723317
		% 60 ve % 60	0.5363694140367847
		% 80 ve % 80	0.49403485361973226
		% 100 ve % 100	0.49539314351365676

Çizelge 7.25. PP40SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

<i>Numune</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)</i>	<i>Isı İletim Katsayıları (kort), (W/mK)</i>
PP40SG	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	1.6217929463452665
		% 40 ve % 40	1.312722699531485
		% 60 ve % 60	1.5827231397278443
		% 80 ve % 80	1.4945728183190823
		% 100 ve % 100	1.4139044114614874

Çizelge 7.26. PP50SG termal iletkenlik verileri (40°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

<i>Numune</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)</i>	<i>Isı İletim Katsayıları (kort), (W/mK)</i>
PP50SG	40°C ve 10°C	% 20 ve % 20	3.364826859309026
		% 40 ve % 40	4.665613159093673
		% 60 ve % 60	3.44311024645691
		% 80 ve % 80	3.5936413154018108
		% 100 ve % 100	2.9627620797685563

Çizelge 7.27. PP50SG termal iletkenlik verileri (50°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

<i>Numune</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)</i>	<i>Isı İletim Katsayıları (kort), (W/mK)</i>
PP50SG	50°C ve 10°C	% 20 ve % 20	2.324441776944397
		% 40 ve % 40	2.204307693526613
		% 60 ve % 60	2.041032126894929
		% 80 ve % 80	1.88284403651902
		% 100 ve % 100	2.326885718173995

Çizelge 7.28. PP50SG termal iletkenlik verileri (60°C ve 10°C akışkan sıcaklığında)

<i>Numune</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Sıcaklıkları, (°C)</i>	<i>Sıcak ve Soğuk Akışkan Debileri, (%)</i>	<i>Isı İletim Katsayıları (kort), (W/mK)</i>
PP50SG	60°C ve 10°C	% 20 ve % 20	2.0180832219714597
		% 40 ve % 40	2.03058027167604
		% 60 ve % 60	1.973486540314427
		% 80 ve % 80	1.9222008504094832
		% 100 ve % 100	1.8479028708197696

8. DEĞERLENDİRME

Bu tezde, modifiye edilmiş grafen, sentetik grafit ve grafenin polimerik kompozit yapılar üzerindeki mekanik ve termal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Termal analizler olarak TGA, DSC, TMA, termal iletkenlik, erime akış hızı testleri ve mekanik testler olarak darbe, üç nokta eğilme ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Grafen yapısı dolayısı ile topaklaşmaya eğilimlidir bu nedenle kullanılacak grafen nanopullar öncelikle PDDA ile modifiye edilmiştir. Polipropilen içerisine ağırlıkça değişik oranlarda (%5-10-15-20) modifiye edilmiş grafen eklenmiş ve gelimat mikser ile homojen derişim elde edilmiştir. Sıcak-soğuk pres ile testler için numuneler üretilmiştir. Modifiye grafen takviyeli polimer kompozit numunelerin termal iletkenlik sonuçlarından modifiye grafenin takviye malzemesi olarak yetersiz olduğu görülmüştür. Bunun sebepleri üretim yöntemi veya ölçme yöntemine bağlı da olabilmektedir. Termal iletkenliğin daha fazla artırılması için farklı üretim yöntemi ve katkıları kullanılarak tek takviyeli (PP10SG, PP20SG, PP30SG, PP40SG ve PP50SG) ve iki takviyeli (PP50SG1.5G ve PP50SG3G) polimer kompozit numuneleri çift vidalı ekstrüzyon makinesi ile homojen karışımı sağlanarak 3mm uzunluğundaki peletler olarak üretilmiştir. Isıtmalı soğutmalı pres ve enjeksiyon makinesi ile elde edilen peletlerden test için numune ve ısı değiştirici plakalar üretilmiştir. Sentetik grafit ve grafen takviyeli polimer kompozitler için termal ve mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Üretilen ısı değiştirici test düzeneği ile termal iletkenlikleri ölçülmüştür.

Çalışma süresince gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonrasında elde edilen sonuçlar bu şekilde özetlenebilir:

- TGA sonuçlarına göre modifiye edilmiş grafen içeren numunelerde bozunma başlangıç sıcaklıkları, MG eklenince düşme eğilimi göstermiştir. Ancak maksimum bozunma sıcaklıkları ise yaklaşık %1.5 oranında da olsa bir artış görülmüştür. %20 MG eklenmesiyle saf homopolimer propilene kıyasla yaklaşık %6 oranında artış ile en yüksek maksimum bozunma sıcaklığı elde edilmiştir. Sentetik grafit içeren numunelerde en yüksek bozunma sıcaklığı %50 SG katkısı ile saf kopolimer propilene kıyasla yaklaşık %4 oranında artışla elde edilmiştir. Sentetik grafit ve grafen içeren numunelerde grafen katkısı, sadece %50SG içeren numunelerle kıyaslandığında bozunma sıcaklığını %1-2 oranında azaltmıştır. MG, SG ve grafen ile elde edilen termal iletken polimer kompozitlerin ısı kararlılığı artmıştır. Isıl bozunma daha yüksek sıcaklıklarda gözlemlenmiştir.

- DSC sonuçlarına göre MG, SG ve grafen eklenmesi ile erime sıcaklığında dikkate değer bir değişiklik görülmemiştir.
- TMA sonuçlarına göre modifiye edilmiş grafen içeren numunelerde, ortalama genleşme katsayıları düşme eğilimi göstermiştir. Ancak %5 MG içeren numunede %12 artış göstermiştir. Sentetik grafit içeren numunelerde %30 SG içeren numuneye kadar azalış göstermiştir. Ancak %40 ve %50 SG içeren numunelerde termal genleşme katsayıları sırasıyla yaklaşık olarak %40 ve %12 oranında PP'nin değerinden daha fazla çıkmıştır. Sentetik grafit ve grafen içeren numunelerde saf kopolimer propilene kıyasla ısıl genleşme katsayısı PP50SG1.5G için %30 daha az ve PP50SG3G için ise %18 daha fazla bulunmuştur.
- Erime akış hızı sonuçlarına göre sentetik grafit ve grafen içeren numunelerde, sentetik grafit ve grafenin eklenmesiyle erime akış hızı her biri için artmıştır. Karbon esaslı takviyelerin iyi bir yağlayıcı olma özelliğinden dolayı malzemenin daha iyi akmasını sağlamıştır.
- Çekme deneyi sonuçlarına göre sentetik grafit içeren numunelerde, sentetik grafit oranının artmasıyla polipropilenin elastisite modülünün arttırdığı ve maksimum çekme dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. En yüksek elastisite modülü saf propilenin elastisite modülünün yaklaşık 2.5 katı değerinde olan %50SG içeren kompozitte elde edilmiştir.
- 3 nokta eğilme deneyi sonuçlarına göre sentetik grafit içeren numunelerde, maksimum %40 SG içeren tüm kompozitlerin eğilme modülü artış göstermiştir. %50 SG oranında ise eğilme modülü azalmıştır. Eğilme dayanımı ise %10SG eklendiğinde maksimum değeri elde edilmiştir. %10 üzerindeki katkı oranlarında azalmaya başlamıştır.
- Darbe deneyi sonuçlarına göre sentetik grafit içeren numunelerde göre sentetik grafitin eklenmesiyle tüm analizlerde darbe dayanımını düşürmektedir. Karbon esaslı takviye olan sentetik grafit polipropileni sertleştirerek daha kırılğan bir malzeme haline getirmiştir. Sentetik grafit ve grafen içeren numunelerde saf polipropilen ile karşılaştırıldığında ise dayanımın yaklaşık %40 oranında azaldığı görülmüştür.

- Termal iletkenlik sonuçlarına göre modifiye edilmiş grafen içeren numunelerin termal iletkenlik değerlerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Sentetik grafen içeren numunelerde sentetik grafit takviyesinin artırılması termal iletkenliği düzenli bir şekilde artırmıştır. En yüksek termal iletkenlik %50 SG içeriği ile elde edilmiştir. Saf polipropilenin termal iletkenliğinin yaklaşık 30 katı bir değer bulunmuştur. Sentetik grafit ve grafen içeren numunelerde, grafenin sentetik grafit ile kullanımı sinerjik bir etki oluşturarak polipropilenin termal iletkenliğinin PP50SG1.5SG ve PP50SG3SG sırasıyla 35 ve 38 katı termal iletkenlik elde edilmesini sağlamıştır.



9.ÖNERİLER

Polimer malzemelerin termal iletkenliğinin artırılması için metal veya seramik parçacıkların yerine karbon esaslı parçacıkların kullanımının birçok üstünlüğünün olması bu tip takviyelerin önemini artırmıştır. Karbon atomları arasındaki bağ, nanoyapılar, kristalit yönlenme ve mikro yapıları gibi çeşitli özellikleri karbonu birçok uygulamada kullanılan eşsiz bir malzeme haline getirmiştir. Grafenin 2004 yılında keşfi birçok sektörde yeni bir dönem açmıştır. Deney sonuçlarından da görüldüğü üzere grafenin polimerlerin termal iletkenliğini kayda değer oranda artırmıştır. Ancak üretilen malzemenin geliştirilmesi için farklı polimer malzemeler, katkı oranları veya farklı yöntemlerin kullanımı ile çalışmalar yapılacaktır.

Yeni yapılacak olan çalışmalara verilebilecek öneriler aşağıda maddeler halinde listelenmiştir:

- Grafenin topaklaşma eğilimi nedeniyle polipropilen içerisinde homojen dağıtmak termal iletkenliğin artırılması için çok önemlidir. Bu nedenle grafen pullarının öncelikle yüzey modifikasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Yüksek termal iletkenliklerin eldesinde polimer kompozitlerin yapılarının kontrol edilmesi için yenilikler gerçekleştirilebilir (katkının yönlenmesi, katkıların topaklaşmaları nedeniyle özel dizayn vb.).
- Polipropilen içerisine sentetik grafit ve grafenin farklı yükleme seviyelerinde eklenmesiyle optimizasyonu gerçekleştirilebilir.
- Karbon esaslı polipropilen kompozitlerin işlenebilirliği incelenebilir.
- Kompozit içindeki sentetik grafit ve grafen yüzdesinin artışı işleme sorunlarına neden olabilir. En yüksek takviye içeriği ekstrude ve enjeksiyon kalıplama yapılarak belirlenebilir.
- Katkının boyut ve şeklinin kompozitin ısı iletkenliği üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Termal iletkenlik ölçüm yöntemi değiştirilerek değerler karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ametek, Polymer heat exchangers, <http://www.ametekfpp.com/products/industrialproducts/immersioncoilheatexchangers> (Erişim Tarihi: 7 Eylül 2017)

Arie, M. A., Shooshtari, A. H., Tiwari, R., Dessiatoun, S. V., Ohadi, M. M. and Pearce, J. M., 2016, Experimental characterization of heat transfer in an additively manufactured polymer heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 113:575–584pp.

Ashby, M. F., and Jones, D. R. H., 2008, Engineering materials 2: An introduction to microstructures, processing and design (3. ed., reprinted), Elsevier, Amsterdam.

Bar-Cohen, A., Rodgers, P. and Cevallos, J. G., 2008, Application of Thermally-Enhanced Thermoplastics to Seawater-Cooled Heat Exchangers, *5th European Thermal-Sciences Conference Proceedings Eindhoven*.

Belofsky, H., 1995, *Plastics: Product Design and Process Engineering*, reference book – Carl Hanser Verlag, Inc.

Berman R., 1976, *Thermal conduction in solids*. Oxford: Clarendon press.

Bondavalli P., 2017, *Graphene and Related Nanomaterials: Properties and Applications (Micro and Nano Technologies)*, Elsevier.

Botsis, J., Oerter, G. and Friedrich, K., 1996, Fatigue Fracture in Polypropylene with Different Spherulitic Sizes, ANTEC 1996, conference proceedings – Society of Plastics Engineers.

Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Majesté, J. C. and Géhin, E., 2005, Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11): 1545–1554pp.

Brown, M. E., 2001, *Introduction to Thermal Analysis Techniques and Applications*. Springer.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bujard P. and Ansermet J., 1989, Thermally conductive aluminium nitride-filled epoxy resin [for electronic packaging]. In: Proceedings of the SEMITHERM 1989, 126–30pp

Bujard P., 1988, Thermal conductivity of boron nitride filled epoxy resins: temperature dependence and influence of sample preparation. In: Proceedings of the I-THERM 1988, 41–9p.

Burger, N., Laachachi, A., Ferriol, M., Lutz, M., Toniazio, V. and Ruch, D., 2016, Review of thermal conductivity in composites: Mechanisms, parameters and theory, *Progress in Polymer Science*, 61:1–28pp.

Chanda M. and Roy S.K., 2006, *Plastics Technology Handbook*, Plastics Engineering, Taylor & Francis Group, Florida.

Chanda, M. and Roy, S. K., 2009, *Industrial polymers, specialty polymers, and their applications*, CRC Press, Boca Raton.

Chen, L., Li, Z., and Guo, Z.-Y., 2009, Experimental investigation of plastic finned-tube heat exchangers with emphasis on material thermal conductivity, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33: 922–928 pp.

Chen, X., Su, Y., Aydin, D., Reay, D., Law, R. and Riffat, S., 2016, Experimental investigations of polymer hollow fibre heat exchangers for building heat recovery application, *Energy and Buildings*, 125:99–108pp.

Chung, D.D.L., 2001, Materials for thermal conduction, *Applied Thermal Engineering*, 21:1593–1605pp.

Colarplast, Plastic heat exchangers, <http://www.calorplast-waermetechnik.de/en/applications/thermal-processes-in-the-chemical-industry/>, (Erişim Tarihi: 7 Eylül 2017)

Crompton, T., 2006, *Polymer reference book*, Smithers Rapra Technology, 724p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dhakate, S. R., Mathur, R. B., Sharma, S., Borah, M. and Dharmi, T. L., 2009, Influence of Expanded Graphite Particle Size on the Properties of Composite Bipolar Plates for Fuel Cell Application, *Energy & Fuels*, 23(2): 934–941 pp.

Davidson J., Oberreit, D., Wei Liu, X. and Mantell, S., 1999, Are Plastic Heat Exchangers Feasible for Solar Water Heaters Part 1: A Review of the Technology, Codes and Standards, and Commercial Products, Renewable and Advanced Energy Systems for the 21st Century, ASME, USA.

Davidson, J. and Mantell S., 1998, Use of polymers in liquid-to-liquid heat exchangers; Applied to low-cost solar water heating systems, *Task III Report*, University of Minnesota.

Deronzier, J. C. and Bertolini, G., 1997, Plate heat exchangers in liquid-crystal polymers, *Applied thermal engineering*, 17(8–10): 799–808pp.

Dobbs G.M., 2002, Plate type heat exchanger, US Patent Application No. 20020185266.

F. Mitch, G., Bruck, H. A., Bigio, D. I., Mudalamane, R. and Oliveira, P., 2003, Twin Screw Extrusion Processing Nanocomposites.

Fehrm M., Reiners W. and Ungemach M., 2002, Exhaust air heat recovery in buildings. *International Journal of Refrigeration*, 439-449 pp.

Fried, J. R., 1995, *Polymer Science and Technology*, Prentice Hall College Div., United States.

Gilbert, M., 2016, *Brydson's plastics materials*, MA: Elsevier, Boston.

Githens, R. E., Minor, W. R. and Tomsic, V. J., 1965, Flexible-Tube Heat Exchangers, *Chemical Engineering Progress*, 61: 55–62pp.

Grellmann, W., & Seidler, S. (Ed.), 2013, *Polymer testing* (2nd edition), Hanser Publishers, Munich.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gu J., Zhang Q., Dang J., Zhang J. and Yang Z., 2009, Thermal conductivity and mechanical properties of aluminum nitride filled linear low-density polyethylene composites, *Polym Eng Sci*, 49:1030–1034pp.

Gurdal Z, Haftka RT, and Hajela P., 1999, Design and optimization of laminated composite materials, Wiley, NewYork.

Han, Z., and Fina, A., 2011, Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review, *Progress in Polymer Science*, 36(7): 914–944pp.

Harper, C. A., 2000, Modern plastics handbook, McGraw-Hill, New York.

Hart, G. K., Lee, C-O. and Latour, S. R., 1979, Development of Plastic Heat Exchangers for Ocean Thermal Energy Conversion, DSS Engineers, DSS Engineers, Inc., Florida.

Höhne, G. W. H., Hemminger, W. F. And Flammersheim, H.-J., 2003, *Differential Scanning Calorimetry*.

Hussain, A. R. J., Alahyari, A. A., Eastman, S. A., Thibaud-Erkey, C., Johnston, S. and Sobkowicz, M. J., 2017, Review of polymers for heat exchanger applications: Factors concerning thermal conductivity, *Applied Thermal Engineering*, 113:1118–1127.

Ishida, H. and Rimdusit, S., 1998, Very high thermal conductivity obtained by boron nitride-filled polybenzoxazine, *Thermochimica Acta*, 320(1):177–186pp.

James E., M., 1999, Polymer data handbook, Oxford University Press, Inc.

Jasuja K. and Berry V., 2009, Implantation and growth of dendritic gold nanostructures on graphene derivatives: electrical property tailoring and Raman enhancement, *ACS nano*, 3(8):2358-2366pp

Karian, H. G., 2003, Handbook of polypropylene and polypropylene composites, Marcel Dekker, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Katz, H.S. and Milewski, J.W., 1987, Handbbok of Fillers for Plastics, Van Nostand Reinhold, New York.

Kreith, F., and Goswami, D. Y., 2007, Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy. CRC Press.

Krupa I. and Chodák I., 2001, Physical properties of thermoplastic/graphite composites, *Eur Polym J*, 37:2159–2168pp.

Krupa, I., Cecen, V., Boudenne, A., Prokeš, J. and Novák, I., 2013, The mechanical and adhesive properties of electrically and thermally conductive polymeric composites based on high density polyethylene filled with nickel powder, *Materials & Design*, 51:620–628pp.

Kuppan, T., 2000, Heat exchanger design handbook, Marcel Dekker, New York, 1119p.

Kutz, M., 2002, Handbook of materials selection, Wiley, New York.

Kutz, M., 2017, Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials, and Applications. Elsevier/WA, William Andrew is an imprint of Elsevier.

Lee, J., and Jeon, S., 2012, The performance of compact polymer heat exchanger using specialized test facility, *HEFAT 2012*.

Leung, SN., Muhammad, O.K. and Chan, E., 2013, Analytical modeling and characterization of heat transfer in thermally conductive polymer composites filled with spherical particulates, *J Compos B Eng*, 45: 43–49pp.

Li A., Zhang C., and Zhang Y.-F., 2017, Thermal Conductivity of Graphene-Polymer Composites: Mechanisms, Properties, and Applications, *Polymers*, 9(9): 437p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Liu, K., Zhang, J., Yang, G., Wang, C. and Zhu, J.-J., 2010, Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin based on poly(diallyldimethylammonium chloride) functionalized graphene sheets/room temperature ionic liquid composite film, *Electrochemistry Communications*, 12(3):402–405pp.

Liu, W., Zhang, J., Li, C., Tang, L., Zhang, Z. and Yang, M., 2013, A novel composite film derived from cysteic acid and PDDA-functionalized graphene: Enhanced sensing material for electrochemical determination of metronidazole, *Talanta*, 104:204–211pp.

Luckow, P., Bar-Cohen, A., Rodgers, P. and Cevallos, J., 2010, Energy efficient polymers for gas-liquid heat exchangers, *Journal of Energy Resources Technology*, 132:021001.

Ma, X., Chen, J., Xu, D., Lin, J., Ren, C. and Long, Z., 2002, Influence of processing conditions of polymer film on dropwise condensation heat transfer, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 45:3405–3411 pp.

Malik T. and Bullard C. W., 2005, Suitability of Polymer Heat Exchangers for Air Conditioning Applications, *Air Conditioning & Refrigeration Center*.

Mamunya, Y. P., Davydenko, V., Pissis, P. and Lebedev, E. V., 2002, Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders. *European Polymer Journal*, 38:1887–1897pp.

Miller, D., Holtz, R. E., Koopman, N., Marciniak, T. J., and MacFarlane, D. R., 1979, Plastic Heat Exchangers, A State-of-the-Art Review. Illinois.

Niyogi, S., Bekyarova, E., Itkis, M. E., McWilliams, J. L., Hamon, M. A., & Haddon, R. C., 2006, Solution Properties of Graphite and Graphene, *Journal of the American Chemical Society*, 128(24): 7720–7721pp.

Novoselov KS, Geim AK, Morozov S, Jiang D, Zhang Y, Dubonos Sa, et al., 2004, Electric field effect in atomically thin carbon films *Science* 306(5696) 666-69.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. A. And Firsov, A. A., 2004, Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306: 666-69pp.

Odian, G., 2004, Principles of Polymerization, Wiley- Interscience, Hoboken, New Jersey.

Ouederni, M. and Phillips, P.J., 1996, Effect of a Nucleating Agent on the Fracture Toughness of Isotactic Polypropylene, *ANTEC 1996 conference proceedings – Society of Plastics Engineers*.

Park, S.-J and Seo, M.-K., 2011, Interface Science And Composites (1st ed), Academic Press, 852p.

Portnoy, R.C., 1994, Polypropylene for Medical Device Applications, *Medical Plastics and Biomaterials*, 1(1).

Poveda, R. L., and Gupta, N., 2016, Carbon Nanofiber Reinforced Polymer Composites, Cham: Springer International Publishing.

Prox, M. and Ehrenstein, G.W., 1993, Self-Reinforcement of Polypropylene by Injection Molding, *ANTEC 1993 conference proceedings – Society of Plastics Engineers*,

Reay, D. A., 1989, The Use of Polymers In Heat Exchangers, *Heat Recovery Systems & CLIP*, 9:209-216 pp.

Reay, D.A., Polymer Heat Exchangers: Exploitation of the Technology—A Discussion of Some Options, David Reay & Associates, Newcastle, UK, 2000.

Robinson, F., Cevallos, J. G., Bar-Cohen, A. and Bruck, H., 2011, Modeling and validation of a prototype thermally-enhanced polymer heat exchanger, *Proceedings of the ASME international mechanical engineering congress and exposition*, 597–606 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Rusu, M., Sofian, N. And Rusu, D., 2001, Mechanical and thermal properties of zinc powder filled high density polyethylene composites, *Polymer Testing*, 20(4):409–417pp.

Sarikanat, M., Sever, K., Erbay, E., Güner, F., Tavman, I., Turgut, A., Seki, Y. and Özdemir, I., 2011, Preparation and mechanical properties of graphite filled HDPE nanocomposites. *Archies of Materials Science and Engineering*, 50(2): 120–124 pp.

Schweitzer, P. A., 2000, Mechanical and corrosion-resistant properties of plastics and elastomers, Marcel Dekker, New York.

Shah, R. K. and Sekulić, D. P., 2003, Fundamentals of heat exchanger design, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 941p.

Shah, R. K., 1981, Classification of heat exchangers, in Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, (S. Kakac, A. E. Bergles, and F. Mayinger, eds.), Hemisphere, Washington, D.C., 9-46 pp.

Shah, R. K., 2006, Advances in Science and Technology of Compact Heat Exchangers, *Heat Transfer Engineering*, 27(5):3–22pp.

Shah, R. K., and Webb R. L., 1983, Compact and enhanced heat exchangers, in Heat Exchangers: Theory and Practice.

Siginer, D. A., Kee, D. D. and Chhabra, R. P., 1999, *Advances in the Flow and Rheology of Non Newtonian Fluids*. Elsevier Science.

Song, D., Xia, J., Zhang, F., Bi, S., Xiang, W., Wang, Z., ... Xia, L., 2015, Multiwall carbon nanotubes-poly (diallyldimethylammonium chloride)-graphene hybrid composite film for simultaneous determination of catechol and hydroquinone, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 206:111–118pp.

Sun, W., Liu, W. and Hu, Y., 2008, FTIR analysis of adsorption of poly diallyl-dimethyl-ammonium chloride on kaolinite, *Journal of Central South University of Technology*, 15(3):373–377pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

T'Joen, C., Park, Y., Wang, Q., Sommers, A., Han, X. and Jacobi, A., 2009, A review on polymer heat exchangers for HVAC&R applications, *International Journal of Refrigeration*, 32(5):763–779pp.

Tadmor, Z. and Gogos, C. G., 2006, Principles of polymer processing (2nd ed., Rev. ed), Wiley-Interscience, Hoboken, N.J.

Tamashausky, A. V., 1998, Graphite, *American Ceramic Society Bulletin*, 77(6):102–104pp.

Țucureanu, V., Matei, A. and Avram, A. M., 2016, FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(6):502–520pp.

Tung V.C., Allen M.J., Yang Y. And Kaner R.B., 2009, High-throughput solution processing of large-scale graphene, *Nature nanotechnology*, 4(1):25-29pp.

Vadivelu, M. A., Kumar, C. R., and Joshi, G. M., 2016, Polymer composites for thermal management: a review, *Composite Interfaces*, 23(9).

Wang D, Choi D, Li J, Yang Z, Nie Z, Kou R, et al., 2009, Self-assembled TiO₂–graphene hybrid nanostructures for enhanced Li-ion insertion, *ACS nano*, 3(4):907-14pp.

Weber E.H., Clingerman M.L. and King J.A., 2003, Thermally conductive nylon6,6 and polycarbonate based resins. I.Synergistic effects of carbon fillers, *J Appl Polym Sci*, 88:112–22pp.

Wharry, S. R., 2001, Fluoropolymer heat exchangers, *Metal Finishing*, 99:760–771pp.

Xanthos, M., 2010, Functional Fillers for Plastics. John Wiley & Sons.

Xu, Y., Chung, D. D. L. and Mroz, C., 2001, Thermally conducting aluminum nitride polymer-matrix composites. Composites Part A: Applied science and manufacturing, 32(12):1749–1757pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yu, S., Hing, P. and Hu, X., 2002, Thermal conductivity of polystyrene $\pm$ aluminum nitride composite, *Compos Part A: Appl. Sci. Manuf.* 33:289–292pp.

Zaheed, L. and Jachuck, R. J. J., 2004, Review of polymer compact heat exchangers, with special emphasis on a polymer film unit, *Applied Thermal Engineering*, 24(16):2323–2358 pp.

Zaheed, L., Jachuck, R.J.J., 2004, Review of polymer compact heat exchangers, with special emphasis on a polymer film unit, *Applied Thermal Engineering* 24:2323–2358 pp.

Zheng Q., Li Z., Yang J. And Kim J., 2014, Progress in materials science graphene oxidebased transparent conductive films, *Prog. Mater. Sci.* 64:200–247pp.

Zhu C., Guo S., Zhai Y. and Dong S., 2010, Layer-by-layer self-assembly for constructing a graphene/platinum nanoparticle three-dimensional hybrid nanostructure using ionic liquid as a linker, *Langmuir*, 26(10):7614-18pp.

Zhu H., Xu Z., Xie D. and Fang Y., 2018, Graphene: Fabrication, Characterizations, Properties and Applications, Elsevier Science & Technology Books, 272p.

Zohuri, B., 2017, Compact Heat Exchangers. Springer International Publishing, New Mexico, 559p.

ÖZGEÇMİŞ

1991 doğum tarihli Aysun GÜVEN, ilk ve orta öğrenimini İzmir’de tamamladıktan sonra 2010 yılında kayıt yaptırdığı Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2014 senesinde bitirmiştir. 2015 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2016 yılından itibaren Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

