T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Enjeksiyonla Kalıplama İçin Polipropilen – Fındık Kabuğu Kompozitlerinin Eriyik Harmanlama İle Hazırlanması

Pasha SAFAROV

DANIŞMAN
Doç. Dr. Tuncer YALÇINYUVA

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Programı

Şubat, 2023

Bu çalışma, 20.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimyasal Teknolojiler Programı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Tuncer YALÇINYUVA
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ali DURMUŞ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Yeşim Müge ŞAHİN
İstanbul Arel Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Pasha SAFAROV

(İmza)

BÜTÇE DESTEKLERİ

Enjeksiyonla Kalıplama İçin Polipropilen – Fındık Kabuğu Kompozitlerinin Eriyik Harmanlama İle Hazırlanması

Bu tez çalışmasını MTN KALIP SANAYİ LİMİTED ŞİRKETİ sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Proje çalışması sürecinde bana yardım eden, benim öğretmenim ve danışmanım olan sayın Doç.Dr.Tuncer YALÇINYUVA-ya, laboratuvar işlerimde bana gerekli destekde bulunan sayın Prof.Dr.Ali DURMUŞ-a, Öğr.Gör.Dr.Hüseyn Çağdaş ASLAN-a, Öğr.Dr. Ehsan SANATTALAB-a ve Araş.Gör.Oğuz YÜCEL-e teşekkürumü arz etmek isterim.

Şubat 2023 **Pasha SAFAROV**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL BİLGİLER **3**
2.1. KOMPOZİTLER 3
2.1.1. DİĞER KOMPOZİTLER 6
2.1.2. DOĞAL KOMPOZİTLER 9
2.1.3. FINDIK KABUĞU DOLGULU KOMPOZİTlER 11
2.1.4. DOĞAL KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI 13
2.1.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLAR 14
2.2. TAKVİYE MALZEMELERİ 15
2.3. MATRİSLER 18
2.4. UYUMLAŞTIRICILAR 20
2.5. POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN MAKİNELER 21
2.5.1. EKSTRÜDER 21
2.6. ENJEKSİYONLA KALIPLAMA 24
2.7. KARIŞTIRICILAR 27

2.8. ÖĞÜTÜCÜLER 30
2.9. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 32
3. MALZEME VE YÖNTEM 38
3.1. FINDIK KABUĞU (FK) 38
3.2. POLİPROPİLEN (PP) 39
3.3. POLİPROPİLENLE AŞILANMIŞ MALEİK ANHİDRİT (PP-g-MA) 42
3.4. KOMPOZİTLERDE KULLANILACAK MAKİNE VE TEST CİHAZLARI. 43
3.5. KARIŞTIRICI VE KALIPLAMA CİHAZI 43
3.5.1. LABORATUVAR MİKRONİZE ÖĞÜTÜCÜ VE ELEKLER. 45
3.5.2. KURUTUCU 46
3.5.3. DSC TEST CIHAZI (Diferensial Taramalı Kalorimetre) 47
3.5.4. YOĞUNLUK TESTİ 49
3.5.5. TGA TEST CİHAZI (Termogravimetrik analiz) 50
3.5.6. ÇEKME-KOPMA TEST CİHAZI 53
3.5.7. SU ABSORBSİYON TESTİ 54
3.6. FINDIK KABUĞUNUN ÖĞÜTÜLMESİ, KURUTULMASI, ELENMESİ VE AYRIŞTIRILMASI 54
3.7. POLİMER KOMPOZİTİN HAZIRLANMASI 55
4. BULGULAR 57
4.1. ELEK ANALİZİ 57
4.2. YOĞUNLUK TESTİ 60
4.3. DSC ANALİZİ 61
4.4. TGA ANALİZİ 63
4.5. SU ABSORBSİYONU TESTİ 65
4.6. ÇEKME-KOPMA TESTİ 68
5. TARTIŞMA SONUÇ 70
5.1. HAMMADDELERİN ISIL ANALİZİ 70
5.2. YOĞUNLUK TESTİ 71
5.3. ÖĞÜTME VE ELEK ANALİZİ 71
5.4. SU ABSORBSİYONU 72
5.5. DSC ANALİZİ 72
5.6. ÇEKME-KOPMA DAYANIMI 73
KAYNAKLAR 75
ÖZGEÇMİŞ 83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1: Herhangi takviye elemanı içerern kompozit malzemenin kesit görünüşü. 5

Şekil 2. 2: Monofilament, ince elyaf ve partikülat takviyeli MMC şematik görünümleri. 7

Şekil 2. 3: Bazı polimer, metal ve seramik matrislerin ısıl dayanımı.....8

Şekil 2. 4: Doğal kompozit malzemeleri. 10

Şekil 2. 5: Aramit elyafın kullanım alanları. 17

Şekil 2. 6: Çift vidalı ekstruder tipleri. 22

Şekil 2. 7: Farklı polimer malzemeleri için farklı vida tipleri. 23

Şekil 2. 8: Klasik enjeksiyon kalıp. 25

Şekil 2. 9: Enjeksiyon makinenin ana kısımları. 26

Şekil 2. 10: V -koni karıştırıcı ve çift koni karıştırıcı. 28

Şekil 2. 11: Dikey tek şaftlı karıştırıcı / şerit karıştırıcı. 29

Şekil 2. 12: Genel öğütücüler. 31

Şekil 3. 1: Fındık kabuğu (Hazelnut shell)…….....38

Şekil 3. 2: Polipropilen. 39

Şekil 3. 3: Maleik anhidrit aşılanmış Polipropilen. 42

Şekil 3. 4: KökBir marka, RTX-M40 model. 43

Şekil 3. 5: Gülnar çift kademeli pres makinası (15 ton). 44

Şekil 3. 6: Demsan öğütücü ve Retsch elek seti. 45

Şekil 3. 7: Laboratuvar kurutucusu. 46

Şekil 3. 8: DSC (Hitachi marka, ExStar DSC 6200 model). 47

Şekil 3. 9: DSC grafik tanımı. 48

Şekil 3. 10: Piknometre (10 ml). 49

Şekil 3. 11: TGA test cihazı. 51
Şekil 3. 12: Jinan Instruments marka, WDW-20 model (20 kN). 53
Şekil 3. 13: FK/PP oranına göre değişen numuneler. 55
Şekil 3. 14: Tanecik boyutu farkına göre numuneler. 56
Şekil 3. 15: Su absorbsiyonu için dolgu/matris oranına göre özel kalıplanmış numuneler..... 56
Şekil 4 1: Tanecik boyutlarına göre dağılım oranları……...57
Şekil 4 2: PP/FK oranlarına göre yoğunluk grafiki. 60
Şekil 4 3: Erime eğrisinin termal sıcaklıklarının ve entalpisinin hesaplanma yöntemi. 62
Şekil 4 4: Dolgu/Matris oran farkına göre birinci erime grafiki. 62
Şekil 4 5: Fındık kabuğunun termogravimetrik analizi. 63
Şekil 4 6: Polipropilenin termogravimetrik analizi. 64
Şekil 4 7: PP/FK oranına göre su absorbsiyon grafiki 66
Şekil 4 8 : Su absorbsiyonu için kullanılan malzemeler 66
Şekil 4 9 : Su banyosu cihazı ve içindeki numuneler 67
Şekil 4 10 : Suya daldırılmış numuneler 67
Şekil 4 11 **:** Çekme-kopma testinin yapılma yöntemi 68
Şekil 4 12: Numunenin (PP) kopma anı 68

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1 : CMC takviye malzemeleri. 6

Tablo 2. 2 : Eurotec şirketinin ve rakibinin yapdığı DKM özellikleri. 12

Tablo 2. 3 : Cam elyafların özellikleri. 16

Tablo 2. 4: Uyumlaştırıcılar ve onların polimer çiftleri. 20

Tablo 2. 5 : Ekstruder ve Enjeksiyonla kalıplama makinelerinin karşılaştırılması. 26

Tablo 3.1 : PP (enjeksiyonla kalımplama için özel) özellikleri (TOSAF SAN L.T.D). 40

Tablo 3.2 : Polipropilen aşılanmış maleik anhidrit uyumlaştırcısının özellikleri. 42

Tablo 3.3 : Kurutucunun özellikleri. 46

Tablo 4 1: Tanecik boyutuna göre dağılım oranları 57

Tablo 4 2 : Kullanılan malzemelerin miktarı. 58

Tablo 4 3: Karıştırma rejimi. 58

Tablo 4 4 : Kullanılan malzemelerin oranı. 59

Tablo 4 5 : Oranlara göre numunelerin yoğunluğu. 60

Tablo 4 6 : Oranlara göre birinci erime verileri. 61

Tablo 4 7: PP/FK oranına göre su absorbsiyonu 65

Tablo 4 8: FK/PP oran farkına göre mekanik özellikler 69

Tablo 4 9 : Tanecik boyutu farkına göre mekanik özellikler 69

Tablo 4 10 : Uyumlaştırıcı farkına göre mekanik özellikler 69

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
SiC	: Silisiyum Karbür
C	: Karbon
Al2O3	: Alminyum Oksit
Al2O3-SiO2	: Mullit veya Alminyum Silikat
ρ	: Yoğunluk (gr/cm3)
m0	: Kurutma kabı ve kurutma kabına konulan toz partiküllerin ağırlığı (gr)
m1	: Kurutma işlemi sonucu oda sıcaklığında alınan sabit tartım (gr)
m2	: Toz partikül ağırlığı (gr)
µm	: Mikron
%	: Oran (faiz)
H_2O	: Su
ΔH_m	: Erime entalpi deyeri (J/g)
T_{on}	: Başlangıc erime sıcaklığı (℃)
T_{off}	: Son erime sıcaklığı (℃)
T_{tepe}	: Maksimum erime sıcaklığı
ε	: Uzama (%)
σ	: Gerilme (MPa)
E	: Yung modülü

Kısaltmalar	Açıklama
CMC	: Seramik Matrisli Kompozit
DSC	: Diferensiyel Taramalı Kalorimetre
TGA	: Termogravimetrik Anali
FK	: Fındık Kabuğu
MMC	: Metal Matrisli Kompozit
PMC	: Polimer Matrisli Kompozit
FT-IR	: Fourier İnfrared Spektroskopi
MA-g-PP	: Maleik anhidrit aşılanmış Polipropilen
PP	: Polipropilen
PLA	: Poli-laktik asid
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
EEA	: Etilen-etakrilat
ABS	: Akril-butadien-stren
HDT	: Isı sapma sıcaklığı
ELO	: Ketan tohumu yağı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enjeksiyonla Kalıplama İçin Polipropilen – Fındık Kabuğu Kompozitlerinin Eriyik Harmanlama İle Hazırlanması

Pasha SAFAROV

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Programı

Danışman : Doç. Dr. Tuncer YALÇINYUVA

İyirmici yüzyılın sonlarından günümüze kadar sanayide doğal dolgu malzemelerinin polimer kompozitlerde kullanımı gitdikce artış göstermektedir. Bu alanda fındık kabuğu, hindistan cevizi kabuğu, ceviz, yer fıstığı ve benzer doğal dolgular araştırma konusudur. Üretilmekte olan bu ürünler kısmen olsa da biyolojik bozunabilir olduğu için çevreye çok etkisi yoktur. Fındık kabuğu gibi dahil diğer buna benzer kuruyemişlerin kabukları da gıda sektöründe endüstriyel atık olduğu için yenilenebilir kaynak gibi kullanılması söz konusudur. Sentetik polimerlerin üretilmesi maliyeti her giden gün artığı için doğal kompozitlerin kullanılması daha makuldür ve plastik ürünlerde maliyet azaltılmasıyla sonuçlanacaktır.

Doğal kompozit ürünümüz alır almaz öncelikle, malzemenin nem oranı, yoğunluğu, ısıl dayanımı gibi özellikleri test edilecektir. Fındık kabuğunun dolgu olarak polimer kompozitlerde kullanılabilmesi için uygun bir şekilde tanecik boyutunda ayarlanması gerekmektedir. Fındık kabuğu uygun laboratuvar öğütücülerde öğütülmesi, aynı zamanda ürünün tanecik büyüklüğünün dağılım oranının karakterize edilmesi gerekmektedir.Fındık kabuğu neme

hassas bir malzeme olduğunu bilerek, kullanılmadan önce kurutma işlemleri yapılmalı ve içerdiği izafi nemin giderilmesi gerekmektedir. Yapısı polimer olan poliolefinler (, polipropilen polietilen vb.), epoksi reçineler, poliesterleri doğal dolgulu kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Yapılacak projede polimer matris gibi polipropilen kullanılacaktır.

Fındık kabuğu önce kurutulmuş sonra üç farklı tanecik boyutlarında öğütülüp elenmiştir. Hazır halde olan dolgu maddesi TOSAF SAN L.T.D. şirketi tarafından temin edilen, injeksiyon kalıplama için özel olan içeriği %30 talk olan termoplastik polipropilenle güçlendirilip, uyumlaştırıcı (% 0,6 ve 8-10) maleik anhidrit aşılanmış polipropilenle (PP-g-MA) ve uyumlaştırıcı kullanmadan belirli basınç ve sıcaklık altında karıştırıcıda karıştırılarak pres makinasında şekillendirilmiştir. Elde edilen nihayi ürün mekanik özellikleri (çekme-kopma), su absorpsiyonu,yoğunluk,termogravimetrik analiz (TGA),diferensiyel taramalı kalorimetre (DSC) testi yapılmıştır.Alınan sonuçlara göre, ürünün mekanik özellikleri, yoğunluğu azalmış, su absorblaması giderek artmıştır.TGA ile kullanılan malzemelerin (fındık kabuğu ve polipropilen) bozulma sıcaklıkları, DSC ise farklı PP/FK oranlarında ve tanecik boyutlarında erime değerleri analiz edilmiştir.]

Şubat 2023 , 83 sayfa.

Anahtar kelimeler: Fındık Kabuğu, Polipropilen, Enjeksiyonla Kalıplama,MA-g-PP

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

Preparation of Polypropylene – Hazelnut Shell Composites by Melt Blending for Injection

Pasha SAFAROV

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Chemical Engineering

Chemical Technologies

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Tuncer YALÇINYUVA

Since the end of the twentieth century, the use of natural filling materials in polymer composites has been increasing in industry. In this area, hazelnut shell, coconut shell, walnut, peanut and similar natural fillings are the subject of research. Although these products are partially biodegradable, they do not have much impact on the environment. Since the shells of other similar nuts, including hazelnut shells, are industrial waste in the food sector, they can be used as a renewable resource. Since the cost of production of synthetic polymers is increasing day by day, it is more reasonable to use natural composites and will result in cost reductions in plastic products.

In this thesis, hazelnut shell filled polypropylene based composite materials were prepared and their properties were investigated. In the hazelnut shell, which is used as a natural composite filling, first of all, the properties of the material such as moisture content and thermal resistance were tested. In order for the hazelnut shell to be used as a filler in polymer composites, it must be adjusted to the particle size appropriately. It is necessary to grind the hazelnut shells in

suitable grinders, and also to characterize the particle size distribution of the product. Knowing that hazelnut shell is a moisture sensitive material, drying processes should be done before use and the moisture it contains must be removed. Polyolefin polymers (polyethylene, polypropylene, etc.), epoxy resins, polyesters are used in the production of natural filled composites. In the study presented with this thesis, polypropylene was used as the polymer matrix.

The hazelnut shells were first dried and then ground and obtained in three different particle size ranges in the shaker sieve system. The raw hazelnut shell was supplied by TOSAF SAN L.T.D. company. Composite samples are prepared by adding hazelnut shell into polypropylene containing %30 talc produced for injection molding, adding %0.6 and 8-10 maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) as a compatibilizer, or without using compatibilizers by mixing in a melt mixer system under a certain temperature. Test specimens were shaped in hot and cold presses using metal molds. The mechanical properties of the final products were examined by the tensile test, water absorption and density tests were also carried out. Thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) test were performed for raw material polypropylene and hazelnut shell. The effects of hazelnut shell ratio and particle size in composites were investigated. In addition, how different nutshell ratios and particle sizes of the obtained composites affect the melting behavior of the material was investigated by DSC analysis.]

February 2023, 83 pages.

Keywords: Hazelnut Shell, Polypropylene, Injection Molding, MA-g-PP

1. GİRİŞ

Son zamanlarda termoplastik ve doğal dolgu malzemelerin karışımı ile üretilen polimer esaslı kompozit ürünler giderek artış göstermektedir. Farklı mekanik,ısıl ve diğer özelliklere örneğin,düşük ve hafif maliyete,kolay kullanıma, iyi yalıtkan ve akustik özelliğe sahip olan bu kompozitler sanayide başarılı bir şekilde kullanılmakta ve öğrenilmektedir. Pazarlar ve uygulamalar açısından, özellikle otomotiv endüstrisi (%30), yapı ve inşaat endüstrisinin (%25) bu tür malzemeleri kullanmaya ilgi duyduğunu ifade edilmiştir. Günümüzde, tüketici talep ve beklentilerine ilişkin teknolojik gelişme, küresel kaynaklara yönelik talepleri artırmaya devam etmekte ve bu da önemli malzeme mevcudiyeti ve çevresel sürdürülebilirlik sorunlarına yol açmaktadır [1]. Yeni bileşimler ve süreçler yoğun bir şekilde araştırıldıkça doğal dolgulu malzemelerin kullanım alanları daha fazla olacaktır. Bunun bazı nedenleriden biri sentetik dolgulu ham malzemerin ve onların üretilmesinin pahalıya mal olması, geridönüşümün olmaması veya zaman almasıdır. Bu sebeplerden dolayı sentetik dolgu takviyeli kompozitler yerini bir çok alanda doğal dolgulu kompozitlere bırakmıştır. Termoset ve termoplastik polimerler içeren kompozitlerde doğal (fındık kabuğu,ceviz kabuğu,hindistan cevizi kabuğu,kestane veb.) malzemelerin kullanılması çevresel açıdan olumlu faydalar sağlar [2]. Her yıl milyonlarca ton kuruyemişlerin kabuklarını çevreye zarar vermeden ve kompozit atıkların geridönüşümü sağlanabilmesi özelliği kullanım oranının dünyada önceki yıllara karşın daha da çok olduğunu görebiliriz[3].

Takviye gibi doğal ürünler talaş,elyaf ve toz olarak %5-90 oranında kullanılmaktadır. En çok kullanım alanına sahip ahşap-kompozit ilk olarak ABD'de üretilmiştir. Daha sonralar diğer ülkelerde de örneğin, Türkiye'de mevcut kurulu üretim kapasitesi 20 bin tona, satış hacmi ise 10 bin tona yaklaşmıştır[4]. Ahşap kompozit pazarında üretici firma sayısı ise her yıl artarak Türkiy'de 12'ye ulaşması da gözden kaçmamıştır. Türkiye Kompozit Sanayicileri Derneği'nin raporuna göre "dünyadaki kompozit sektörü 2016-2021 yılları arasında hacimsel olarak yılda yüzde 4, parasal olarak da yüzde 5 büyüyecektir". 2021 yılında küresel kompozit üretiminin 12,9 milyon tona, parasal değerinin ise 103 milyar dolara (94 milyar Euro) ulaşacağı tahmin ediliyor.(AIMSAD)

Türkiyede Karadeniz,Ordu,Trabzon bölgelerinde her yıl tonlarca fındık yetiştirilmektedir. Uluslararası Kuruyemiş ve Kuru Meyve Konseyi'nin (INC) en son verilerine göre, 2021/22'deki küresel mahsulün, geçen yıla göre %8 artışla 1,16 milyon ton fındık kabuğu olması bekleniyor. Türkiye üretimini 790.000 mt'a yükseltebilir ki, bir önceki sezona göre %23 daha fazla ve tartışmasız lider, onu 64.500 mt ile ABD ve 60.000 mt ile Azerbaycan izliyor. Bundan başka Türkiye üretimini %50 oranında artırarak, Gürcistan'ı en önemli üretici ülkeler arasında üçüncü sıradan çıkarmıştır [5].

Fındık kabuğu, gıda endüstrisinin bir yan ürünüdür. Lignoselülozik esaslı olduğu için onun dolgu malzemesi olarak polimer matrisli ürünlerde kullanılması düşünülmüştür. Endüstriyel bir atık olduğu için uygun maliyetlidir ve yükseltilebilir fakat kullanılması bir okadar da zordur. Neme karşı çok hassas olan fındık kabuğu karanlık gün ışığı görmeyen kuru biryerde stoklanmalıdır. Nem oranı %3,3-10 optimal aralığında olması çalışmalarda yararlı polimer kompozit ürünü ortaya çıkarmaya ve istenilen kalitede testleri yapmaya yardımcı olacaktır. Ayrıca bu dolgu, polimer kompozitlere ahşap benzeri bir görünüm sağlayabilen bir toz şeklinde istenilen oranda öğütülebilir. Farklı oranlarda kullanılanılabilen fındık kabuğu kompozit ürününün mekanik özelliklerinde, ısıl dayanımında su absorbsiyonu ve diğer testlerinde farkedilebilir değişiklikler sağlanabilir.

Yapılan çalışmada Karadnenizden getirtilen fıdnık kabuğu kurutulup,öğütüldükten sonra termoplastik polipropilen ve uyumlaştırıcı (MA-g-PP) kullanılarak ekstruderde belirli basınç ve sıcaklık aralığında karıştırılıp şekillendirilir. Hazır ürünün (Fındık kabuğu-PP kompozit materyal) fiziksel, ısıl mekanik özellikleri test edilir.

2. KAVRAMSAL BİLGİLER

Bu bölümde kompozit tanımı onların karakterizasyonu onların kullanım alanları, avantaj ve dezavantajlarına, aynı zamanda kullanılan malzemelere (doğal ve sentetik dolgu maddeleri,termoset ve termoplastik polimerler,uyumlaştırıcılar), onların fiziksel ve kimyasal özelliklerine kullanım alanlarına, kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan makineler (ekstruder,injeksyon kalıplama,öğütücüler, karıştırıcılar) ait genel bilgilere yer verilmiştir.

2.1. KOMPOZİTLER

İki veya daha fazla farklı kimyasal, fiziksel, biyolojik özelliklere sahip malzemenin birleştirilmeşsi sonucu orataya çıkan ürüne kompozit denir. Kompozit tanımını yapmadan önce kısa bir tarihine gözatalım.

Antik Çağ. Kompozit malzemenin en eski kullanımlarından biri, MÖ 3400 civarında eski Mezopotamyalılar tarafından, kontrplak oluşturmak için ahşap şeritleri farklı açılarda yapıştırdıkları zamana dayanır. “Kompozit” bina inşaatı kavramı eski zamanlardan beri var olmuştur. Dünyanın her yerindeki medeniyetler, çamur/saman ve ahşap/kil gibi konutların imalatında çevrelerindeki ortamın temel unsurlarını kullanmışlardır. “Tuğlalar” öreğin,çamur ve samandan yapılmıştır ve hala yapılmaktadır[6].

12. yüzyıl. Moğol savaşçılar rakiplerinden daha hızlı ve daha güçlü okçuluk yayları yapmak için kompozit malzemeler (bambu, ipek, sığır tendonları ve boynuzları ve çam reçinesi) kullandılar. Gerginlik (dış) tarafına tendonları ve bir bambu çekirdeği üzerine yayın sıkıştırma (iç) tarafına boynuz tabakalarını yerleştirirler. Yapıyı ipekle sıkıca sarmış ve çam reçinesi ile mühürlemişlerdir[6].

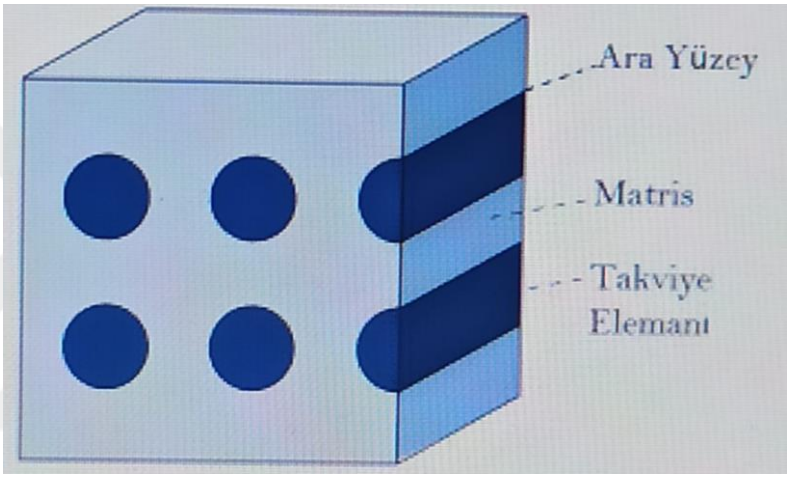
20 ve 21. yüzyıl.Belçika doğumlu ABD'li kimyager Leo Hendrik Baekeland, 1907'de ilk sentetik reçinelerden biri olan Bakalit'i yaratmasıyla modern kompozit çağını başlattı. Reçine son derece kırılgandı, ancak Baekeland onu selülozla birleştirerek yumuşatabileceğini ve güçlendirebileceğini buldu. Bakalit'in ilk ticari kullanımı 1917'de Rolls Royce otomobilleri için vites topuzları yapmaktı [7]. 1920'ler ve 1930'larda yeni ve daha iyi reçineler üretildi ve 1930'ların başında, iki ABD kimya şirketi, American Cyanamid ve DuPont, polimer reçineleri

daha da geliştirdi. Deneyleri sırasında, her iki şirket de ilk kez bağımsız olarak polyester reçineyi formüle etti.1930'ların sonlarında, Owens-Illinois Glass Company, camı ince şeritler veya lifler halinde çekmek için bir süreç geliştirdi ve bunları bir tekstil kumaşı halinde dokumaya başladı. Bu yeni cam elyafları, daha yeni sentetik (polyester) reçinelerle birleştirilerek, güçlü ve hafif kompozitler üretildi [7]. 1942'de Ohio, Toledo'dan mühendis Ray Greene (Owens-Illinois Glass Company için çalışmış) fiberglas ve polyester reçineden bir bot yaptı. Howard Hughes, Spruce Goose'da kompozit kanat direkleri (ince ahşap katmanlar ve plastik reçine) kullandı. Yeni kurulan kompozit endüstrisi, II. Dünya Savaşı sırasında ordunun hava ve su taşıtlarının ağırlığını azaltacak malzeme araması ve aynı zamanda mukavemetini, dayanıklılığını ve hava koşullarına ve hava ve tuzlu suyun aşındırıcı etkilerine karşı direncini artırması nedeniyle daha da gelişti. 1945'e gelindiğinde, esas olarak askeri uygulamalar için yedi milyon poundun üzerinde cam elyafı kullanıldı. Savaştan sonra da kompozitler yükselişini sürdürdü ve 1950'ler boyunca hızla büyüdü: Tekneler, kamyonlar, spor arabalar, depolama tankları, borular, kanallar ve diğer birçok ürün kompozit kullanılarak inşa edildi. 1953 yılında, fiberglas gövde panelli ilk üretim Chevrolet Corvette, montaj hattından çıktı. Ayrıca 1950'lerin başında, pultrüzyon, vakum torbalı kalıplama ve büyük ölçekli filament sarma gibi üretim yöntemleri geliştirildi. 1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında, kompozitler ilk olarak Avrupa ve Asya'da, tendonları güçlendiren kompozitler kullanan dünyanın ilk karayolu köprüsü ve ilk tamamen kompozit köprü tabliyesi de dahil olmak üzere bir dizi altyapı uygulamasında kullanıldı. 1990'lar, İskoçya'nın Aberfeldy kentinde kurulan ilk tamamen kompozit yaya köprüsünü (Batı Virginia, McKinleyville'de inşa edilen ilk FRP betonarme köprü güvertesini) ve Russell, Kansas'ta ilk tamamen kompozit araç köprüsü güvertesini gördü. Çok sayıda FRP kompozit yaya köprüsü, ABD eyaletlerinde ve milli parklarda, ağır inşaat ekipmanlarının erişemeyeceği veya karayolları ve demiryolları üzerinden geçmek için uzak yerlere kurulmuştur [8].

Günümüzde sanyi okadar gelişmiştir ki, kompozit malzemelerin kullanılmadığı alan yoktur.Ev eşyalarında, tutmuş şantiye (beton,kerpiç), otomobil (lastik), uçak (parçalar) ilaç, gıda sektöründe yer almıştır. Fakat üretimdeki maliyetler,üründe bazı zorluklar ve işlemin de kolay olmadığını, zaman aldığını göz önünde bulundurursak bazı alanlarda sıklıkla kullanılmasında engeller görülür [9]. Buna rağmen kompozitlerin beklentiyi karşılaması, daha uzun ömürlü olmasının sağlanması, günümüz ve gelecekteki teknolojiye büyük katkıda

bulunması için AR-GE çalışma merkezleri hız kazanmaktadır. Kompozit malzemelerin üretiminde ilk sırada ABD, Çin, Rusya, Japonya, Almanya, Türkiye'dir.

Kompozit malzemede yapıyı oluşturan 3 bileşen takviye elemanı,polimer matris ve katkı malzemeleridir. Kimyasal olarak bu bileşenler inert davarandığı için birbirinde çözülmez. Matris fazı bileşenleri genel olarak bir arada tutmayı hedefler.Takviye elemanı ise taşıyıcı bir görevi üstlenir ve etrafında matris fazı bulunur. Ara yüzey - yük iletiminin gerçekleştiği takviye ve matris fazlar arasındaki ara faza denilir. Katkı malzemeleri kompozit ürünün mekanik, kimyasal ve diğer özelliklerini geliştirmek, daha iyi yapmak için kullanılır[10].



Şekil 2. 1: Herhangi bir takviye elemanı içerern kompozit malzemenin kesit görnüşü.

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması matris ve takviye fazına göre yapılır.Matris fazına uygun sınıflandırmada seramik, polimer, metal olarak 3 ana başlık altında toplanır. Takviye fazına göre ise parçacık taviyeli, elyaf takviyeli ve tabakalı olarak sınıflandırılır.

2.1.1. DİĞER KOMPOZİTLER

Seramik kompozit malzemeler. Seramik matrisli kompozitler (CMC'ler), hem takviyenin (refrakter lifler) hem de matris malzemesinin seramik olduğu özel bir kompozit malzeme türüdür. Bazı durumlarda, yapının her iki parçası için aynı tür seramik kullanılır ve ilave ikincil lifler de dahil edilebilir. Bu nedenle, CMC'ler hem kompozit malzemelerin hem de seramiklerin bir alt grubu olarak kabul edilir.

Tablo 2. 1 : CMC takviye malzemeleri.

Karbon, (C), Yoğunluk: 2,267 g/sm³ , Erime noktası: 4300–4700 °C
Silisyum Karbür, (SiC), Erime noktası: 2800 °C, Yoğunluk : 3,22-3,24 g/sm³
Alüminyum oksit, (Al_2O_3) Yoğunluk: 3,987 g/sm³ , Erime noktası : 2072 °C
Mullit veya Alüminyum Silikat, (Al_2O_3-SiO_2) Yoğunluk: 3,23 g/sm³ ,Erime noktası: 1830 °C

Lifler, daha geleneksel sürekli liflerin yanı sıra kısa lifler, parçacıklar, iğne ve nano lifler de dahil olmak üzere birçok farklı formda alabilir. Bu liflerin tümü, geleneksel seramiklerin sahip olduğu gibi polikristal bir yapıya sahiptir. Cam, organik veya metalik lifler görmemenizin nedeni, CMC liflerinin 1.800°F'nin üzerindeki sıcaklıklarda sabit kalması gerektiğidir. Tipik bir CMC işleminde, lifler bor nitrür gibi bir malzeme ile kaplanır ve daha sonra bir matris bulamaç banyosundan geçirilerek önceden emprenye edilmiş bir bant veya kumaş elde edilir. Mevcut CMC uygulamalarının çoğu kısa elyaf, kıl veya sürekli elyaf takviyesi kullanır. İnce elyafların ve kısa liflerin kullanılması, CMC'nin çatlak ilerlemesine karşı direncini ve genel tokluğunu artırır ancak feci bir arızaya neden olabilir. Uzun veya sürekli lif takviyesi, ince elyaf veya kısa liflerden daha iyi güçlendirme sağlar. Uzun liflerin kullanılması ayrıca daha iyi tokluk sağlar çünkü lifler seramik matris çatlamaya başladıktan sonra bile CMC'yi bir arada tutabilir ve çatlak yayılmasını önemli ölçüde yavaşlatabilir [11].

CMC bir çok uygulama alanları vardır: Isı eşanjörleri, türbin kanatları, stator kanatları, yüksek performanslı fren sistemleri, daldırma brülör tüpleri, kurşun geçirmez zırh veb.

Metal matrisli kompozitler (MMC'ler), başka bir maddeyle kaynaşmış bir metalden oluşan bir malzeme sınıfıdır. Bu iki bileşen, fiziksel ve kimyasal olarak farklı olan farklı fazlarda ortaya çıkar. Temel malzeme olarak genellikle Al, Zn ve onların alaşımları, Cu ve Mg kullanılmaktadır,diğer madde ise takviye malzemesi olarak çalışmak üzere lifler veya parçacıklar olarak görünür. Çoğu metal matrisli kompozitte olduğu gibi, böyle bir malzeme üretmenin amacı, takviyenin sağladığı ek özellikler ekleyerek metal matrisin mevcut özelliklerini geliştirmektir.

Sürekli fiber takiyeli metal matrisli kompozit malzemelerin en yaygın özelliklerinden biri artan mukavemet ve sertliktir. Yüksek mukavemet-ağırlık oranı, malzemeyi çok çeşitli uygulamalarda kullanışlı hale getirir. Bu, çoğu metal (alümina,paslanmaz çelik, grafit, silikon karbür ve tungsten) matrisli kompozitin yüksek mekanik mukavemete sahip olması nedeniyle, gerilime veya sıkıştırmaya maruz kaldığında belirgindir. Kısa partikül ve fiber takviyeli MMC malzemeler takviyesiz metal alaşımlarına göre yüksek sertlik, daha yüksek mukavemet ve boyutsal kararlılık göstermektedir. MMC yüksek sertliği, başka bir deyişle iyi ısıl ve mekanik özelliklere sahip olması açısından özel kullanım alanlarında tatbik edilir. Yüksek maliyet, kompleks üretim şekli kompozit malzemenin yaygınlaşmasında büyük engeldir [12].



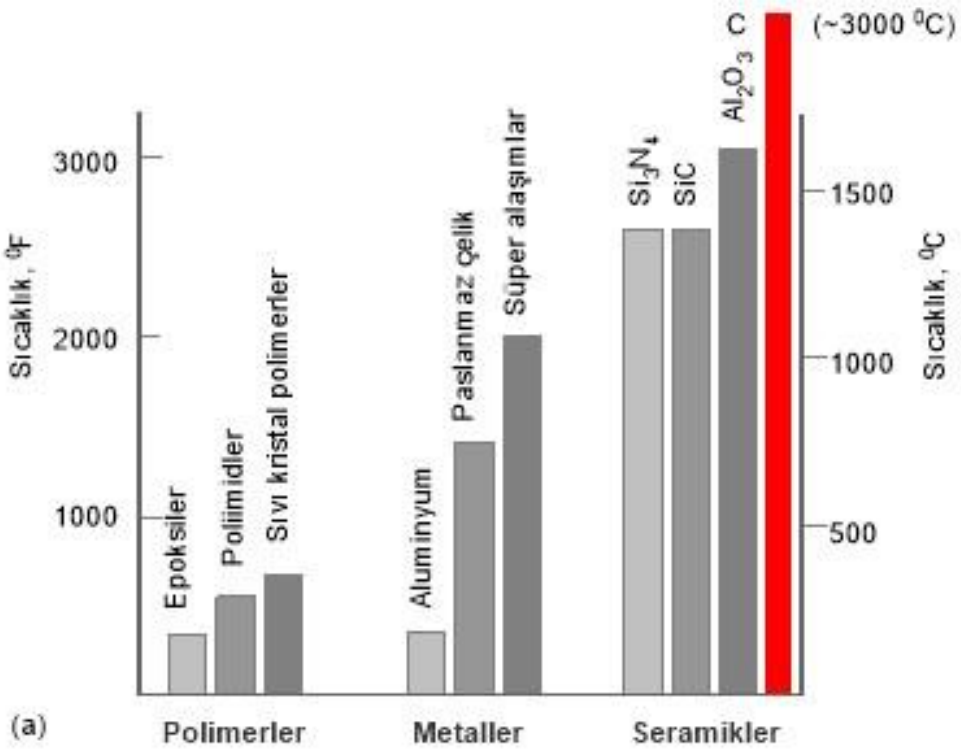
Şekil 2. 2: Monofilament, whisker ve partikülat takviyeli MMC şematik görünümleri.

Metal matrisli kompozit malzemelerin kullanımın artmasında önemli sonuçlarından biri üretim de oluşan gelişmeler ve takviye eleman imalatıdır.

Polimer matris kompozitler (PMC'ler), makine bileşenlerinden çok çeşitli otomotiv aksesuarlarına kadar modern yaşamın hemen hemen her alanında mevcuttur. Adından türetilen, yani birçok tekrar eden birim anlamına gelen polimerler, genellikle bir zincir oluşturmak için kimyasal olarak birbirine bağlanan karbon ve hidrojen dallarından oluşur. Kompozit olarak sıklıkla kullanılan polimerler ya termoplastik polimerler (PA, PBT/ PET ve PP,ABS) termoset

polimerler (reçineler poliüretan, poliimid, polibütadien ve vulkanize kauçukları verebiliriz),ya da elastomerlerdir. gibi birçok avantaj sunan çok çeşitli düşük fiyatlı, hammadde kaynağıdır.

Düşük özgül ağırlık, korozyona karşı yüksek malzeme kararlılığı, iyi elektrik ve ısı yalıtımı, şekillendirme kolaylığı ve ekonomik seri üretim, çekici optik özellikler,düşük sıcaklık ve basınçdan dolayı elemanlardan herhangisinin bozulmaması,malzeme israfının az olması,fiber oranının %70 üzerine çıkabilmesi PMC'lerin diğer polimer kompzoit malzemelerden daha üstün ve kullanım alanlarının onlardan çok ileride olduğunu yansıtmış oluyor. Fakat, mukavemet ve sertlik gibi bazı eksikliklerden muzdariptirler. Bu eksiklikleri gidermek için, mekanik özelliklerini geliştirmek için bazı takviyeler polimer malzemelere entegre edilir. Kullanılan matris ve takviye türlerinin yanı sıra, bir PMC'nin özelliklerini etkileyen diğer faktörler, bileşenlerin nispi oranları, takviye geometrisi ve ara fazın doğasıdır[13].



Şekil 2. 3: Bazı polimer, metal ve seramik matrislerin ısıl dayanımı.

2.1.2. DOĞAL KOMPOZİTLER

Doğal kompozitler hem hayvanlarda hem de bitkilerde doğal şekilde bulunur. Doğal lif bileşeni ahşap, sisal, kenevir, hindistan cevizi, pamuk, kenaf, keten, jüt, abaka, muz yaprağı lifleri, bambu, buğday samanı veya diğer lifli malzemeler olabilir ve matris bir polimerik malzeme olabilir.Ahşap kompozitler, tümü ahşap liflerini veya liflerin levhaların birbirine bağlanmasıyla oluşturulan bir dizi farklı türev ahşap ürünü içerir. Aynı zamanda suni ahşap, mühendislik ürünü ahşap ve ayrıca ahşap-plastik kompozit (WPC) olarak da bilinir. Ahşap kompozit genellikle kereste fabrikasının artıkları ve ahşap atıkları dışında kereste için kullanılan aynı sert ve yumuşak ağaçlardan yapılır ve öğütülmüş ahşap parçacıklarının ısıtılmış termoplastik reçine ile karıştırılmasıyla oluşturulur. Bazıları malzemeleri bir araya getirir ve yeniden eritilen ve nihai şekle getirilen topaklar halinde işlerken, diğerleri tek aşamalı bir karıştırma ve ekstrüzyon işlemi ile nihai ürünü oluşturur .

Lignin adı verilen çok daha zayıf bir madde tarafından bir arada tutulan uzun selüloz liflerinden (bir polimer) yapılır. Selüloz pamukta da bulunur, ancak onu birbirine bağlayacak lignin olmadan çok daha zayıftır. İki zayıf madde - lignin ve selüloz birlikte çok daha güçlü bir madde oluşturur. Pamuk evde, hastanelerde tıp malzemesi gibi kullanlmaktadır. Kenevir ve Kenaf her iksi otomotiv gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, kenaf petrol kimyasında emici olarak,gıda amblajlarında kullanılırken kenevir cam elyafların yerine üretilmeye başlanmıştır. Vücudunuzdaki kemik ve dişler de bir bileşiktir. Hidroksiapatit (esas olarak kalsiyum fosfat olan) adı verilen sert fakat kırılgan bir malzemeden ve kollajen adı verilen (bir protein olan) yumuşak ve esnek bir malzemeden yapılır. Kolajen saç ve tırnaklarda da bulunur. Tek başına iskelette pek kullanılmaz ama hidroksiapatit ile birleşerek kemiğe vücudu desteklemek için gereken özellikleri verebilir. Deniz incisi doğal kompozit olarak dünyanın bazı ülkelerinde Birleşik Arap Emirlikleri, İran, Kuveyt, Suudi Arabistan, Bahreyn, Katar ve Umman'da deniz sahillerinde bulunuyor. 10.000 istiridyeden sadece biri doğal inci üretilmekte ve bunların milyonda sadece biri mücevher kalitesinde olmaktadır. Dünyadaki incilerin sadece yüzde 1'inin yaklaşık yarısı doğaldır. Doğal inciler tamamen sedef, aragonit ve conchiolin adı verilen organik bir bağlayıcının birleşiminden oluşur. Doğal elyaflı kompozitler cam elyaflı kompozitlerden %25-30 daha güçlüdür aynı zamanda cam elyaflardan farklı olarak kalıplanmasında daha az enerji sarfedilir. Bu da takriben %9 üretimde maliyeti açısından kazanç demektir [14].

Hidrofilik yapıları nedeniyle doğal lifler suyu kolayca emer, çekme mukavemetini ve Young modülünü kötü etkileyer. Zayıf arayüzey bağlanması, matristen elyafa aktarılan yükü azaltır ve toplam kompozit mekanik mukavemetini azaltır. Genellikle elyaflar, kimyasal veya fiziksel işlemler vasıtasıyla daha az hidrofilik olacak şekilde değiştirilir, bu da matris ile ara yüzey bağını arttırır ve su emilimini azaltır. Doğal elyafların bir diğer kritik sınırlaması, düşük derecede ısıl kararlılıkları ve yangına dayanıklılıklarıdır. Darbe mukavemetleri ayrıca sentetik elyaf kompozitlerin altındadır ve bu da bakım sırasında aletlerin düşmesi gibi dinamik olaylara karşı onları savunmasız hale getirir. Bu nedenle matrislerle zayıf bağlantı kurduklarını , neme karşı çok hassas olduklarından dolayı sanayi alanlarında üretilmesi kısıtlı şeklindedir. Teknolojiler bağlamında doğal elyaflı kompozit malzemeler piyasası enjeksiyon kalıplama, basınçlı kalıplama ve pultrüzyon gibi alt segmentlerden oluşmaktadır [15].



Şekil 2. 4: Doğal kompozit malzemeler.

2.1.3. FINDIK KABUĞU DOLGULU KOMPOZİTIER

Biyokompozitler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve çeşitli endüstrilerin gelişimi için kritik olan yeni nesil malzemelerdir. Fındık endüstrisi çok sayıda yan ürün üretmektedir. Bunlardan atık fındık kabukları, kompozit ürün için potansiyel olarak düşük maliyetli bir takviye kaynağını temsil eder. Halihazırda fındık atığı çok düşük bir ticari değere sahiptir ve genellikle bir ısıtma kaynağı olarak veya boya endüstrisinde furfural üretmek için hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, fındık atıklarının değerlendirilmesi, özellikle fındık kabuğunun biyolojik olarak parçalanabilen polimerler için bir takviye malzemesi olarak uygulanabilirliğinin kanıtını sağlamak ve fındık kabuğu atık bertarafı sorununa somut bir çözüm önermek amaçlanmıştır. Literatür, organik dolgu maddeleri ve biyolojik olarak parçalanabilen polimerler hakkında birkaç çalışma içermektedir, ancak bildiğimiz kadarıyla, literatürde fındık kabuğu kullanılarak polimer biyokompozitler üzerine yapılan çalışmaları bildiren az sayıda makale bulunmaktadır[16].

Gıda endüstrisinin bir yan ürünü olarak elde edilen Corylus avellana fındık kabuğunu kullanmış ve PLA kompozitlerinin mekanik, ısıl ve termo-mekanik özelliklerine etkilerini değerlendirilmiştir. Araştırmalarının sonuçları, fındık kabuğunun poli(laktik asit) zincirleri üzerinde hafif bir çekirdeklenme etkisine sahip olduğunu ve bunun da PLA/FK kompozitlerinin boyutsal kararlılığı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olan kristallikte bir artışa yol açtığını göstermektedir [17]. PLA/FK kompozitlerine plastikleştirici bir etki sağlamak ve PLA/FK kompozitlerinin doğal düşük sünekliğini geliştirmek için farklı miktarlarda epoksitlenmiş keten tohumu yağı (ELO) ekleyerek aynı özellikleri incelenmiştir. ELO'nun birleştirici ajan ve/veya bir plastikleştirici olarak ikili bir rolü olduğunu ancak genel olarak PLA/FK kompozitinin genel performansını iyileştirmiştir. Benzer şekilde, (Aliotta ve diğerleri), fındık kabuğu ile PLA matrisi arasındaki toz boyutunun ve yapışmanın etkisini değerlendirmek için analitik modeller kullanmışlardır. Ayrıca, ölçeği büyütülmüş kompozitler için ilginç sonuçlar bildirdiler[18].

Ceviz kabuğu tozunun dahil edilmesiyle incelenen makaleler de az değildir . Bu parçacıkların varlığı, kompozitlerin çekme, basınç, eğilme ve darbe dayanımları ile birlikte yoğunluğunu ve gözenekliliğini değiştirmiştir [19].

Hibrit kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelenmişdir. Polipropilen matrise ağırlıkça %10, %15 ve %20 bazalt elyaflar ve öğütülmüş fındık kabukları eklenmiştir[20].

Yukarıdaki düşünceler temelinde, [20] ait çalışma , fındık kabuğu ile doldurulmuş biyolojik olarak parçalanabilen polyester bazlı biyokompozitlerin üretimi ve karakterizasyonuna odaklanmıştır. Elde edilen biyokompozitler, fındık kabuklarının polyester matrisindeki rolünü belirlemek için reoloji, statik ve dinamik mekanik özellikler ve ısıl ve morfolojik özellikleri incelemek üzere karakterize edilmiştir. Ek olarak, her iki biyokompozit, ölçeği büyütülmüş, biyokompozitlerin ölçek büyütme fizibilitesini ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için endüstriyel bir enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılmıştır.

Tablo 2. 2 : Eurotec şirketinin ve rakibinin yapdığı DKM özellikleri.

	Tecobio PL30 WR30 NL	**Rakip Ürün**	**Tecotek PY30 WR30 NL**	**Rakip Ürün**
Özellikler	PLA, %30 doğal dolgu takviyeli, natürel	PLA, %30 doğal dolgu takviyeli, natürel	PBS, %30 doğal dolgu takviyeli, natürel	PBS, %30 doğal dolgu takviyeli, natürel
Kopma Gerilimi	65 MPa	62 MPa	35 MPa	35 MPa
Çekme Modülü	6000 MPa	5750 MPa	3500 MPa	2000 MPa
İzod Darbe Dayanımı (+23℃)	4,5 kJ/m^2	2,4 kJ/m^2	5,5 kJ/m^2	3,5 kJ/m^2
HDT (1,80 Mpa)	55℃	35℃	85℃	85℃

2.1.4. DOĞAL KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hammaddelerin artan önemi ve ürünlerin geri dönüştürülebilirliği veya biyolojik olarak parçalanabilirliği, otomotiv uygulamalarında petrol bazlı sentetiklerden doğal elyaflara geçişe neden olmaktadır. Doğal elyaf kompozitlerinin otomotiv sektöründeki uygulamaları, Henry Ford'un kenevir elyafı kullanarak bir arabada ilk kompozit bileşenleri ürettiği 1940'lara kadar izlenebilir. Bir sonraki başvuru, 1950'lerde, Doğu Alman Trabant'ın gövdesinin üretimi ve Daimler-Benz (1994) ve Mercedes (1996) dahil olmak üzere diğer üreticiler de aynı yolu izlemiştir. Doğal elyaf bazlı kompozitler, hafif ve çevre dostu malzemelere olan talep daha fazla olduğu için otomotiv endüstrisi için önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırmalar, doğal elyaf kompozitlerin bir otomotiv parçasının maliyetlerinde %20 ve ağırlıkta %30 azalmaya katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bu yazarları takiben, bileşenlerin hafifliği, daha düşük yakıt tüketimine, iyi geri dönüşüm olanaklarına, doğal liflerin kullanımı için ana itici güçlerden bazıları olan atık bertarafında ve sera emisyonlarında azalmaya yol açar. Doğal elyaf kompozitler daha çok gösterge paneli, kapı panelleri, koli rafları, koltuk minderleri, sırtlıklar ve kabin kaplamaları gibi iç mekanlarda kullanılırken, doğal elyaf kompozit parçaların dış uygulamalarda kullanımı çok sınırlıdır. Dünya genelinde farklı bölgeler, farklı türlerde doğal lifler yetiştirir ve kullanır ve bazen de ithal veya ihraç ederler. Örneğin, Avrupa otomotiv endüstrisi ağırlıklı olarak keten ve kenevir kullanırken, jüt ve kenaf başlıca Bangladeş ve Hindistan'dan, muz Filipinler'den ve sisal Güney Afrika, Amerika Birleşik Devletleri ve Brezilya'dan ithal edilmektedir. Almanya'da üretilen her otomobilin ortalama 3,6 kg doğal elyaf içerdiği Avrupa otomotiv sektöründe doğal elyaf parçaların en önemli tüketicisi Alman otomotiv endüstrisidir. Doğal liflerden üretilen bileşenlerin çoğu, iç kapı panelleri, koltuk kılıfları ve izolasyonlar vb. gibi iç bileşenlerdir ve en yaygın kullanılan lifler keten, kenevir ve kenaftır.

Doğal elyaflı kompozitlerin en belirgin uygulamaları otomotiv sektöründe olmasına rağmen, doğal fiber kompozitlerin ek uygulama alanları da vardır: tekstil, medikal, sağlık ve ilaç, ev ve kişisel bakım, gıda ve yem katkı maddeleri, inşaat, mobilya, paketleme, kağıt hamuru, kağıt, biyoenerji biyoyakıtları veb [21].

2.1.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Kompozit malzemelerin kullanımında bir çok avantajlar ve dezavantajları vardır.

Avantajlar :

I. Belirli bir ağırlık için daha yüksek performans, yakıt tasarrufu sağlar. Kompozit malzemelerle mükemmel mukavemet-ağırlık ve sertlik-ağırlık oranları elde edilebilir. Bu genellikle mukavemet bölü yoğunluk ve sertlik (modül) bölü yoğunluk olarak ifade edilir.

II. Bir parçadaki laminat desenleri ve kat oluşumu, çeşitli yönlerde gerekli mekanik özellikleri verecek şekilde uyarlanabilir.

III. Sürtünmeyi azaltmak için pürüzsüz aerodinamik profiller elde etmek daha kolaydır. Pürüzsüz yüzey kalitesine sahip karmaşık çift kavisli parçalar tek bir üretim işleminde yapılabilir.

IV. Kompozitler, korozyona, kimyasal saldırılara ve dış hava koşullarına karşı mükemmel direnç sunar, ancak bazı kimyasallar kompozitlere zarar verir (örn. Bazı termoplastikler, bazı solventlere karşı çok dirençli değildir).

V. Üretim maliyeti azaltılabilir. Kompozitler çok çeşitli işlemlerle üretilebilir.

VI. Parça sayısı azaltılabilir.

Dezavantajlar :

I. Kompozitler, dövme metallerden daha kırılgandır ve bu nedenle daha kolay zarar görürler. Dökme metaller de kırılgan olma eğilimindedir.

II. Onarım, aşağıdaki nedenlerle yeni sorunlara : Malzemeler, soğuk taşıma ve depolama gerektirir ve sınırlı raf ömrüne sahiptir. Özel ekipman gerektiren birçok durumda sıcak kürleme gereklidir. Sıcak veya soğuk kürleme zaman alır. Son perçin takıldığında iş bitmez.

III. Perçin kullanılmışsa ve çıkarılması gerekiyorsa, bu, daha fazla hasara neden olmadan sökme sorunları yaratır.

IV. Orijinal sertleşme sıcaklığında onarım, alet ve basınç gerektirir.

V. Kompozitler, onarımdan önce tüm kontaminasyonlardan iyice temizlenmelidir.

VI. Kompozitler tamir edilmeden önce kurutulmalıdır çünkü tüm reçine matrisleri ve bazı lifler nemi emer [21].

2.2. TAKVİYE MALZEMELERİ

Takviye elemanları sürekli ve süreksiz (fiber) olarak ikiye ayrılırlar. Genellikle kompozitlerin mekanik özelliklerini artırır ve tek yönde mükavimet, sertliğini sağlar.Sanayide pek çok takviye malzemeleri kullanılır.

Doğal Elyaflar : Kenevir, kenaf,pamuk,keten,ağac (ahşap) ve b. Doğal takviye malzemelrei ucuzdur kullanımı rahatdır bu nedenle her yıl dünya ülkelerinde üretilmesi gittikce artmakdadır. Doğal lifler arasında birbirine kıyıslarsak en yüksek mekanik özelliklere sahip lignoselülozik gövde liflerinden keten ve kenevir lifleri, kompozit sanayisinde büyük ilgi görmektedir [22].

Cam Elyaflar: Bir alümina-kireç-borosilikat bileşimine dayalı olarak, "E" veya "E-CR" camdan üretilen lifler, yüksek elektriksel yalıtım özellikleri, neme karşı düşük hassasiyetleri ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle polimer matrisli kompozitler için baskın takviye olarak kabul edilir. E-CR camı, üstün korozyon direnci özelliklerine sahip olmasıyla E-camdan ayrıca ayrılır. Diğer ticari bileşimler arasında daha yüksek mukavemete, ısı direncine ve modülüne sahip “S” cam, daha yüksek modüllü H-cam ve mükemmel korozyon direncine sahip AR cam (alkali dirençli) bulunur. Cam genellikle iyi bir darbeye dayanıklı elyaftır ancak karbon veya aramitten daha ağırdır. Cam elyaflar, belirli biçimlerde çelikten daha güçlü olan mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Alt modül, sertliğin kritik olduğu durumlarda özel tasarım işlemi gerektirir. Cam elyaflar radyo frekansı radyasyonuna karşı şeffaftır ve radar anteni uygulamalarında kullanılır.

Tablo 2. 3 : Cam elyafların özellikleri**.**

ÖZELLİKLER	E-CAMI	S-CAMI	C-CAMI
Yoğunluk (g/cm3)	2.54	2.48	2.49
Elastisite modülü(GPa)	72.4	85.5	69
Çekme mukavemeti (MPa)	3448	4585	3033
Termal genleşme katsayısı (10-6oC)	5.2	5.7	7.3
Oda sıcaklığında özgül ısı (kJ/kg.oC)	0,81	0,737	0,787
Yumuşama noktası (oC)	846	970	750
Kırılma indisi	1.562	1.525	1.532
Su içerisindeki ağırlık artışı (24h,%)	0.,7	0,5	1,1
%10 HCl içerisindeki ağırlık artışı (24h, %)	4.2	3.8	4.1
%10 H2SO4 içerisindeki ağırlık artışı (24 h,%)	3.9	4.1	2.2
%1 Na2CO3 içerisindeki ağırlık artışı (24 h,%)	2.1	2.0	2.4

Karbon Elyaflar: Karbon lifleri, PAN (poliakrilonitril), suni ipek ve perdeler dahil olmak üzere organik öncülerden yapılır ve son ikisi genellikle düşük modüllü lifler için kullanılır. "Karbon" ve "grafit" lifleri terimleri tipik olarak birbirinin yerine kullanılır, ancak grafit teknik olarak PAN bazlı karbon lifleri için yüzde 93-95'e karşılık yüzde 99 karbon bileşiminden daha fazla olan liflere atıfta bulunur. Karbon fiber, tüm takviye fiberleri arasında en yüksek mukavemeti ve sertliği sunar. Yüksek sıcaklık performansı özellikle karbon fiberler için olağanüstüdür. PAN bazlı elyafların en büyük dezavantajı, temel malzemenin maliyetinin ve enerji yoğun bir üretim sürecinin bir sonucu olan yüksek nispi maliyetleridir. Karbon fiber

kompozitler, cam veya aramidden daha kırılgandır. Karbon fiberler, metallerin yanında kullanıldığında galvanik korozyona neden olabilir. Bu durumun önüne geçmek için cam ve reçine gibi bir bariyer malzemesi kullanılmaktadır[23].

Aramit elyaflar (Polyaramidler): En yaygın sentetik elyaf aramittir. Aramid elyaf, kompozit takviye için insan yapımı bir organik elyaf olan aromatik bir poliimiddir. Aramit lifleri, tokluk veya hasar/darbe direncinin ek avantajı ile düşük yoğunlukta iyi mekanik özellikler sunar. Cam ve karbona kıyasla oldukça yüksek gerilme mukavemetine, orta modüle ve çok düşük yoğunluğa sahip olmaları ile karakterize edilirler. Aramit lifleri hem elektrik hem de ısı yalıtkanıdır ve kompozitlerin darbe direncini arttırır. Organik çözücülere, yakıtlara ve yağlayıcılara karşı dayanıklıdırlar. Aramit kompozitler, cam veya karbon kompozitler kadar iyi basınç dayanımına sahip değildir. Kuru aramid lifleri serttir ve kablo veya halat olarak kullanılmıştır ve balistik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Aramit, lastiklerdeki çelik kayışlar için baskın organik takviye elyafı ikamesidir[24].

Yeni elyaflar: Polyester ve naylon termoplastik lifler, yakın zamanda hem birincil takviye olarak hem de cam elyafı ile hibrit bir düzenlemede tanıtıldı. Çekici özellikler arasında düşük yoğunluk, makul maliyet ve iyi darbe ve yorulma direnci bulunur. Polyester lifleri oldukça yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen, sertlikleri camınkinin oldukça altındadır. Yüksek mukavemet ve yüksek sıcaklıkta kullanım için daha özel takviyeler, uçak veya uzay uygulamalarında kullanılanlar gibi metalleri ve metal oksitleri içerir.

Bundan başka SiC, Alumina, Bor fiberler de çekme mukavimetleri okadar yüksek olmasa bile basma mukavemetleri çok yüksek olarak nitelendirilir [25].



Şekil 2. 5: Aramit elyafın kullanım alanları.

2.3. MATRİSLER

Polimer matrisler. Sınıflandırmaya göre kendisi 3 başlık altında (termoplastik, termoset ve kauçuk matrisler) birleştirilir.

- **Termoset-Matrisler (TSM):** Termoset polimerler, katı bir formda kürlenen ve orijinal kürlenmemiş formlarına geri döndürülemeyen polimerlerdir. Termoset matrislerle yapılan kompozitler güçlüdür ve çok iyi yorulma mukavemetine sahiptir. Son derece kırılgandırlar ve düşük darbe tokluğuna sahiptirler. Termoset matris termoplastikler gibi erimediği için yaygın olarak yüksek ısı uygulamaları için kullanılırlar. Sıvı reçine ile çalışmak çok kolay olduğu için termoset kompozitler genellikle daha ucuz ve üretilmesi daha kolaydır. Termoset kompozitlerin geri dönüşümü çok zordur çünkü termoset yeniden kalıplanamaz veya yeniden şekillendirilemez, sadece kullanılan takviye edici elyaf geri kazanılabilir. Bu polimerlere örnek olarak poliesterler, poliuretanlar, polibutadien, reçineler, poliimid, vulkanize kauçukları verebiliriz.

- **Termoplastik-Matrisler (TPM):** Termoplastik polimerler, fiziksel özelliklerini değiştirmeden kalıplanabilen, eritilebilen ve yeniden kalıplanabilen polimerlerdir. Termoplastik matris kompozitler, çok iyi darbe direnci ve hasar toleransı ile termosetlerden daha sert ve daha az kırılgandır. Matris eritilebildiğinden, kompozit malzemelerin onarımı daha kolaydır ve kolayca yeniden kalıplanabilir ve geri dönüştürülebilir. Termoplastik kompozitler, termosetlerden daha az yoğundur ve bu da onları ağırlık açısından kritik uygulamalar için uygun bir alternatif haline getirir. Termoplastik kompozitlerin üretim süreci, plastiği eritmek ve lifleri matrisle emprenye etmek için gereken yüksek sıcaklıklar ve basınçlar nedeniyle daha fazla enerji yoğundur. Gerekli enerji, termoplastik kompozitleri termosetlerden daha maliyetli hale getirir.

- **Elastomer Matrisler (EM):** Bir elastomerik matris, iyi gerilme mukavemeti ile birlikte yüksek tokluk ve mükemmel kopma uzaması sunar. Bu tür matrisler otomobil, uzay, tel ve kablo, spor ve nükleer endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Elastomerler yüksek moleküler ağırlığa, amorf yapıya ve zayıf moleküller arası kuvvetlere sahiptir. Camsı geçiş sıcaklıkları (Tg) oda sıcaklığının oldukça altındadır; bu nedenle, oda sıcaklığında segmental hareketler mümkündür, bu da onları yumuşak ve esnek hale getirir. Bununla birlikte, deformasyonun tersine çevrilebilirliği, polimer

zincirleri arasında kovalent veya iyonik bağlantılar gerektirir. Bu, peroksitler, metal oksitler, kükürt, iyonik kısımlar kullanılarak veya radyasyon çapraz bağlanmasıyla elde edilebilir. Elastomerler doymuş veya doymamıştır ve lastikler, taşıma bantları, titreşim sönümleyiciler ve yalıtım yapıları gibi çeşitli uygulamalar için kullanılır. Zayıf moleküller arası bağ nedeniyle, elastomerler, istenen mekanik özellikleri elde etmek için çapraz bağlanmadan sonra bile daha fazla takviyeye ihtiyaç duyar [26].

Seramik Matrisler (SM). Seramikler metal bileşimleri içermeyen karbür oksit nitrür gibi malzemelerdir. Ayrıca silikon ve karbon da buraya dahil edilir.Genel olarak mekanik özelliklerine baktığmızda seramik malzemeler sert ve kırılgandır. Kimyasal erozyona karşın güçlü olup kostik ve asidik ortamlara uyum sağlayabilmesi onun diğer matris malzemelerinden farklı eder. Basma özelliğinde ne kadar iyi olsada çekme mukavemetinde bir o kadar zayıftır fakat erime sıcaklığı 2000°C'ye yakın olması 1000-1600°C arası sıcaklığa dayanabilirliğin göstergesidir. Seramik malzemelere örnek olarak alumina, silikon karbür, tungsten karbür, kaolinit verebiliriz[27].

Metal Matrisler (MM). Bu matsrisler yalnız hafif metalleri içeren bileşenlerdir. Grafit/bakır kompozitleri uyarlanabilir özelliklere sahiptir, havadaki yüksek sıcaklıklar için faydalıdır ve mükemmel mekanik özelliklerin yanı sıra yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik sağlar. Titanyuma göre daha kolay işleme, çeliğe göre daha düşük yoğunluk sunarlar. Sünek süper iletkenler, bir bakır matrisi ve niyobyum-titanyum süper iletken filamentleri ile imal edilmiştir. Tungsten partikülleri veya alüminyum oksit partikülleri ile güçlendirilmiş bakır, ısı alıcılarda ve elektronik ambalajlarda kullanılır. Silisyum karbür liflerle güçlendirilmiş titanyum, Ulusal Havacılık ve Uzay Uçağı için kaplama malzemesi olarak geliştirilmektedir. Paslanmaz çelikler, takım çelikleri ve Inconel alaşım, titanyum karbür parçacıkları ile güçlendirilmiş ve çekme halkaları ve diğer yüksek sıcaklıkta, korozyona dayanıklı bileşenler olarak üretilen matris malzemeleri arasındadır. Alüminyum MMC'ler, döküm, toz metalurjisi, yerinde güçlendirme geliştirme ve folyo ve elyaf presleme teknikleri ile üretilir. Büyük üreticilerin üretimlerini artırmaları ve fiyatları düşürmeleriyle birlikte, sürekli olarak yüksek kaliteli ürünler artık büyük miktarlarda mevcuttur. Fren rotorlarında, pistonlarda ve diğer otomotiv bileşenlerinde, ayrıca golf kulüplerinde, bisikletlerde, makine bileşenlerinde, elektronik yüzeylerde, ekstrüde açılarda ve kanallarda ve çok çeşitli diğer yapısal ve elektronik uygulamalarda kullanılır[28].

2.4. UYUMLAŞTIRICILAR

Uyumlulaştırıcılar, biri uyumlu hale getirilecek iki polimerden biri ile uyumlu, diğeri ise ikinci polimerle uyumlu iki kısımdan oluşur. Reaktif ve aktif olabilirler ayrıca, polimerlere bağlanabilirler veya sadece polimerlerle karışabilirler. Uyumlulaştırma zor bir uygulama olduğu için, nihai bir uygulamadan önce bazı bilgiler doğrulanmalı ve test edilmelidir. Poliolefin, polietilen ve PP üzerine aşılanmış akrilik fonksiyonları reaktif uyumlulaştırıcıların örnekleri PA'lar, EVOH, polibütilen tereftalat (PBT), PET ile uyumluluğa izin verir. Akrilik fonksiyonlar genellikle maleik anhidrit, glisidil metakrilattır. Bu tür uyumlaştırıcılar, örneğin "Amplify GR-MA" (Dow),"Elvaloy PTW" ve "Fusabond" (DuPont) adı altında pazarlanmaktadır. Reaktif olmayan uyumlulaştırıcılara örnekler: PP/PA geri dönüşümü için etilen-etilakrilat (EEA) kopolimerleri, PP, PE, PBT, PA, ABS, PC'nin uyumlulaştırılması için etilen-bütilakrilat (EBA) ve etilen metakrilat (EMA) kopolimeri. PP (Interloy) üzerine aşılanmış PMMA veya polistiren, polipropileni PMMA, SAN, ASA, ABS, PVC, PC, PPE ile uyumlu hale getirebilir. Akrilik-imid kopolimerleri (Paraloid), PPE/PA, PC/PE ile uyumlu olabilir. Stiren blok kopolimerler PP/HDPE, PPE/PA, olefinler ve stirenikler SB, PS, ABS ile uyumlu olabilir. Örneğin yağ asitleri ve bunların tuzları veya esterleri ve "Struktol" tarafından üretilen amitler veya "Spectratech" tarafından üretilen bir floropolimer içeren poliolefinler gibi bazı işleme yardımcıları da PA/PET'in geri dönüşümünü kolaylaştırabilir[29].

Tablo 2. 4: Uyumlaştırıcılar ve onların polimer çiftleri.

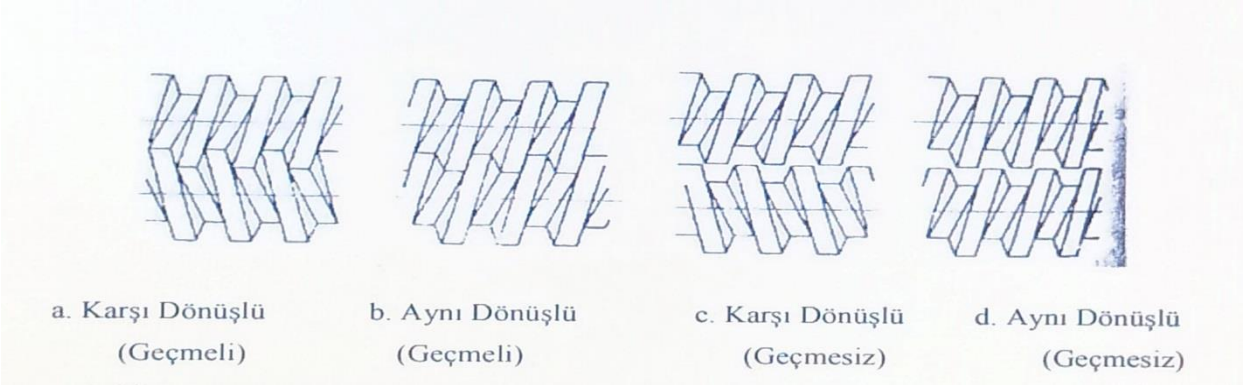
Uyumlaştırıcılar	**Polimer çifti**
PE-g-MAH ve E-MAA (Zn)	PE/PA6
PP-g-MAH	PP/PA6
Etilen-akrilat	PC/PBT
Etilen-BA-GMA	PET/Poliolefin
Etilen-BA-GMA	PBT/PP
Etilen-BA-GMA	PBT/PA
Etilen-akrilat	PC/ABS

2.5. POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN MAKİNELER

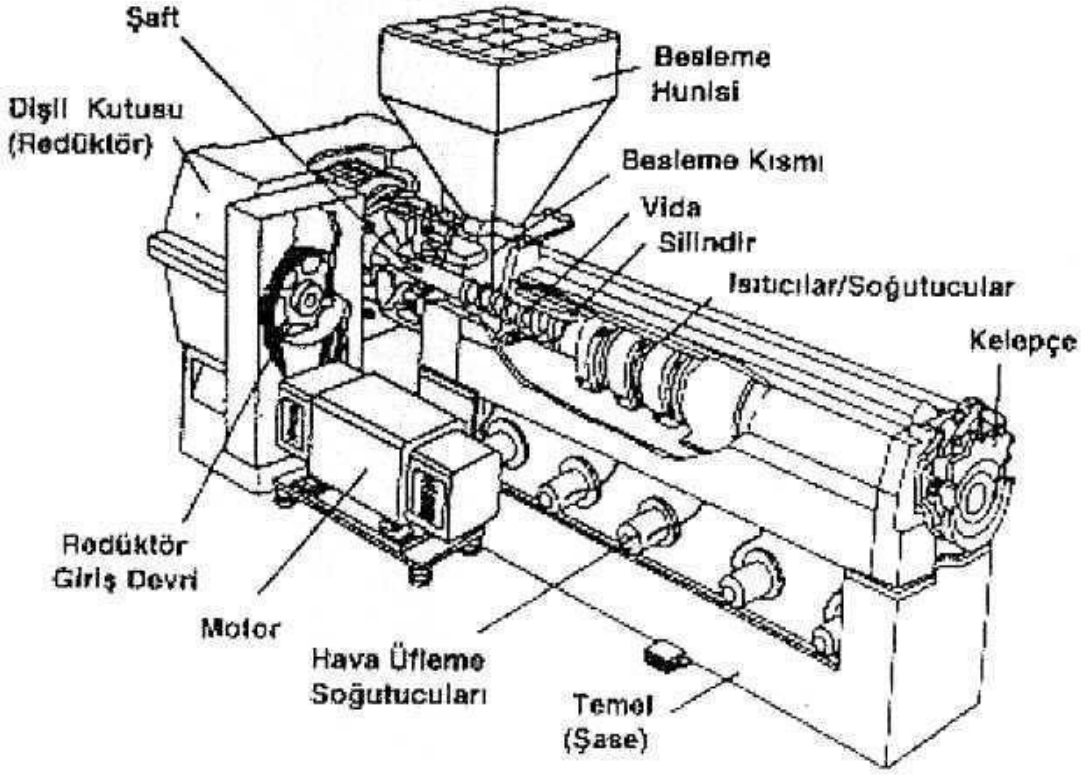
Sanayide farklı tür polimer kompozit malzemerin hazırlanması için farklı makineler kullanılır.Bu makinelerin her birinin özellikleri (çalışma yöntemi,kapasitesi, çalişma süresi, sıcaklık, basınç,kalma süresi, hız kontolü gibi parametreler veb.) vardır ki, laboratuvar veya sanayi alanlarında kullanılmasından ve üretilen şirketlerden dolayı değişir. Genenllikle kullanılan makinlara: ekstrüder (çift ve tek bazen üç vidalı) injeksiyon kalıplama,kurutucular, öğütücüler, karıştırıcılar ve diğer yardımcı cihazlar dahildir.

2.5.1. EKSTRÜDER

Ekstrüzyon, bir malzemenin, genellikle pelet, kuru toz, kauçuk, plastik, metal çubuk stoku veya hatta gıdanın ısıtılması ve bir şekillendirici kafadan itilmesidir. Bir kafa, esasen, malzemeyi diğer tarafa küçük açıklıktan zorlanırken şekillendiren bir yapıdadır. Stok metal, plastik ve kauçuk şekillerden levhalar ve şeritler üretmenin en yaygın yollarından biridir. Ekstrüder, basitçe ekstrüzyon işlemini tamamlamak için kullanılan makinedir. Bir kovan ve silindir sistemi kullanan makine, ürünü ısıtır ve istenen şekli oluşturmak için kafanın içinden geçirir. Tek ve çift vidalı (birlikte eş yönlü ve ters yönlü) olmak üzere iki ana ekstrüder türü vardır. Bunlar çok çeşitli vida çapları (D), uzunluklar (L) ve tasarımlara sahiptir. Tek vidalı ve birlikte dönen çift vidalı, doğal olarak eksenel olarak açık kanallı ekstrüderlerdir. Sürüklemeli akış pompaları olarak kabul edilebilirler. Çıktıları veya doldurma dereceleri (maksimum hacimsel oranda çalışmıyorsa), ekstrüder içindeki basınç akışından etkilenebilir. Yakından birbirine geçen ters dönen çift vidalı ekstrüderler, birbirine geçme bölgesinde kapalı kanallar oluşturur. Çıktıları, ekstrüder içindeki basınç akışına karşı daha az hassastır. Ekstürderin esas parçası onun vidasıdır.Vida ürün karışımını ve dağılımını sağlayan slindirik boru şeklinde uzanan ekstrüderin bir sistemidir.



Şekil 2. 6: Çift vidalı ekstruder tipleri.

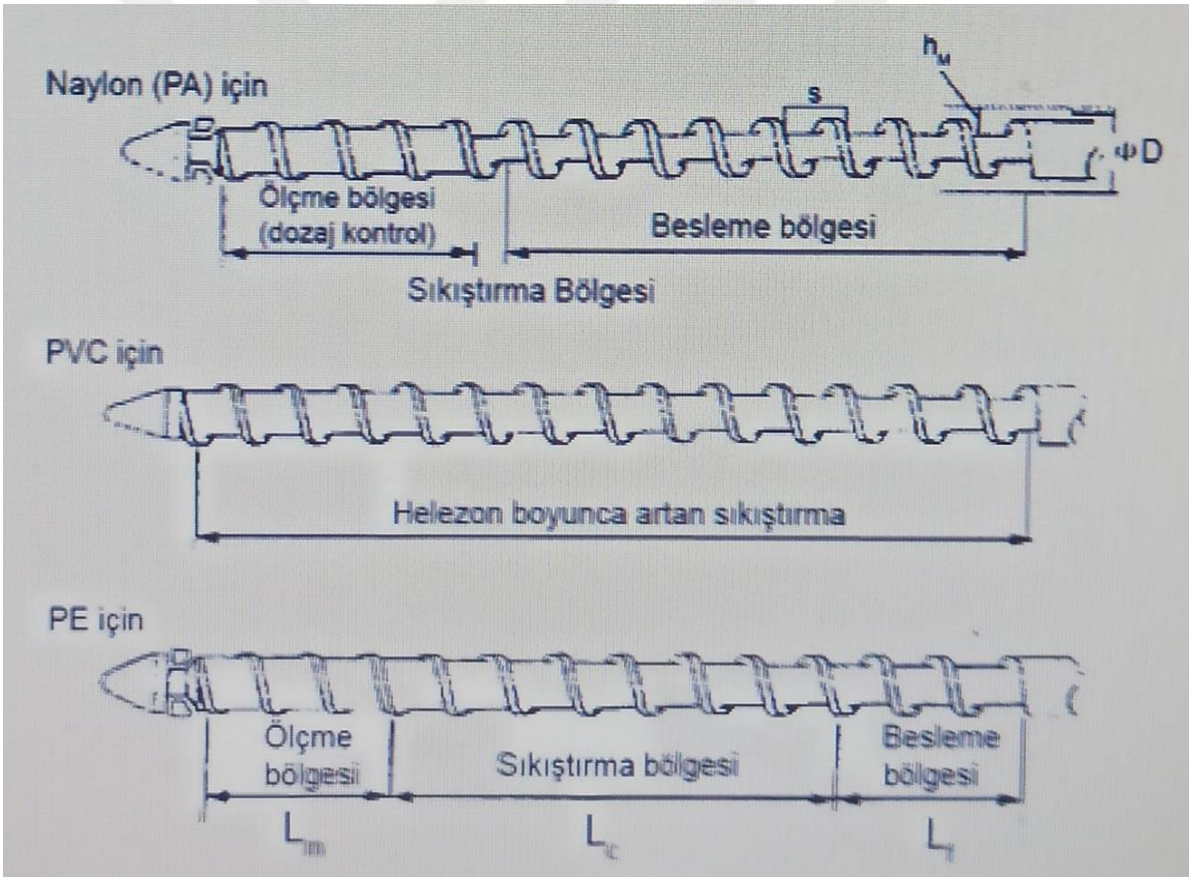


Şekil 2.5.1. Klasik ekstrüder sistemi.

Klasik ekstrüder toz, granül, çapak vb. beslenme hunisinin yardımıyla beslenebilir.Enerji üretimindne sorumlu olan motor ekstrüderin arka kısmında olur.Redüktor vidanın dönmesini sağlar ve vidayı döndürmesi için tahriği motordan alır. Vida besleme hunisinden gelen malzemeleri dönmesiyle ileriye taşır ve karıştırma işlemini yapar. Malzemeler ekstrüderin içersinde belirli sıcaklılğa kadar eriyik hale gelir, karışır sonda basınçla kalıptan, yani şekillendirici kafadan çıkarak işlem tamamlanmış olur. Isıtıcılar ve soğutucular malzemelerin

iyi karışmasının sağlayabilmesi için prosese uygun şekilde ayarlanmış belli bir sıcaklıkta çalışırlar.

Tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderler aynı prensiple çalışır fakat onların da bazı farkları vardır.Tek vidalı ekstrüder vidanın sıcaklığı onun dönmesi ile sağlanır yani bu görev motorun yani vidayı tahrik eden parçanın üzrine düşer. Bunakarşın çift ve daha çok vidalı ekstruderler için dışarıdan ısıtma sistemi (ısıtıcılar) sağlanmalıdır.Ayrıca karışık konstoksüyona sahip olduğu için yüksek maliyetlidir ve karıştırma işlemlerini tekvidalı ekstrüdere göre daha iyi yapar. İşlenmesi zor olan malzemelerin karıştırılmasını yapmak için çift veya çok vidalı ekstrüderler daha avantajlıdır ve işlem daha kolaydır.



Şekil 2. 7: Tekvidalı ekstruderlerde farklı vida tipleri.

Tekvidalı ekstruderlerde vidaların genellikle 3 bölmesi vardır. Besleme ,sıkıştırma ve ölçme bölgesi. Besleme bölgesinde tanecik yapılı ham malzememiz huniden vidaya doğru gelerek ordan da ileriye sıkıştırma bölgesine itilir. Sıkıştırma bölgesinde malzemeler vida arasında

sıkıştırılarak erime işlemi gerçekleştirlir. Ölçme bölgesinde vida erime işlemi bitmiş malzemeleri ileriye doğru iter bu zaman vida karşı basınçla geri itilerek kalıbın malzeme ile dolmasını bekler daha sonra yüksek basınçla malzeme şekillendirici kafadan çıkar [30].

2.6. ENJEKSİYONLA KALIPLAMA

Enjeksiyonla kalıplama, parçaların büyük hacimlerde üretilmesine izin veren bir üretim sürecidir. Erimiş malzemeleri bir kalıba yüksek baslnçla enjekte edip şekllendirerek çalışır. Teknoloji yöntem oarak enjeksiyonla kalıplamada 15 g'dan 23 kg'a kadar malzemelerin üretimini sağlamak mümkündür. Tipik olarak, binlerce aynı ürünü üretmek için bir seri üretim süreci olarak kullanılır. Enjeksiyon kalıplama malzemeleri arasında metaller, camlar, elastomerler ve polimer kompozitler bulunur, ancak en yaygın olarak termoplastik ve termoset polimerlerle birlikte kullanılır.

Kullanılması. Enjeksiyonla kalıplamanın ilk aşaması, kalıbın kendisini oluşturmaktır. Çoğu kalıp metalden, genellikle alüminyum veya çelikten yapılır ve üretilecekleri ürünün özelliklerine uyacak şekilde hassas bir şekilde işlenir. Kalıp üreticisi tarafından kalıp oluşturulduktan sonra, parçanın malzemesi ısıtılmış bir varil içine beslenir ve helis şekilli bir vida kullanılarak karıştırılır. Isıtma bantları malzemeyi varil içinde eritir ve erimiş metal veya erimiş plastik malzeme daha sonra kalıbın şekline uygun olarak soğuyup sertleştiği kalıp boşluğuna beslenir. Soğutma süresi, suyu veya yağı harici bir sıcaklık kontrol cihazından sirküle eden soğutma hatlarının kullanılmasıyla azaltılabilir. Kalıp araçları, malzeme katılaştıktan sonra açılan plaka kalıplarına monte edilir, böylece ejektör pimleri parçayı kalıptan çıkarabilir.

Kalıplar tek veya çoklu boşluklardan yapılabilir. Çoklu boşluklu gözlü kalıplar, her bir boşlukta aynı parçalara sahip olabilir veya farklı geometrilerde parçalar oluşturmak için benzersiz olabilir. Alüminyum kalıplar, düşük mekanik özelliklere sahip olduklarından ve enjeksiyon ve kenetleme kuvvetleri nedeniyle aşınmaya, deformasyona ve hasara meyilli olduklarından, yüksek hacimli üretime veya dar boyut toleranslarına sahip parçalara uygun değildir. Çelik kalıplar daha dayanıklı olmakla birlikte alüminyum kalıplara göre daha pahalıdır. Enjeksiyon kalıplama işlemi, parçanın şekli ve özellikleri, parça ve kalıp için malzemeler ve kalıplama makinesinin özellikleri dahil olmak üzere dikkatli bir tasarım gerektirir. Sonuç olarak, enjeksiyon kalıplama sırasında dikkate alınması gereken çeşitli hususlar vardır.

Avantajlar. Enjeksiyonla kalıplamanın ana avantajı, çok sayıda parça üretmek için üretimi büyütebilmektir. Tasarımın ve kalıpların ilk maliyetleri karşılandıktan sonra, üretim fiyatı çok düşüktür. Daha fazla parça üretildikçe üretim maliyeti düşer. Enjeksiyon kalıplama, fazla malzemeleri kesen CNC işleme gibi geleneksel üretim süreçlerine kıyasla minimum fire üretir. Bundan başka yüksek hacimli üretimde parça güvenilirliği ve tutarlılığına izin veren birçok özdeş parçanın üretimine olanak sağlamasıdır.

Dezavantajları. Enjeksiyonla kalıplamanın avantajları olsa da, prosesin bir takım dezavantajları da vardır. Özellikle takımlama ile ilgili olarak, enjeksiyon kalıplama için ön maliyetler yüksek olabilir. Herhangi bir parça üretmeden önce bir prototip parçanın oluşturulması gerekir. Bu tamamlandığında, bir prototip kalıp aracının oluşturulması ve test edilmesi gerekir. Tüm bunların tamamlanması zaman ve para gerektirir ve maliyetli bir süreç olabilir. Ayrıca, **e**njeksiyonla kalıplama, büyük parçaların tek parça olarak üretilmesi için de ideal değildir. Bunun nedeni, enjeksiyon kalıp makinelerinin ve kalıp aletlerinin boyut sınırlamalarıdır. Bir enjeksiyon kalıplama makinesinin kapasitesi için çok büyük olan parçaların birden fazla parça olarak oluşturulması ve daha sonra birleştirilmesi gerekir.**Son olarak ise** büyük alt kesimlerin önlemek için deneyim tasarımı gerektirmesi ve projenize daha fazla masraf ekleyebilmesidir.

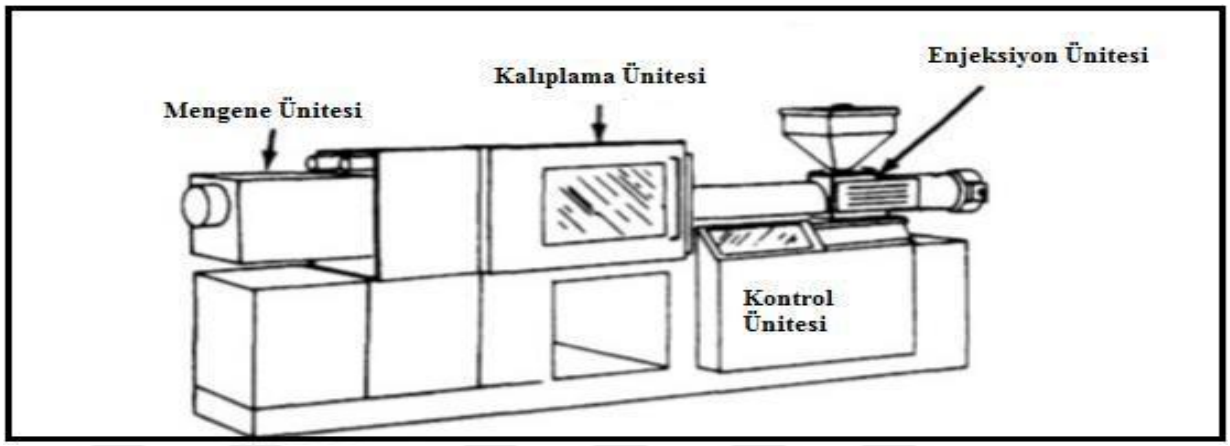


Şekil 2. 8: Klasik enjeksiyon kalıp.

Pkastik enjeksiyon makinesinin esas bileşenleri aşağıda gösterilmiştir.

- Enjeksiyon ünitesi
- Kalıplama ünitesi

- Mengene ünitesi



Şekil 2. 9: Enjeksiyon makinenin ana kısımları.

Enjeksiyon kalıplama makinesi ile ekstruderin çalışma prensipleri benzer diyebiliriz fakat aralarında bazı farklar da vardır bnunu aşağdakı tabloda görmek mümkündür[31].

Tablo 2. 5 : **Ekstrüder ve enjeksiyonla kalıplama makinelerinin karşılaştırılması.**

Karşılaştırma noktası	Ekstrüder	Enjeksiyon kalıplama
Vida	Sabit gövdede dönen	İleri-geri gidebilen ve dönen
Esas parça	Ekstürder kafası (die)	Enjeksiyon kalıp şekillendirme (mold)
Kesme	Flaş ve kırpma ile	Flaş ve kırpmasız
Fiyat	Çok ucuz	Pahalı
Dönme hızı	Yavaş	Hızlı

2.7. KARIŞTIRICILAR

Endüstriyel bir karıştırıcı, homojen bir son ürün oluşturmak için heterojen malzemeleri karıştırmak veya harmanlamak için tasarlanmış herhangi bir toplu işleme ekipmanı parçası olarak tanımlanabilir. Endüstriyel karıştırma makineleri, dünyanın her yerindeki işleme ve üretim tesislerinde bulunur ve genellikle gıdaları, kimyasalları, ilaçları, pestisitleri, ev ürünlerini, plastikleri ve mineralleri karıştırmak için kullanılır. Dünya çapında neredeyse yüzlerce mikser üreticisi var ve her biri düzinelerce farklı mikser pazarlayabilir. Bunların yaklaşık 10'u mikser pazarındaki satışların %55 ila %60'ını oluşturuyor. Daha küçük mikser üreticileri, bazıları küçük, özel şirketler ve diğerleri kurumsal holdinglerin derinliklerine gömülü olan farkı yaratıyor. Küresel bir perspektiften bakıldığında, taşınabilir endüstriyel pazar, müşteri tabanı kadar göz korkutucu olabilir ve yeni, geliştirilmiş ürünler için daha iyi ajitasyon talep edebilir.

Karıştırma, harmanlama ve ajitasyon birbirinin yerine kullanılan terimler olmasına rağmen, harmanlama, iki veya daha fazla katıyı mükemmel bir şekilde karıştırılmış bir duruma getiren, bazen ürüne az miktarda sıvı ekleyerek (hamur yapmak için unları karıştırmak) daha nazik bir işlemdir. Hem "karıştırma" hem de "çalkalama" terimleri, iki veya daha fazla sıvıyı, genellikle bir konsantrasyon ince katılar/parçacıklar (boyadaki metal pullar) ekleyerek homojen bir durumda birleştirmek için daha güçlü bir hareketi ifade eder.

Bazı endüstriler, normalde çok basit bir süreç olan "toplu" karıştırma kullanır. Malzemeler bir kaba konur, parti tamamen karıştırılır, ardından ürün farklı bir üretim aşamasına gönderilir. Mevcut parti ile bittiğinde, mikser ya hemen ya da günler sonra bir sonraki parti için hazır hale getirilir. Karıştırmanın diğer şekli, kabın sürekli olarak kendisine eklendiği ve sıvının sürekli çalkalandığı ve son ürün çıkarıldığı veya boşaltıldığı zaman 'sürekli'dir. *Sürekli* bir karıştırıcı uzun süre çalışır ve uykuda kalınan veya katılaşan karışımlar için kullanılır.

Temel olarak dört karıştırıcı kategorisi vardır. **Karıştırıcılar.** Bunlar, dökme katıları diğer katılarla karıştırmak için yapılır; aşağıdaki alt sınıflarda:

- **Konvektif karıştırıcılar:** kürek karıştırıcı, şerit karıştırıcı ve dikey vidalı karıştırıcı. Hareketle ısıyı iletir.
- **Tamburlu karıştırıcılar:** çift konili karıştırıcı, V şeklinde karıştırıcı ve eğimli karıştırıcı.

- **Akışkanlaştırma karıştırıcıları:** pulluk karıştırıcı, çift kanatlı karıştırıcı. Katıları sıvıymış gibi hareket ettirir.

Ajitatör: Akışkanları diğer akışkanlarla karıştırır, bazen gazları sıvılara dağıtır, ısı transferi ve katıların sıvılarda askıda kalması için dönen çarklar kullanarak aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- **Eksenel akış çarkları:** Bu çarklar, çark miline paralel bir akış oluşturarak 90 dereceden daha az açılıdır. (örnekler tekne pervaneleri ve eğimli kanatlı türbindir).

- **Radyal akış çarkları:** Bu tip çark kanadı, akışı çark yarıçapı boyunca çok farklı şekillerde boşaltır. Kanatlar çarkın eksenine paraleldir (örnekler kanatçık, düz kanatlı türbin ve ankrajdır).

Ağır Hizmet Tipi Karıştırıcılar (yüksek viskoziteli karıştırıcılar): Bu karıştırıcılar, macun tipi ve viskoz malzeme (yapıştırıcılar, zamklar, reçineler, macun, hamur vb.) için kullanılır ve değişken viskozite değişiklikleri olan malzemelere uyum sağlar. Aşağıdakileri içerirler: Çift kollu karıştırıcılar, çift ve üç şaftlı karıştırıcılar

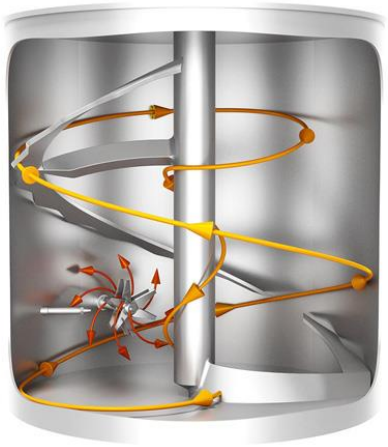
Taşınabilir Endüstriyel Karıştırıcılar: Bu tip karıştırıcılar çeşitlidir ve değişen kaplama endüstrisinin zorluklarına ayak uydurmak için benzersiz ve bireysel karıştırma yöntemleri sunar. Taşınabilir mikserler küçültülür ve laboratuvarlarda, Ar-Ge'de kullanılır ve büyük üretimde kullanılmak üzere büyütülür. Portatif karıştırıcılar en yaygın olarak varil kaplarında ve Tote® tanklarında (IBC) kullanılır.



Şekil 2. 10: V -koni karıştırıcı ve çift koni karıştırıcı.

Yukarıda bahsedilen karıştırıcıların bazı özellikleri.

- İçeri ve dışarı doğru karıştırma hareketleri ile azaltılmış karıştırma süreleri
- Tutarlı karışım kalitesi. Çalışma süresini azaltmak için kolay temizlik
- Hassas malzemeler için yumuşak hareket
- Karışık miktar başına azaltılmış güç tüketimi



Şekil 2. 11: Dikey tek şaftlı karıştırıcı / şerit karıştırıcı.

Şerit karıştırıcının içindeki spiral karıştırma bıçağı, karıştırma ürünlerinin üç boyutlu bir akışını başlatır ve çevrede sarmal bir yukarı hareket ve merkezde aşağı doğru bir akış oluşturur. Bu endüstriyel karıştırıcı, çok iyi karıştırma sonuçlarını ve tam deşarjı garanti eder. Kuru toz, ıslak süspansiyonların yanı sıra sıvılar, macun ve hamur için şerit karıştırıcı olarak kullanılabilir[32].

Tek şaftlı karıştırıcı / şerit karıştırıcının diğer özellikleri :

- Karıştırma işlemi dağılma gerektiriyorsa, yüksek hızlı kesme rotorları takılabilir.

- Şerit karıştırıcı, yalnızca tek bir üst yatak kullanılarak üstten sürülür.
- Karıştırıcı, sıhhi ve farmasötik gereksinimler dahil olmak üzere yüzey kalitesi için tüm endüstri standartlarını karşılar.
- Ceketli ve vakumlu versiyonlar ideal bir vakumlu kurutucu veya karıştırma reaktörüdür.

2.8. ÖĞÜTÜCÜLER

Değirmen, herhangi bir ürünü ezmek ve öğütmek içindir. Önceleri sadece rüzgar ve su ile çalıştırılsalar da, daha sonra elektrik motorları ile çalıştırılmaya başlandılar. Değirmen seçimi, birincil ürünün boyutuna bağlıdır. En küçük öğütücü, kahve çekirdeklerini öğüten bir makinedir.

Öğütücülerde, sabit bir iş parçasına karşı yerleştirilmiş bir döner kesme aleti bulunurken, değirmende, aynı zamanda sabit bir iş parçasına da yerleştirilmiş olan bir döner taşlama çarkı bulunur. Bununla birlikte, her biri farklı bir şekilde çalışan birkaç farklı öğütücü makinesi türü vardır.

Tezgah taşlama makineleri (değirmenler), tezgah benzeri şekilleri ile karakterize edilir. Genellikle iki farklı taşlama çarkına sahiptirler: biri malzemenin çıkarılması için, diğeri ise bitirme işlemleri için. Taşlama çarkları bir tezgahın üstüne sabitlendiğinden bunlara "tezgah taşlama makineleri" denir. Sonuç olarak, tezgah taşlama makineleri imalat işçilerinin kullanması için kolay ve kullanışlıdır.

Bant Taşlama Makinesi. Bantlı taşlama makineleri, bantlı zımpara kullanımı ile karakterize edilir. Diğer taşlama makineleri gibi, iş parçalarından malzeme çıkarmak, böylece iş parçalarını daha küçük ve daha pürüzsüz ve daha arzu edilen bir yüzeye sahip yapmak için tasarlanmıştır. Kayış taşlama ile, kayış aşındırıcı bir malzeme ile kaplanır ve ardından istenen sonuçlar elde edilene kadar iş parçasının yüzeyine karşı çalıştırılır. Bant taşlama, diğer malzemelerden yapılmış iş parçalarını da desteklemesine rağmen, en yaygın olarak metal iş parçalarında gerçekleştirilir.

Kalıp Taşlama Makinesi. Daha küçük ve daha temel bir taşlama makinesi türü, bir kalıp taşlama makinesidir. Burada listelenen diğer makinelerin aksine, kalıp taşlama makineleri elde taşınır. Makinenin taşlama çarkına güç sağlamak için çalışan bir hava kompresörüne bağlanırlar. Bir hava kompresörü kullanılmıyorsa, kalıp taşlama makinesi muhtemelen bir elektrik motorundan güç alacaktır.

Dişli Taşlama Makinesi. Dişli taşlama makineleri, özellikle değirmenlerden malzeme çıkarmak için tasarlanmıştır. Taşlama çarkları kullanarak bir milin merkezini aşırı hassasiyetle taşlayabilirler.

Yüzey Taşlama Makinesi. Bu makineler, ayarlanabilir bir kafaya sahip oldukları için benzersizdir. Yüzey taşlama makinesindeki kafa, iş parçasına indirilebilir. İndirildikten sonra, kafa makinenin taşlama çarkının altında ileri geri dönebilir. Bant taşlama makineleri tipik olarak bitirme işlemleri için kullanılırken, yüzey taşlama makineleri en yaygın olarak malzeme kaldırma için kullanılır. Diğer taşlama makineleriyle karşılaştırıldığında, yüzey taşlama makineleri önemli miktarda malzemeyi kaldırabilir ve bu da onları bu tür uygulamalar için arzu edilir hale getirir [33].



Şekil 2. 12: Genel öğütücüler.

2.9. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Doğal dolgulu kompozitler hakkında yapılan çalşmalar aşağda değiştirlmiştir.

Sentetik elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitin pahalı maliyeti, daha az pahalı ve verimli yöntemlerin kullanılmasını gerektirmiştir (Brahman Kumar 2004). [34].

Rahmat and Muhamad (2005), Hindistan cevizi kabuğu ile yaptıkları çalışmada elde etdikleri mekanik özellikler, daha yüksek hindistan cevizi kabuğu tozu içeriği, plastik filmin yırtılma mukavemetini ve elastikiyet modülünü arttırdığını tespit etmişler. Özelliklerin geri kalanı, elyaf ve polimer matris arasındaki yapışma eksikliğinden dolayı nitelendirilmişler[35].

Tarımsal lif atıklarının en etkin şekilde kullanılabileceği alanlardan biri de plastik sektörüdür. Ayrıca son yıllarda plastik esaslı ürünlerin fiyatlarının artması, plastiklere uygun maliyetli katkı elyaflarının eklenmesini zorunlu kılmıştır. Bunun çok küçük bir miktarı ve Türkiye'de yaklaşık üç milyon ton plastik atık vardır ve geri dönüşümle uğraşmaktadır (Rowell 1995; MENCELOĞLU 2006).[36]

(Menceloğlu ve ark. 2002; Kurt ve ark. 2002; Korucu ve Menceloğlu, 2007). Açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'de yakılan atıkların büyük bir kısmı mevcut olup, çoğunluğu çöplüklere bırakılarak bertaraf edilmektedir [37].

Kompozitlerin bileşenleri, kimyasal ve fiziksel davranışlarını önemli ölçüde korumuş, ancak ayrı bileşenlerin tek başına sağlayamayacağı kohezif bir yapı üretmektedir[38] (Taj ve diğerleri, 2007).

Tanemb (2008). Sunta, kontrplak, orta yoğunluklu sunta, sunta ve kaplama ürünleri gibi kompozit ahşap ürünlere olan talep son zamanlarda dünya genelinde belirgin bir şekilde artmıştır[39].

Marcia ve ark. (2009), farklı otomobil üreticileri, panellerde doğal lifli ısıyla şekillendirilmiş kompozitler kullanılmasına dair o zamanlarda bilgi edinmiş, en çok kullanılan doğal liflerin olduğunu (talaş, jüt, hindistan cevizi, şeker kamışı küspesi, keten, kenevir, hindistan cevizi kabuğu ve sisal) tartışmıştır.Çalışmada doğal takviyeli kompozitlerin bertaraf edildikten sonra, yakılsa bile, bitki lifleri az miktarda kalıntı üretilmesine ve atmosfere bitki büyümesi sırasında kendilerinin kullandıklarından daha az karbondioksit vermesine değinilmiştir[40].

Bledzki ve ark. (2010), arpa kabuğu ve hindistan cevizi dolgulu polipropilen kompozit malzemenin incelenmesinde arpa kabuğu takviyeli kompozitlerin yumuşak ahşap kompozitlerden %10 daha iyi çekme mukavemeti gösterdiğini tespit etmişler. Hindistan cevizi kabuğu ve arpa kabuğu kompozitlerin, yumuşak ahşap kompozitlere göre sırasıyla %80 ve %40 daha iyi kopmada uzama ve %20 ve %35 daha iyi charpy darbe dayanımına sahip olduğuna değinmişlerdir [41].

Pirinç kabuğu, hindistancevizi kabuğu, hurma çekirdeği kabuğu vb. ucuz bitki (doğal) lifleri, azaltılmış toplam maliyeti olan yeni bir polimer kompoziti geliştirmek için polimerlerde takviye olarak kullanılmıştır (Harish 2008; ve Andrzej ve diğerleri. 2010)[42].

Cheng ve ark. (2012), düşük yoğunluklu polietilenele farklı tür doğal takviyeli malzemelerin karışımından mekanik özelliklerin önceden ısıtıldığna göre (gerilme mükavimeti, uzama) düşüş sağladığını veya azaldığını, ısıl özelliklerinde biraz değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca içlerinde kullanılan fındık kabuğunun temizleme ve cilalama için iyi bir aşındırıcı olduğuda bilinmektedir bu sebepden dolayı elde edilen kompozitin iyi aşınma direncine sahip olduğunu test edilmiştir[43].

Khan ve ark. (2012), çalışmalarında deterjanla yıkanmış tembul fındık lifi (DWBn) ve alkali ile işlenmiş betel fındık lifi (ABn) gibi yüzeyi modifiye edilmiş lifler arasında, ABn lifinin DWBnPP ve tembul/pp kompozitlerine kıyasla üstün mekanik özelliklere sahip mükemmel kompozit ürettiğini göstermiştir. Bu araştırmanın bulgu sonuçları, Khan ve arkadaşlarını polimer matrislerde yüzeyi modifiye edilmiş betel somunu lifi kullanarak gelişmiş kompozitler hazırlamaları konusunda teşvik etmiştir[44].

Salasinska (2020), YYPE geri dönüşümünün ince öğütülmüş fındık kabukları ile fiziksel modifikasyonu, bina uygulamaları için ucuz ve değerli bir malzeme sağladığınıa değinmiştir. Ayrıca, bu araştırmaya dayalı olarak kullanılan bitki dolgusunun malzemelerin sertliğini arttırdığını ve %26 kabuk paylı karışımlarda çekme mukavemetini de iyileştirdiğini tespit edip tavsiye etmişlerdir. İncelemelerinde tüm NFC'lerde olumsuz yönü, kopma uzamasının azalması görmüşler. Bu malzemelrin dış uygulamalarda yararlı olmasına esas nedeni kompozitin ısıl özellikleriden dolayı-onları ortam atmosferinde güvenli bir şekilde kullanılabilir hale getirmesi ve su emme yeteneklerinin düşük olmasıdır[45].

Santamaria ve ark. (2012), çalışmalarında, hindistan cevizi/DYPE (düşük yoöunluklu polietilen) kompozit malzemenin yapısında (gözeneklikte azalma) doğal dolgulu malzemenin artmasıyla değişikliğe uğradığını farketmişlerdir ki, bu özellik, kompoziti, iyi hidrofobik özelliklere sahip malzemelerin gerekli olduğu bir otomobilin iç kısmında uygulama için uygun hale getirir. Benzer şekilde, üretilen kompozit, mukavemetin kritik bir gereklilik olarak kabul edilmediğini, vb. otomobilin diğer iç kısımlarında faydalı olabilirliğini vurgulamışlardır [46].

Kestane endüstrisinin ürettiği atıklar arasında yapraklar, budama atıkları, çapaklar ve kestane kabukları sayılabilir. Bu kalıntılar genellikle toprakta kalır ve böceğin larvalarının büyümesini teşvik edebildikleri için ekinlere zarar verebilir (Vázquez et al. 2012)[47].

Alessandro ve ark. (2013), polipropilenle hurma taşı ununun karışımından yapılan kompzoit malzemenin üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, uyumlaştırıcı olarak kullanılan etilen-bütil akrilat-glisidil metakrilat (EBAGMA) varlığında ve yokluğunda hurma taşı ununun (DSF) polipropilen (PP) kompozitlerin morfolojisi, ısıl ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. PP matrisine ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 yükleme oranlarında DSF eklenirken, uyumlulaştırıcı miktarı dolgu içeriğinin yarısına sabitlenmiştir. Çalışma, taramalı elektron mikroskobu analizi yoluyla, EBAGMA uyumlulaştırıcının PP matrisinde DSF'nin dağılımını ve ıslanabilirliğini geliştirdiğini göstermiştir.

Termogravimetrik analiz (TGA), PP matrisine kıyasla tüm kompozit malzemeler için başlangıçtaki (Tonset) bozunma sıcaklığında hafif bir düşüş gösterirken, ısıl bozunma hızının daha yavaş olduğunu vurgulamıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) verileri, kompozitteki PP'nin erime sıcaklığının malzemeler neredeyse değişmeden kaldığı belirlenmiş. Bundan başka, DSF'nin çekirdeklenme etkisi, uyumlaştırıcı tarafından azaltıldığı gözükmüştür .

Ayrıca, DSF'nin dahil edilmesi, PP kompozitlerin sertliğinin artmasıyla, buna eşlik eden hem gerilme hem de kopma gerilmesinde önemli bir azalma ile sonuçlandığını fark edilmiştir. EBAGMA'nın PP/DSF kompozitlerine eklenmesi, EBAGMA'nın elastomerik etkisinden dolayı sünekliği önemli ölçüde iyileştirmiştir [48].

Essabir ve ark.(2013), badem kabukları parçacıkları, polipropilen olarak termoplastik bir matriste takviye olarak kullanılmıştır. Çeşitli partikül içeriği ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25, 30 için uyumlaştırıcılı ve uyumlaştırıcısız maleik anhidrit aşılı polipropilen içeren badem kabuğu

partikülleri ile üretilmiş kompozitlerin mekanik, ısıl ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Kompozitler çift vidalı bir ekstrüderde hazırlanmış ve X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümü infrared spektroskopisi (FT-IR), termogravimetrik analiz (TGA), çekme testi ve Dinamik Mekanik Analiz (DMA) vasıtasıyla değerlendirilmişrir. Elde etdikleri sonuçlara göre, matriste badem kabuğu partiküllerinin maleik anhidrit uyumlulaştırıcı olmadan ve uyumlaştırıcı ile kullanılmasından kaynaklanan mekanik ve reolojik özelliklerde, ağırlıkça %30 partikül yüklemesinde, Young modülünde sırasıyla %56.2 ve %35'lik bir artışına karşılık gelen net bir gelişme göstermiştir. Isıl analiz, partiküllerin kompozitlere dahil edilmesinin, ilk ısıl bozunma sıcaklıklarında artışa neden olduğunu ortaya koyulmuştur[49].

Mohsen ve ark. (2013), çalışmalarında, faydalı fiziko-mekanik özelliklere sahip PP/ceviz kabuğu unu kompozitleri yapmak için ceviz kabuğu ununun başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmanın deneysel sonuçlarına göre, PP/ceviz kabuğu unu kompozitlerinin eğilme ve çekme özelliklerinin, ağırlıkça %3 organo-kil ilavesiyle iyileştiğini göstermiştir. Ayrıca, organo-kil içeriğindeki artışla kompozitlerin su emme ve kalınlık şişmesinin azaldığını, ek olarak, ağırlıkça %6 MAPP'nin eklenmesi, kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini ağırlıkça %4 oranında arttıdığını teyit etmişlerdir[50].

Chen ve ark. (2013) Hindistancevizi liflerinin ve MA-g-PP'nin Homo PP bazlı kompozitlerin morfolojisi ve mekanik ve ısıl özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Hindistan cevizi liflerinin eklenmesi ile, gerilme modülün ve darbe mukavemetinin artış gösterdiği, ancak gerilme mukavemetinin değerinin azaldığı vurgulanmıştır. Bundan başka, hindistan cevizi liflerinin ve MA-g-PP uyumlaştırıcısının miktarının artırılması bükülme modülünü önemli ölçüde değiştirmediğini, hindistan cevizi lifi içeriğinin artması, stres transferinin aglomerasyonu ve konsantrasyonundan dolayı sırasıyla çekme gerilimi ve modülünde gösterildiği gibi ilgili PP kompozitlerinin kırılganlığında ve sertliğinde bir artış olduğuna değinilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, ağırlıkça %20 fiber takviyeli Homo PP kompozitlerinin ve ağırlıkça %5 hindistan cevizi lifi içeriği (20/5) MA-g-PP'nin ağırlık ve malzeme maliyetinde azalma için en optimum kompozitler olduğu gösterilmiştir[51].

Hamidreza ve ark. (2013), üre-formaldehit (UF) reçinesi kullanarak ceviz/badem dolgulu kompozit ürünü test etmişlerdir. Ceviz/badem parçacıklarının eklenmesi, panellerin su direncini önemli ölçüde iyileştirdiği ve formaldehit emisyonlarını büyük ölçüde azalttığını değinilmiştir. Aynı zamanda, panellerde artan ceviz/badem kabuğu içeriği ile eğilme özellikleri ve iç bağ

mukavemetinin azalması da farkedilmiştir. Ceviz/badem kabukları, daha düşük kalınlıkta şişme, su emme ve formaldehit emisyonu nedeniyle iç ortamlarda kullanılan ahşap esaslı yonga levhaların imalatında alternatif bir hammadde veya dolgu maddesi olarak değerlendirmişler. Ayrıca, yeterince kullanılmayan bu malzemelerin orman endüstrisinde kullanılması orman kaynakları üzerindeki baskıyı azaltabileceği ve bazı iş fırsatları yaratılabileceği sunulmuştur[52].

Seong Chun ve ark. (2014), Çalıştığı PLA/CSP biyokompozitlerinin çekme dayanımları ve kopma uzamalarının, dolgu içeriğinin artmasıyla azaldığı ve elastisite modüllerinin arttığnı vurgulamışlardır. Tg (camsı geçit sıcaklğı) Xc'deki artışı veya azalımı ile artmış veya azalmış olduğunu nitelendirilmiştir. Xc, dolgu maddesinin çekirdeklenme ve dolgu dağılımını hızlandırma kabiliyetine göre değişiklik göstermiştir. Lignoselülozik dolgu maddesinin çekirdekleştirici etkisini, PLA/CSP biyokompozitleri için bir Tc zirvesinin belirlenmesiyle kanıtlamışlar[53].

Shahidi ve diğerleri ve Locatelli ve diğerleri, özellikle fındık kabuğundan ve sert kabuktan ekstrakte edilen yan ürünlerin, yeni ve etkili doğal antioksidanların güvenilir bir kaynağı olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. [54].

Kakao söz konusu olduğunda, taze meyvenin ağırlıkça sadece %10'u ticarileştirilirken, geri kalan %90'ı (esas olarak küspe ve kabuk kabuğu) atık veya yan ürün olarak atılır. Figueira ve diğerleri tarafından belgelendiği gibi, bazı geri dönüşüm girişimleri halihazırda gerçekleştirilmiştir. [55].

Gurbanov ve arkadaşları, fındık kabuğu unu ile polipropilen (PP) kompozitleri inceleyerek kabukların polimer kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılabileceği bulmuştur. [56].

Ülkemiz yıllık 350-600 bin ton üretim ile dünya fındık üretiminin %65-70'ini sağlamaktadır. Bu miktarın çoğu kabuksuz olarak satılır ve kabuk kısmı genellikle yakıt olarak kullanılır ve çok önemsiz bir kısmının toz haline getirilerek çikolata gibi bazı gıda maddelerinde gıda katkı maddesi olarak kullanıldığı bilinmektedir (Yıldırım 2007). [57].

Çevre dostu malzemelere olan talebin artması, dünya çapında tarımsal atık malzemelerden kompozit malzemelerin üretilmesine olan ilgiyle sonuçlanmıştır. Tarımsal kalıntılar, ucuz, kolay işlenebilir, bol ve yenilenebilir oldukları için lignoselülozik malzemelere mükemmel

alternatif malzemelerdir. (Singh ve diğerleri, 2018; Ashori & Bahreini, 2009; Arzumanova & Kakhramanov, 2020). [58].

Plastik sektörü, tarımsal atıkların en etkin şekilde kullanılabileceği alanlardan biridir. Organik malzemelerle doldurulmuş polimer kompozitlerin düşük yoğunluk, yüksek özgül özellikler, düşük higroskopiklik ve yüksek boyutsal kararlılık gibi bazı avantajları, bazı tarımsal atıkların polimer kompozitlerde dolgu ve takviye elemanı olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Nitin ve Singh, 2012). [59].

Fındık kabukları, tarımın yan ürünleri olarak elde edilebilen yenilenebilir lignoselülozik malzemelerin kaynaklarından biridir. Genellikle kompost, malç, gübre ve hayvan yemi gibi nispeten ucuz uygulamalarda kullanılırlar (Guney , 2013). [60].

Son zamanlarda, polimer kompozitler için dolgu maddesi olarak olası uygulamaları incelenmiştir (Mrowka ve diğerleri, 2021). [61].

Asya, daha fazla kestane üretimi (dünya üretiminin yaklaşık %70,9'u) ile kıtayı temsil etmekte ve onu yaklaşık %19,5 ile Avrupa izlemektedir. Portekiz'de yaklaşık 38.000 ha kestane vardır (dünya üretiminin %6,3'ünü temsil eder). Portekiz'de kestane üretimi 1982-2018'den bu yana 17.290 tondan 34.165 tona yükselmiştir. Kabuk yüzdesinin tüm kestane ağırlığının %10 ila %15'i arasında değişebileceği göz önüne alındığında, CS 2018'de 5.125 tona kadar çıkmıştır[62].

Portekiz'de kestane üretimi çoğunlukla ülkenin kuzeyinde, özellikle de Trás-os-Montes'te %86,6'da yoğunlaşmaktadır ve 2016'da yaklaşık 53 milyon avroluk hasılat elde eden tüm ulusal kestane ihracatının %81'i ile hala büyümektedir (ATLAS 2017). [63].

Bu fiber matris uyumsuzluğu ve zayıf ıslatma sorununu çözmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, liflerin kimyasal olarak işlenmesini, kısa zincirli moleküllerin ve polimerlerin lif yüzeyine aşılanmasını ve birleştirme ajanlarının veya uyumlaştırıcının kullanımını içermektedir. Yüzey işlemi için kullanılan kimyasallar arasında silan, akrilik asit ve maleik anhidrit bulunur (Herrera-Franco 2004; Tengku-Faizal, 2010 ve Salmah, 2012). [64].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu kısımda yapılacak kompzoit malzeme için kullanılan ürünlerin adları ve onların özellikleri kullanım alanları avantaj ve dezavanyajları kullanılacak makineler onların çalşma yöntemleri özellikleri ve kompozit malzemenin yapılması yöntemi vurgulanacaktır.

3.1. FINDIK KABUĞU (FK)

Fındık, fındık ağacının (Coryllus avellana L.) meyvesidir. Aslen Anadolu ve Yunanistan'dandır, ancak on dokuzuncu yüzyılda Avrupa'ya yayılmıştır. Dünyadaki en büyük üreticiler, toplam üretimin %70 ila %80'ini temsil eden Türkiye (USDA, 2010), Azerbaycan ve Amerika Birleşik Devletleri'dir. Portekiz, üreticiler sıralamasında 16. sırada yer alıyor ve bu ürün ülkede 624 hektarlık ekili alana sahip ve yılda yaklaşık 350 ton kabuk veriyor. 2003 yılında Portekiz'de iki bölge, yani Beira Litoral ve Trás-o Montes, sırasıyla %52 ve %37 ile tüm ulusal üretimin neredeyse %90'ını temsil ediyordu (Silva ve diğerleri, 2005). InBeira Litoral'ın en temsili alanı, fındık üretiminin çoğunlukla dağınık, genellikle çevrelenmiş ve diğer kültürlerle ilişkili olduğu Viseu civarındadır. Bu bölgede fındık kabukları sadece yakma amacıyla kullanılmaktadır. Bu kalıntının yeni kullanımları, bu yan ürüne bir miktar değer katabilecekleri ve üretici şirketler üzerinde olumlu bir etkisi olabileceği için memnuniyetle karşılanmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan fıdnık kabuğu iyi temizlenmiş şekilde Karadeniz bölgesinden 40 kg çuvalda “MTN KALP SAN L.T.D” tarafından getizdirilmiş, nem kapmaması açısından karanlık ve kuru yerde stoklanmıştır[65].

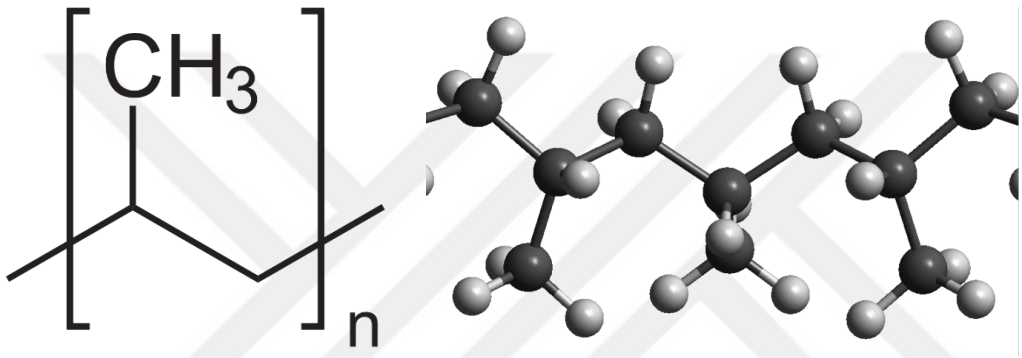


Şekil 3. 1: Fındık kabuğu (Hazelnut shell).

3.2. POLİPROPİLEN (PP)

Polipropilen (PP), propilen monomerlerinin kombinasyonundan yapılır. Tüketici ürünleri için ambalajlar, otomotiv endüstrisi dahil olmak üzere çeşitli endüstriler için plastik parçalar, hareketli menteşeler gibi özel cihazlar ve tekstiller için çeşitli uygulamalarda kullanılır.

Polipropilen ilk olarak 1951'de Paul Hogan ve Robert Banks adlı bir çift Phillips petrol bilimcisi ve daha sonra İtalyan ve Alman bilim adamları Natta ve Rehn tarafından polimerize edildi. İtalyan kimyager Profesör Giulio Natta'nın ilk polimerize etmesinden üç yıl sonra ticari üretim başladığından, son derece hızlı bir şekilde öne çıktı.



Şekil 3. 2: Polipropilen.

Natta, 1954'te İspanya'da ilk polipropilen reçineyi mükemmelleştirdi ve sentezledi ve polipropilenin kristalleşme yeteneği büyük heyecan yarattı. 1957'de popülaritesi patladı ve Avrupa çapında yaygın ticari üretim başladı. Bugün dünyada en çok üretilen plastiklerden biridir.

Bazı raporlara göre, malzemeye yönelik mevcut küresel talep, yıllık yaklaşık 45 milyon mt'luk bir pazar oluşturuyor ve talebin 2020 yılına kadar yaklaşık 62 milyon mt'a yükseleceği tahmin ediliyor.

Polipropilenin başlıca son kullanıcıları, toplamın yaklaşık %30'unu tüketen ambalaj endüstrisidir ve bunu, her birinin yaklaşık %13'ünü kullanan elektrik ve ekipman imalatı izlemektedir. Beyaz eşya ve otomotiv sektörlerinin her ikisi de %10'luk bir pay tüketirken, bunu %5 ile inşaat malzemeleri takip ediyor.

Tablo 3.1 : **PP (enjeksiyon kalımplama için özel) özellikleri (TOSAF SAN L.T.D).**

Çarpi etkisi (23°C çentikli)	>3 KJ/m^2
Kül miktarı	27.5-32.5 gr/ml
Çekme Modülü	>2700 MPa
Erime sıcaklığı	191-232°C
Tipik Enjeksiyon Kalıp Sıcaklığı	32 - 66 °C (90 - 150 °F)
Isı Sapma Sıcaklığı (HDT)	1,8 MPa'da 64 °C
Kurutma	2 saat 110 °C
VICAT B (50)	94°C
Enjeksiyon basıncı	69-103 MPa
Yoğunluk	1.14 gr/ml
Akımda çekme	>27 MPa
Akımda uzama	>%3
Çarpi etkisi (23°C)	25 KJ/m^2
Erime hacmi oranı	4 ccm/10 dk
Yanıcılık	pas

Polipropilen, enjeksiyon kalıplama için çok kullanışlı bir plastiktir ve tipik olarak bu amaç için peletler halinde mevcuttur. Polipropilen, yarı kristal yapısına rağmen kalıplanması kolaydır ve düşük erime viskozitesi nedeniyle çok iyi akar.

Bu özellik, bir kalıbı malzemeyle doldurma hızınızı önemli ölçüde artırır. Polipropilende büzülme yaklaşık %1-2'dir ancak tutma basıncı, tutma süresi, eriyik sıcaklığı, kalıp duvar

kalınlığı, kalıp sıcaklığı ve katkı maddelerinin yüzdesi ve türü gibi bir dizi faktöre bağlı olarak değişebilir.Konvansiyonel plastik uygulamalara ek olarak, polipropilen elyaf uygulamalarına da uygundur. Bu, ona sadece enjeksiyon kalıplamanın ötesine geçen daha geniş bir kullanım yelpazesi sunar. Bunlara ipler, halılar, döşemeler, giysiler ve benzerleri dahildir.

Polipropilenin Avantajları Nelerdir?

- Polipropilen kolayca temin edilebilir ve nispeten ucuzdur.
- Polipropilen, yarı kristal yapısından dolayı yüksek eğilme mukavemetine sahiptir.
- Polipropilen nispeten kaygan bir yüzeye sahiptir.
- Polipropilen nemi emmeye karşı çok dirençlidir.
- Polipropilen, çok çeşitli bazlar ve asitler üzerinde iyi kimyasal dirence sahiptir.
- Polipropilen iyi yorulma direncine sahiptir.
- Polipropilen iyi bir darbe dayanımına sahiptir.
- Polipropilen iyi bir elektrik yalıtkanıdır.

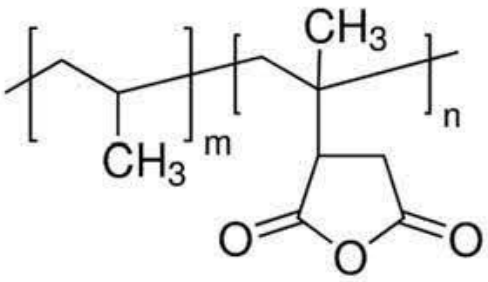
Polipropilenin Dezavantajları Nelerdir?

- Polipropilen, yüksek sıcaklık uygulamalarını sınırlayan yüksek bir termal genleşme katsayısına sahiptir.
- Polipropilen UV bozulmasına karşı hassastır.
- Polipropilen, klorlu solventlere ve aromatiklere karşı zayıf bir dirence sahiptir.
- Polipropilen, zayıf yapışma özelliklerine sahip olduğu için boyamanın zor olduğu bilinmektedir.
- Polipropilen son derece yanıcıdır.
- Polipropilen oksidasyona karşı hassastır.

Çalışmada kullanılacak polipropilen injeksiyon kalıplama için özel seçilmiş 20 kg çuvalda ‘’MTN KALIP SAN L.T.D’’ tarafından temin edilmiştir[66].

3.3. MALEİK ANHİDRİT AŞILANMIŞ POLİPROPİLEN (PP-g-MA)

PP-g-MA (Polipropilen-graft-maleik anhidrit), uyumlulaştırıcı olarak çalışan ve cilalara kayma direnci, dolgulu polipropilen ve polimer alaşımları için birleştirme katkı maddesi, pigment dağıtıcı ve plastikler için işleme yardımcısı olarak çalışan kristalli, izotaktik, modifiye edilmiş bir homopolimerdir. Özelliklerine göre, yüksek erime noktalı, sert, emülsifiye edilebilir bir polimerdir ve hidrofilik özellikler kazandırmak için maleik anhidrit ile aşılanmıştır [4].



Şekil 3. 3: Maleik anhidrit aşılanmış Polipropilen.

Başlatıcı olarak benzoil peroksit (BPO) ile polipropilen-graft-maleik anhidridin (PP-g-MA) bir sentezi paslanmaz çelik bir reaktörde 120°C'de 1 saat boyunca gerçekleştiriliyor. Aşılama derecesi (GD), polipropilen (PP) içine aşılanmış MA monomeri hesaplanarak belirleniyor[67].

Tablo 3.2 : Polipropilen aşılanmış maleik anhidrit uyumlaştırcısının özellikleri.

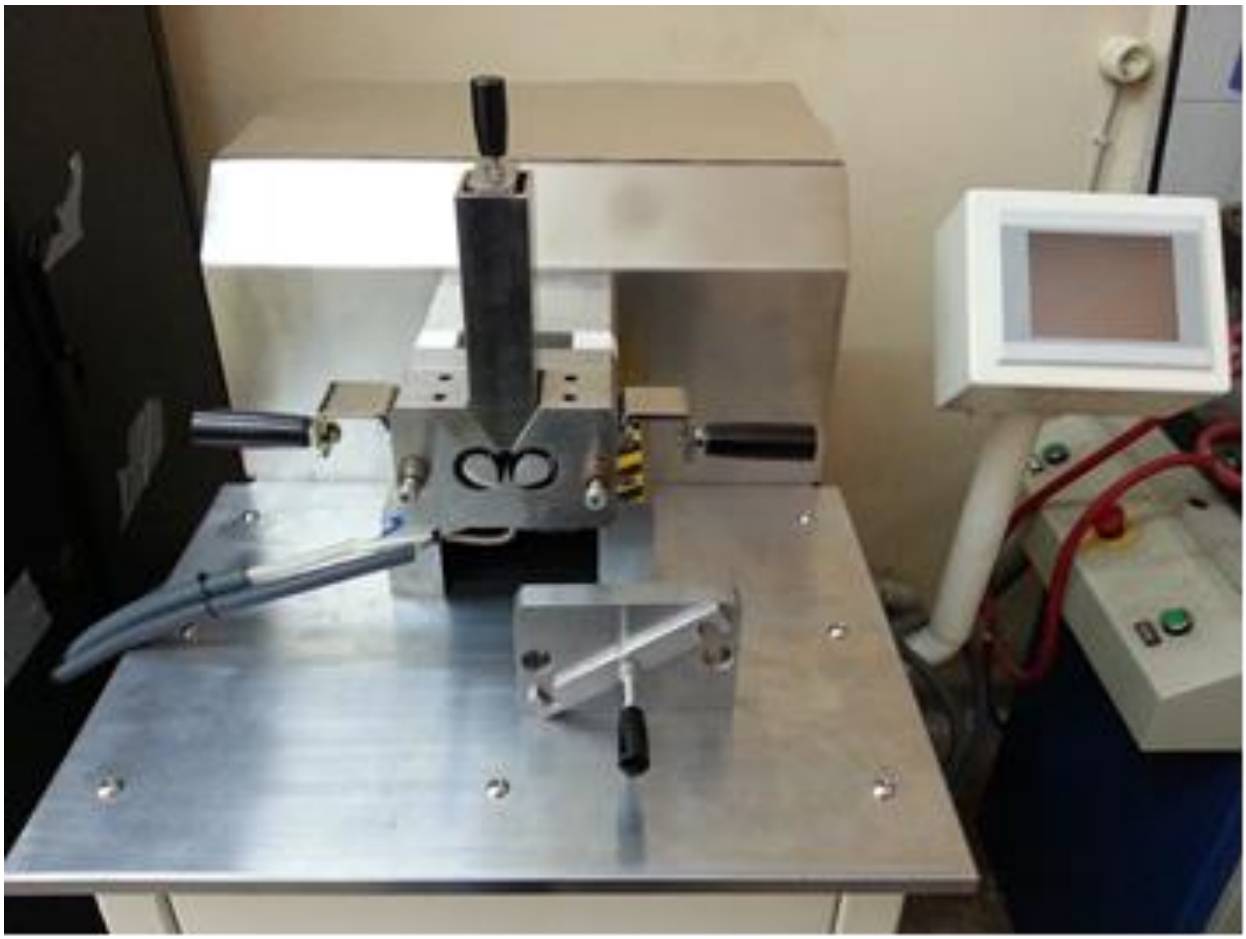
Kompozisyon	**maleik anhidrit, ağırlıkça 5 %**
Viskozite	4.0 poise (190 °C, Brookfield Thermosel) (lit.)
Erime sıcaklığı	156 °C
Asit numarası	47 mg KOH/g
Geçiş sıcaklığı yumuşama noktası	157 °C
Yoğunluk	25 °C'de 0,934 g/mL

3.4. KOMPOZİTLERDE KULLANILACAK MAKİNE VE TEST CİHAZLARI.

Bu tez için kullanılan her bir makina ve test cihazlarının özellikleri iş prensiplerine ve diğer bilgilere değinilmiştir.

3.5. KARIŞTIRICI VE KALIPLAMA CİHAZI

Hazırlanan ürünlerin hepsi (KökBir marka, RTX-M40 model) 25 cm3 kapasiteli mikserde karıştırıldıktan sonra sonra şekillendirmek için çift kademeli sıcak ve soğuk presden oluşan "Gülnar Makina" (15 ton) presden kalıplanmıştır.



Şekil 3. 4: KökBir marka, RTX-M40 model.



Şekil 3. 5: Gülnar çift kademeli pres makinası (15 ton).

3.5.1. LABORATUVAR MİKRONİZE ÖĞÜTÜCÜ VE ELEKLER.

Öğütücü “DEMSAN” markalı olup maksimum 200 g kapasitesi, 28000R/dak en fazla 2 dakika öğütebilen makinadır. Kullanılan dolgu maddesi fındık kabuğu tam kapasite ile öğütüldükten sonra farklı aralıklarda (farklı mikronlarda) “Retsch” markalı 50, 100, 250, 500 mikron eleklerde elendi.



Şekil 3. 6: Demsan öğütücü ve Retsch elek seti.

3.5.2. KURUTUCU

Fındık kabuğunun kurutma işlemleri "Elektromag M3025 P kurutma stabilizatörü" adlı cihazda yapılıyor. Gıda, kimya, otomotiv, boya, tekstil, plastik, elektrik-elektronik sanayilerinin kalite kontrol laboratuvarlarında çok amaçlı ısıtma ve kurutma işlemlerinde kullanılır.



Şekil 3. 7: Laboratuvar kurutucusu.

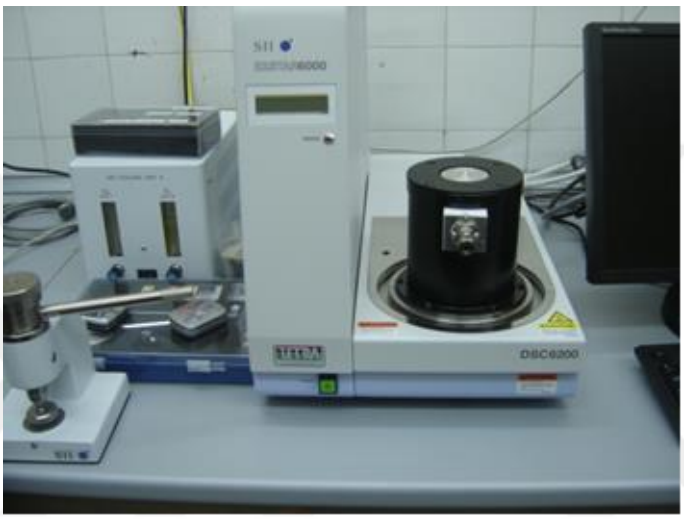
Kurutucunun bazı özellikleri aşağıdakı tabloda verilmiştir:

Tablo 3.3 : Kurutucunun özellikleri.

Isıtıcı gücü	**850 W**
Termostat çalışma hassaslığı	±1 ℃
Sıcaklık aralığı	5℃.....+250℃ (ortam sıcaklğı yüzünden)
Isıtma süresi	1.....9999 dakika
Sigorta	6 Amper
İç hacmi	24 litre

3.5.3. DSC TEST CIHAZI (Diferensial Taramalı Kalorimetre)

Yaygın olarak "diferansiyel taramalı kalorimetri" testi olarak da adlandırılan DSC testi, belirli bir numune malzemesiyle ilgili olarak belirli ısı kapasitesi, faz değişikliklerinin sıcaklığı, erime noktaları ve daha fazlası gibi özellikleri ölçmek için tasarlanmış bir süreçtir. Bu özellikler genel olarak termal geçişler olarak sınıflandırılabilir. Bu, referans malzemelerle karşılaştırıldığında birlikte çalıştığınız malzemelerin oksidasyonu, bileşimi ve kristalliğindeki değişiklikleri belirlemesine yardımcı olur.

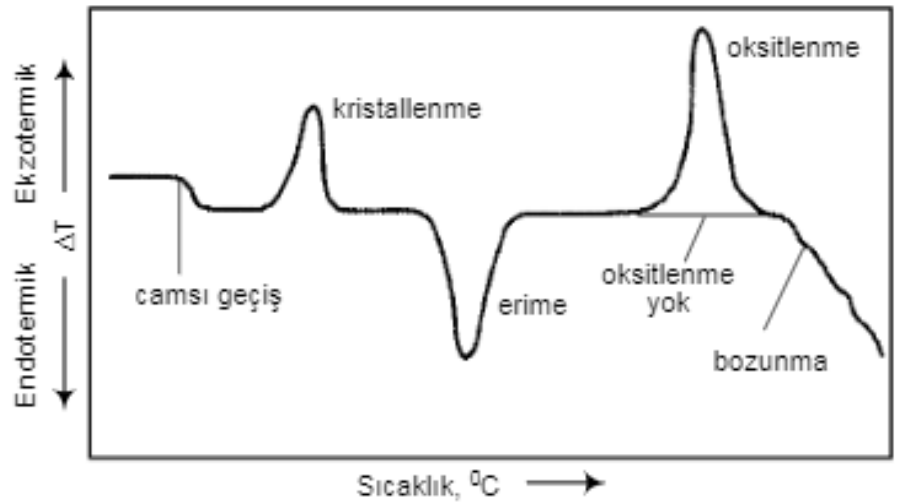


Şekil 3. 8: DSC (Hitachi marka, ExStar DSC 6200 model).

. Testin kapsamlı yapısı ve genel çok yönlülüğü nedeniyle, DSC testinin kendisi, aşağıdakiler dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere çok çeşitli farklı uygulamalarda kullanılmaktadır:

- ✓ Tamamen Polimerin Sıcaklık Geçmişine Değil Dolgu Malzemesinin Miktarı ve Türüne de Bağlı olan Plastik veya Cam Esaslı Malzemeler Gibi Malzemelerin Geçiş veya Yumuşama Sıcaklıklarının Ölçülmesi
- ✓ Bazı Organik Bileşiklerle İlişkili olduklarından Faz Geçiş Enerjileri Gibi Karakteristiklerle Birlikte Kristalleşme ve Erime Sıcaklıklarının Ölçülmesi
- ✓ Belirli Bir Malzemenin Termal Kararlılığı
- ✓ Polimerlerin Reaksiyon Kinetiği
- ✓ Amorf Polimerlerin Camsı Geçiş Sıcaklığı (Tg)

- ✓ Oksidasyon Sıcaklığı
- ✓ Oksidasyon Enerjisi
- ✓ Polimer Erime Sıcaklığı
- ✓ Polimer Füzyon Isısı



Şekil 3. 9: DSC grafik tanımı.

ATS ("Uygulamalı Teknik Servisler") tarafından sunulan kapsamlı DSC analizi ile örneğinize ilişkin aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi faktörü doğru bir şekilde belirleyebileceksiniz [68] :

- ✓ Polimerlerinizin Daha Sert, Daha Kırılgan Bir Halden Daha Yumuşak, Daha Lastiksi Bir Duruma Geçtiği Sıcaklık, Cam Geçiş Sıcaklığı (Tg) olarak da bilinir.
- ✓ Belirli Bir Kristal Polimerin Erimeye Başladığı Sıcaklık
- ✓ Eritme İşlemi Sırasında Bir Örnek Polimerin Emebileceği Toplam Enerji Miktarı
- ✓ Hem Isıtma hem de Soğutma İşlemleri Sırasında Bir Polimerin Kristalleşmeye Başladığı Tam Sıcaklık
- ✓ Kristalizasyon Süreci Sırasında Örnek Bir Malzemenin Serbest Bıraktığı Toplam Enerji Miktarı ve Daha Fazlası

3.5.4. YOĞUNLUK TESTİ

Yoğunluk, hem fiziksel hem de günlük terimlerle, belirli bir tanımlanmış alan içindeki bir şeyin konsantrasyonunu ifade eder, genellikle "kütle yoğunluğu" anlamına gelir ve bu nedenle birim hacim başına madde miktarını ifade eder. Yoğunluk ve ağırlık arasındaki ilişki hakkında çok sayıda yanlış anlama vardır. Bunlar anlaşılabilir ve çoğu kişi için bunun gibi bir incelemeyle kolayca anlaşılır.

Ek olarak, bileşik yoğunluk kavramı önemlidir. Birçok malzeme doğal olarak her biri kendi yoğunluğuna sahip bir karışımdan veya elementlerden veya yapısal moleküllerden oluşur veya bunlardan üretilir. İlgilenilen öğede tek tek malzemelerin birbirine oranını biliyorsak ve bunların tek tek yoğunluklarına bakabilir veya başka bir şekilde bulabilirsek, o zaman bir bütün olarak malzemenin bileşik yoğunluğunu belirlemek mümkündür.

SI (uluslararası standart) birimleri kg/m3'tür, çünkü kilogram ve metre sırasıyla kütle ve hacim için temel SI birimleridir. Bununla birlikte, birçok gerçek yaşam durumunda, mililitre başına gram veya g/ml daha uygun bir birimdir. Bir ml = 1 santimetreküp beraberdir (cc).

Yoğunluğu tayin eden Piknometre, çalışma sıvısında (saf su) çözünmeyen homojen katı nesnenin yoğunluğunu belirlemek için de kullanılabilir. İlk olarak, eklenen nesne m0+mS ile birlikte piknometrenin ağırlığını ölçmemiz gerekir. Daha sonra,su ekleyerek m´H2O (ağırlık m0+mS+ mH2O) ağırlığını belirliyoruz[69].



Şekil 3. 10: Piknometre (10 ml).

Eklenen suyun hacmi V(su) şu şekilde elde edilebilir:

$$V'_{su} = \frac{\boldsymbol{m'(H2O)}}{\boldsymbol{\rho(H2O)}}$$

Ölçülen katı nesnenin *VS* hacmi, boş piknometreyi (V) dolduran suyun hacmi ile suyun hacmi arasındaki farktır.

$$V_s = \mathrm{V} - \mathrm{V'}_{SU} = \frac{m(H2O) - m'(H2O)}{\rho(H2O)}$$

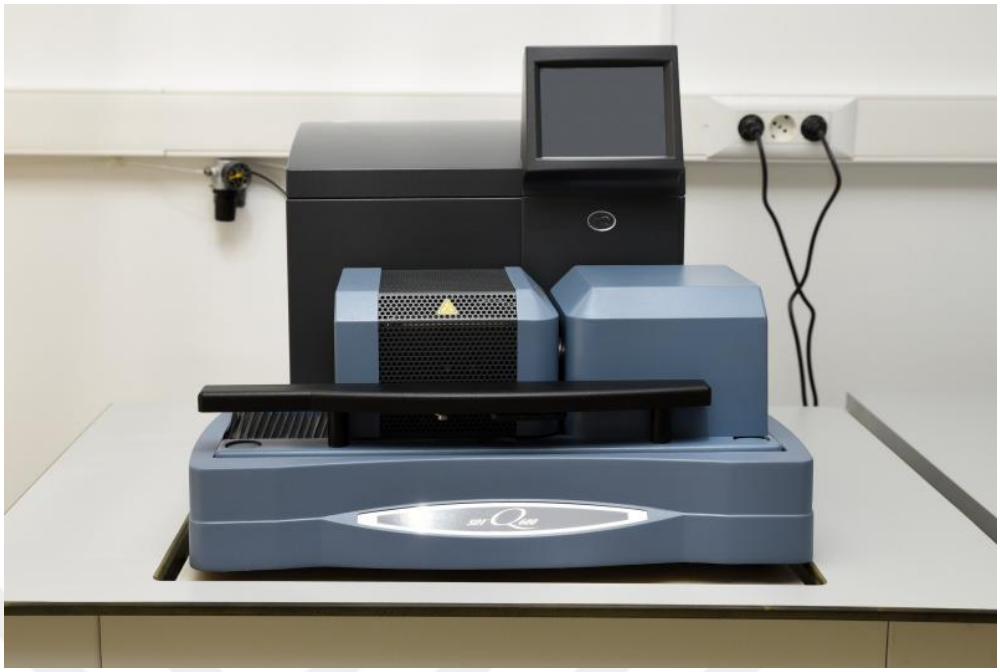
Ölçülen nesnenin yoğunluğu *ρS* daha sonra şu şekilde hesaplanabilir:

$$\rho S = \frac{mS}{Vs}$$

3.5.5. TGA TEST CİHAZI (Termogravimetrik analiz)

Termogravimetrik Analiz (TGA), çeşitli farmasötik, gıda, çevre ve petrokimya uygulamalarında kullanılan malzemeleri karakterize etmek için kullanılan dikkate değer bir tekniktir. TGA, ürünlerinizin bileşimini, saflığını, bozunma reaksiyonlarını, bozunma sıcaklığını ve emilen nem içeriğini ölçer.

TGA analizi, bir malzemenin kütlesindeki değişimin hem zaman hem de sıcaklık açısından anlaşılmasını sağlar. Bu yöntemde numune ortam sıcaklığından nitrojen veya havada 1000 dereceye ısıtılır, ardından yarı uçucu bileşikler, polimer bozunması, kül içeriği, karbon siyahı ve nem nedeniyle oluşan ağırlık kaybı hesaplanır. Yüzey soğurulan çözücünün kaybı, kristal kafes içindeki çözücüden ve bozunma kayıplarından ayırt edilebilir. Ölçümler, kontrollü nem ve oksijen konsantrasyonuna sahip ortamlarda, etkin madde ile, etkin maddeler arasında ve etken maddeler ile eksipiyanlar veya ambalaj malzemeleri arasındaki etkileşimleri ortaya çıkarmak için yapılır.



Şekil 3. 11: TGA test cihazı.

Yöntem: TGA analizi, fırının dışında kalan bir analitik terazide ağırlık ölçülürken, bir fırında numunenin sıcaklığının kademeli olarak yükseltilmesiyle gerçekleştirilir.

Termogravimetrik analiz cihazı, numuneyi bir fırına koyarak belirli bir sıcaklıkta numunenin ağırlığındaki değişiklikleri ölçer. Termogravimetrik analizde elde edilen sonuç, sürekli bir grafik kaydı, şematik, tipik, tek adımlı bir ayrışma reaksiyonu olarak görünür. Ayrıca nem ve kül testi yapıyoruz. Bu süreçte numunenin kütlesindeki değişiklikler kesintisiz olarak izlenir. Sonuç olarak, belirli bir malzemenin kütlesindeki değişiklikleri derinlemesine anlarız. TGA için ISO 11358 standartları kullanılmaktadır. Katı ve sıvılarda uygulanabilir[70].

TGA'dan ne alıyoruz? :

- Numune kompozisyonunun doğru anlaşılmasını sağlamak için içerik belirlemenin rutin analizinde faydalıdır.
- Belirli ortamlara maruz kaldığında numune malzemelerinin reaktif aşındırıcılığının anlaşılmasına yardımcı olur.
- TGA, değişen sıcaklıklara maruz kaldığında boyut, şekil ve toplam kütledeki değişiklikleri analiz eder.

- Test edilen malzemelerin kütle değişiminin doğru ayrıntılarını verir.
- Çok çeşitli malzeme karakterizasyon hedefleri için gerekli verileri sağlar.
- Farmasötik ilaçların stabilitesini belirler.
- Kantitatif kompozisyon analizine izin verir.
- Bir mineralin, inorganik bileşiğin veya organik malzemenin saflığını belirler.
- Bir malzemedeki su/karbon içeriğinin veya diğer artık çözücülerin belirlenmesine yardımcı olur.
- Hava, oksijen veya diğer reaktif gazlarla reaksiyonların analizine izin verir.

TGA malzeme analizi:

- Bu işlem, malzemelerdeki reaksiyonları ve fiziksel değişiklikleri zorlamak için ısı kullanır.
- TGA, geçiş ve termal bozunma ile ilişkili malzemelerdeki kütle değişiminin nicel ölçümünü sağlar.
- Bir numunenin zaman ve sıcaklıkla dehidrasyonu, ayrışması ve oksidasyonundan kaynaklanan kütle değişimini kaydeder.

3.5.6. ÇEKME-KOPMA TEST CİHAZI

Bir numunenin mekanik davranışının gerilim ve sıkıştırma koşulları altında değerlendirilmesi, bileşen tasarımı ve hizmet performans değerlendirmesi için kritik olan temel malzeme özelliği verilerini sağlamak üzere gerçekleştirilebilir. Çekme ve basma mukavemeti değerlerine ilişkin gereksinimler ve bu özelliklerin test edilmesine yönelik yöntemler, çok çeşitli malzemeler için çeşitli standartlarda belirtilmiştir. Test, işlenmiş malzeme numunelerinde veya gerçek bileşenlerin tam boyutlu veya ölçekli modellerinde gerçekleştirilebilir. Bu testler tipik olarak evrensel bir mekanik test cihazı kullanılarak gerçekleştirilir.



Şekil 3. 12: Jinan Instruments marka, WDW-20 model (20 kN)**.**

Çekme testi, eksenel çekme yüklemesi altındaki malzemelerin davranışını belirlemek için bir yöntemdir. Testler, numunenin test aparatına sabitlenmesi ve ardından test makinesi çaprazkafalarının ayrılmasıyla numuneye bir kuvvet uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Çaprazkafa hızı, test numunesindeki gerinim oranını kontrol etmek için değiştirilebilir. Testten elde edilen veriler, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve elastisite modülünü belirlemek için kullanılır. Testten sonra numune boyutlarının ölçülmesi, malzemenin sünekliğini karakterize etmek için alan ve uzama değerlerinin azaltılmasını da sağlar. Metaller, plastikler, lifler, yapıştırıcılar ve kauçuklar dahil olmak üzere birçok malzeme üzerinde çekme testleri yapılabilir. Test, ortam altı ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir.

Bir basma testi, malzemelerin bir sıkıştırma yükü altındaki davranışını belirlemek için bir yöntemdir. Basma testleri, test numunesini iki plaka arasına yükleyerek ve ardından çaprazkafaları birlikte hareket ettirerek numuneye bir kuvvet uygulayarak gerçekleştirilir. Test sırasında numune sıkıştırılır ve uygulanan yüke karşı deformasyon kaydedilir. Basma testi, elastik limit, orantısal limit, akma noktası, akma mukavemeti ve (bazı malzemeler için) basınç mukavemetini belirlemek için kullanılır[71].

3.5.7. SU ABSORBSİYON TESTİ

Su emme, belirli koşullar altında emilen su miktarını belirlemek için kullanılır. Su emilimini letkileyen faktörler şunları içerir: plastik türü, kullanılan katkı maddeleri, sıcaklık ve maruz kalma süresi. Veriler, malzemelerin su veya nemli ortamlardaki performansına ışık tutuyor. Su emme testi için numuneler etüvde belirli bir süre ve sıcaklıkta kurutulur ve daha sonra soğuması için desikatöre yerleştirilir. Numuneler soğuduktan hemen sonra tartılır. Materyal daha sonra kararlaştırılan koşullarda, genellikle 23°C'de 24 saat boyunca veya dengeye gelene kadar suda açığa çıkar. Numuneler çıkarılır, tüy bırakmayan bir bezle kurulanır ve tartılır. Numunelerin boyutları ise kalıplanmasından dolayı ASTM D570 standartına göre değişiyor. Örneğin yapılacak çalışmada disk şeklinde olduğu için ASTM D570 göre iki inç çaplı diskler, 0,125" veya 0,250" (3,175 ve 6,35 mm uygun olarak) kalınlığında olmalıdır[72].

3.6. FINDIK KABUĞUNUN ÖĞÜTÜLMESİ, KURUTULMASI, ELENMESİ VE AYRIŞTIRILMASI

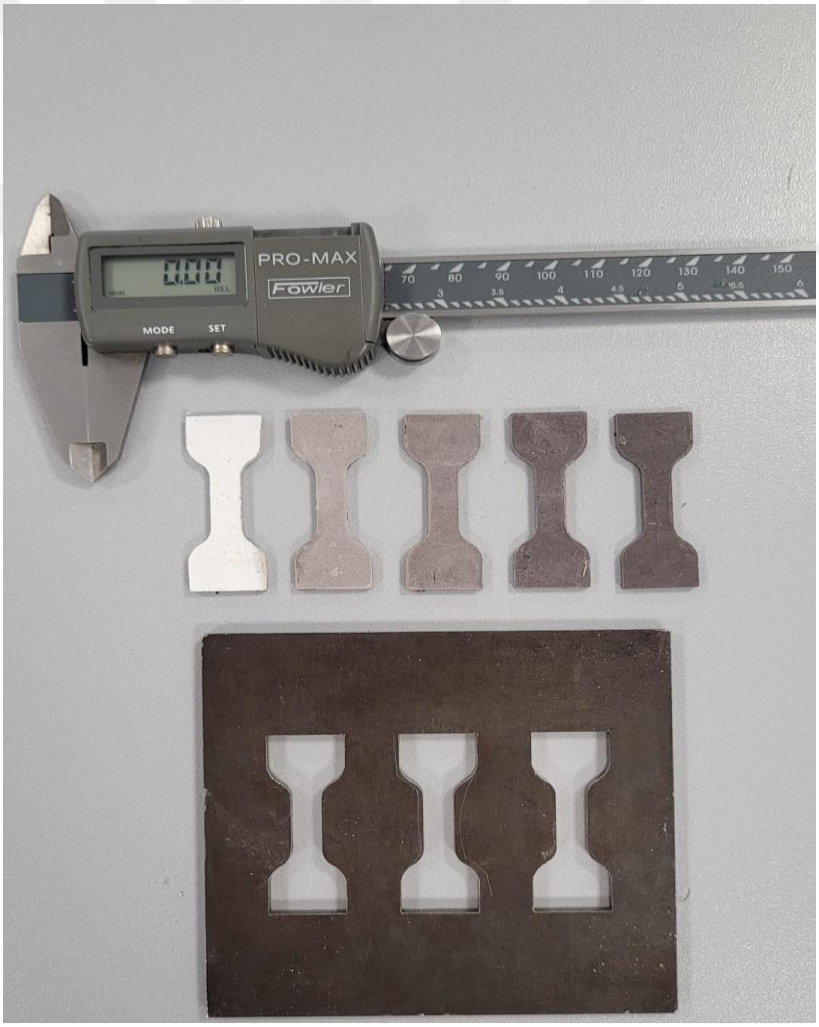
Birinci aşama. Fındık kabuğu ilk önce “DEMSAN” 200 g kapasiteli öğütücüsünde 4 dk (30 saniye aralıkla karıştırılarak) optimum zaman zarfında 184 g öğütüldü. Daha sonra “Retsch” marakalı eleklerde (50-100, 100-250, 250-500 μm) 15 dk müddetinde elenen fındık kabuğu tozu ayrı-ayrılıkta hassas terazide tartılarak 3 numune polietilen poşetlere dolduruldu. Bundan sonrakı işlemlerde, FK tozu 105 ℃ de “Elektromag M3025 P” kurutucusunda 24 saat boyunca kurutulmuş, (nem oranı 0,99-0,86-0,94) soğutulması için desikatörün içersine yerleştirilmiştir.

İkinci aşama. DEMSAN” 200 g kapasiteli öğütücüde aynı şartlarda 4 dk (1 dakika aralıkla karıştırmakla) 564,3 g toplam fındık kabuğu öğütülerek toz haline getirildi ve hemen hemen 45 dk müddet zarfında yine de “Retsch” markalı “50-100, 100-250, 250-500 μm-luk” elekler setinden oluşan makinede elendi. Sonra, numuneler 105 ℃ de “Elektromag M3025 P” kurutucusunda 24 saat aralığında aluminyum folyo üzerinde kurutuldu (nem oranı uygun olarak

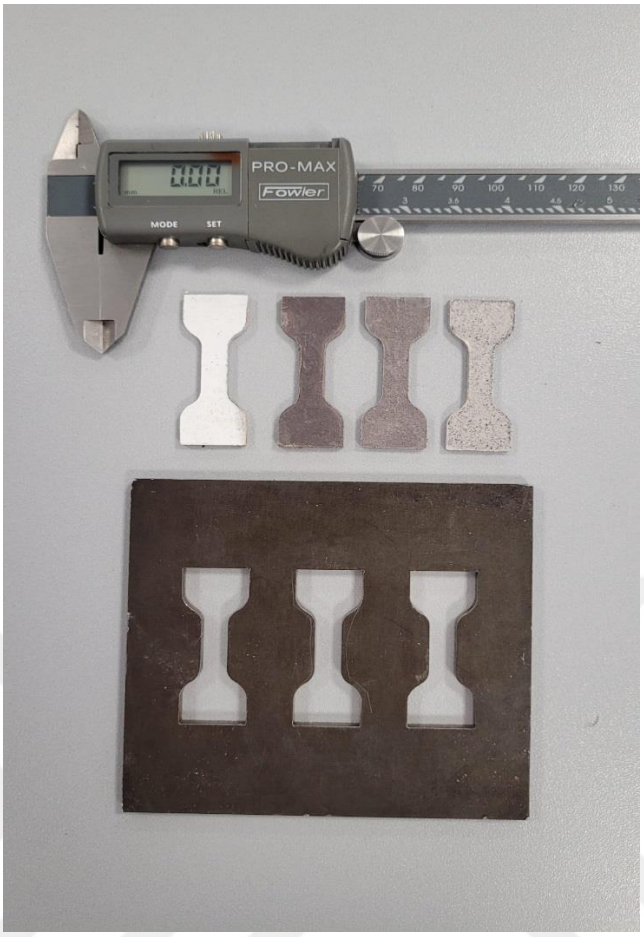
0,8745-0,8961-0,8981) ve ayrılıkta polietilen poşetlere doldurularak desikatörün içersine bir kaç günlüğüne yerleştirirldi.

3.7. POLİMER KOMPOZİTİN HAZIRLANMASI

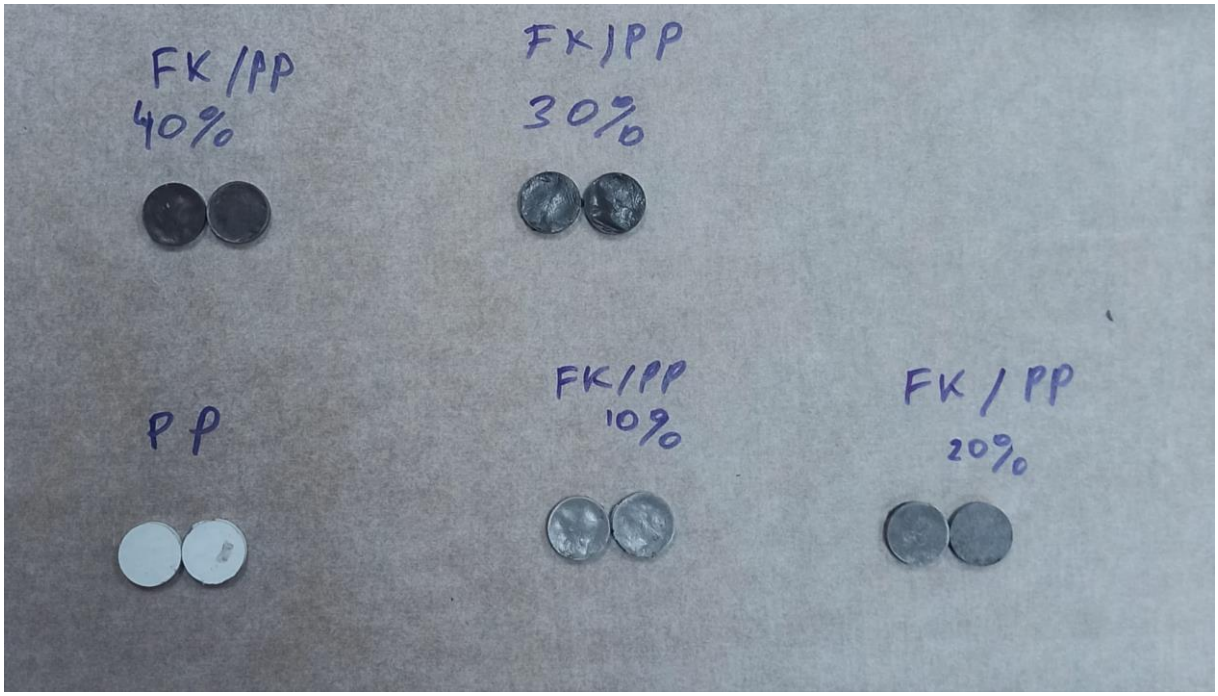
Desikatörden çıkarılan soğutulmuş doğal takviye-fındık kabuğu 4 farklı oranda (%10-20-30-40) ve 3 farklı tanecik boyutu aralığında (50-100, 100-250, 250-500 μm) , "% 8-10 % ve 0,6 oranda uyumlaştırıcı (PP-g-MA) ve (%70/30) polimer matris (PP/Talk) dahil tüm malzemeler gramlarla hassas terazide tartılarak hazırlandı. "KökBir marka, RTX-M40 model" karıştırıcısında önceden belirlenen rejimde karıştırıldı, sonar ise çift kademeli sıcak ve soğuk "Gülnar makina" (15 ton) presden geçirilerek 11 tane kompozit ürün elde edildi.



Şekil 3. 13: FK/PP oranına göre değişen numuneler.



Şekil 3. 14: Tanecik boyutu farkına göre numuneler.



Şekil 3. 15: Su absorbsiyonu için dolgu/matris oranına göre özel kalıplanmış numuneler.

4. BULGULAR

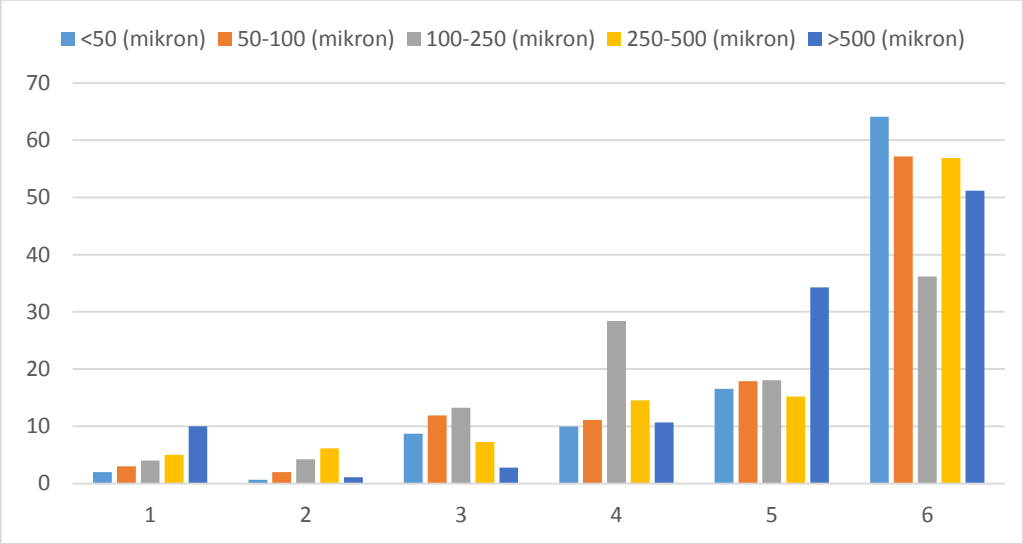
Bu kısımda çalışma zamanı kullanılan malzemelerin (fındık kabuğu, polipropilen, uyumlaştırıcı PP-g-MA,) oranlarını ve miktarını, kullanılan makinelerin (öğütücü, kurutucu, elekler, karıştırıcı, test cihazları) optimal çalışma rejimlerinin tayini ve yapılan testlerin sonuçları haqqında bilgileri içerir.

4.1. ELEK ANALİZİ

Öğütme işlemleri 2, 3, 4, 5, 10(kurutulmuş) dakika yapıldıktan sonra ayrı ayrılıkta 5 tane küçük kavanoza doldurulan numuneler tek tek elekler setinden 15 dakika zaman zarfında elendi. Daha sonar elenen fındık kabukları tartılarak mikronlara göre ayrıştırıldı. Dağılma oranının hangi zamanda daha iyi olduğunu belirlemek için yapılan hesaplamalarda alınan sonuçlar aşağıdakı grafik ve tabloda verilmiştir. Görünüşe göre en iyi dağılım 4 dk zamandadır.

Tablo 4 1: Tanecik boyutuna göre dağılım oranları

Tanecik		2 dakika	3 dakika	4 dakika	5 dakika	10dakika (k)
		%	%	**%**	%	%
<50 µm	1	0,67	2	**4,21**	6,14	1,11
50-100 µm	2	8,77	11,88	**13,22**	7,27	2,78
100-250 µm	3	9,92	11,10	**28,43**	14,5	10,64
250-500 µm	4	16,52	17,87	**18,03**	15,19	34,27
>500 µm	5	64,12	57,15	**36,2**	56,9	51,2
Toplam		100	100	**100**	100	100



Şekil 4 1: Tanecik boyutlarına göre dağılım oranları.

Nem oranı tayini. Nem oranını belirlemek için iki tane petri kabında, öğütülmüş fındık kabuğudan (4 dk olan) 1 gram hassas terazide tartılarak ayrı-ayrı etüvlerde 105 ℃ sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur.105℃-de sıcaklıkta sonuç olarak (9,45 %) belirlenmiştir.

Malzemelrin miktarının ve karıştırma rejiminin belirlenmesi. Aşağıdakı tabloda verilen oranlara ve karıştırıcının kapasitesine uygun olarak malzeme miktarları gramlara göre hesaplanmıştır:

Tablo 4 2 : **Kullanılan malzemelerin miktarı**.

Oran	PP	FK	PP-g-MA	Toplam	PP	FK	PP-g-MA	Toplam	PP-g-MA/FK	FK/PP-g-MA
10	22,5	2,5	0,42	25,42	0,89	0,10	0,02	1,00	0,168	5,9524
20	20	5	0,83	25,83	0,77	0,19	0,03	1,00	0,166	6,0241
30	17,5	7,5	1,25	26,25	0,67	0,29	0,05	1,00	0,167	6
40	15	10	1,66	26,66	0,56	0,38	0,06	1,00	0,166	6,0241

Tablo 4 3: Karıştırma rejimi.

Kapasite	25 cm^3
Tayin olunan sıcaklık	195 ℃
Tayin olunan çalışma süresi	10 dakika (2 dk yüklenme; 8 dk çalışma)
Dönme hızı	75 d/dk, RPM

Karıştırma zamanı tayin olunan sıcaklık polipropilenin DSC-si çekilmesinden sonra erime sıcaklığına göre (142-187,3 ℃ aralık) belirlenmiştir, aynı zamanda çalışma süresi polimer kompozit malzemeler için 5-10 dk aralığında olduğuna göre [20] maksimum 10 dakika seçilmiştir.

Tablo 4 4 : Kullanılan malzemelerin oranı**.**

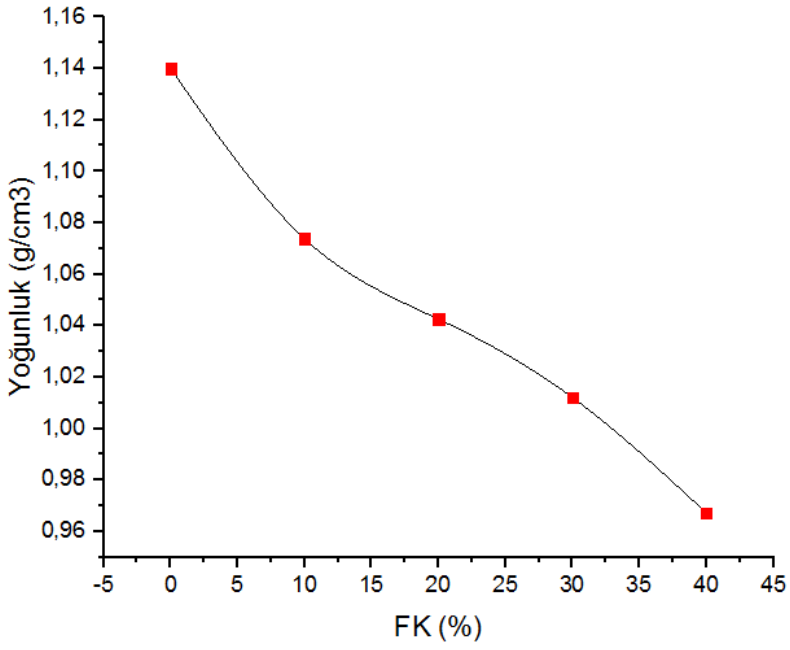
Numuneler	PP (%)	PP-g-MA (%) kullanılan	PP-g-MA (%)bileşim oranı	FK (%)	Partikül boyut (µm)
PP	100	0	0	0	-
1)	70	0	0	30	250-500
2)	65	5	8-10	30	250-500
3)	65	5	0,6	30	250-500
4)	65	5	0,6	30	100-250
5)	65	5	0,6	30	50-100
6)	85	5	0,6	10	50-100
7)	85	5	0,6	10	100-250
8)	75	5	0,6	20	50-100
9)	75	5	0,6	20	100-250
10)	55	5	0,6	40	50-100
11)	55	5	0,6	40	100-250

4.2. YOĞUNLUK TESTİ

İnjeksiyon kalıplama için "TOSAF SAN L.T.D" tarafından sunulan Polipropilenin yoğunluğu (1,14 g/ml) olduğunu bildiyimiz halde diğer kompozit malzemelrin yoğunluğunu ona kıyaslayacak şekilde yapabiliriz. Malzemeler 50-100 µm tanecik boyutunda, 0;10;20;30;40 dolgu oranlı olmuştur. Yoğunluğu tayin etmek için piknometre (10 ml) kullanılmıştır. Oda sıcaklığı **25 ℃** de olduğu için referanslara bakıldığında **ρ(distille su)= 0,99705 (g/cm3)** olduğunu göre biliriz. Sonuç olarak hesaplamalardan aşağıdakı tablo ortaya çıkıyor.

Tablo 4 5 : Oranlara göre numunelerin yoğunluğu.

Numuneler	**Yoğunluk (g/cm^3)**
PP	1,1400
%10 FK	1,0738
%20 FK	1,0425
%30 FK	1,0121
%40 FK	0,9672



Şekil 4 2: PP/FK oranlarına göre yoğunluk grafiki.

4.3. DSC ANALİZİ

DSC analizi yapılma şartları 4 aşamalı olmuştur.Burada bir tane polipropilen ve 4 kompozit numune dahil toplam 5 numune kullanılmıştır. Farklı yüzdelerde (10;20;30;40) kullanılan fındık kabuğu 50-100 µm tanecik boyutundadır.

1) Numuneler ilk olarak oda sıcaklığından 230 °C'ye kadar hava atmosferinde 10°C/dk hızla ısıtılmıştır.

2) Sonra 230°C'de 5dk bekletilmiştir.

3) Daha sonra 230°C'den oda sıcaklığına kadar 5°C/dk hızla soğutulmuştur.

4) Son aşamada ise oda sıcaklığından yinede 230 °C'ye kadar hava atmosferinde 10°C/dk hızla ısıtılmıştır.

Tablo 4 6 : Oranlara göre birinci erime verileri.

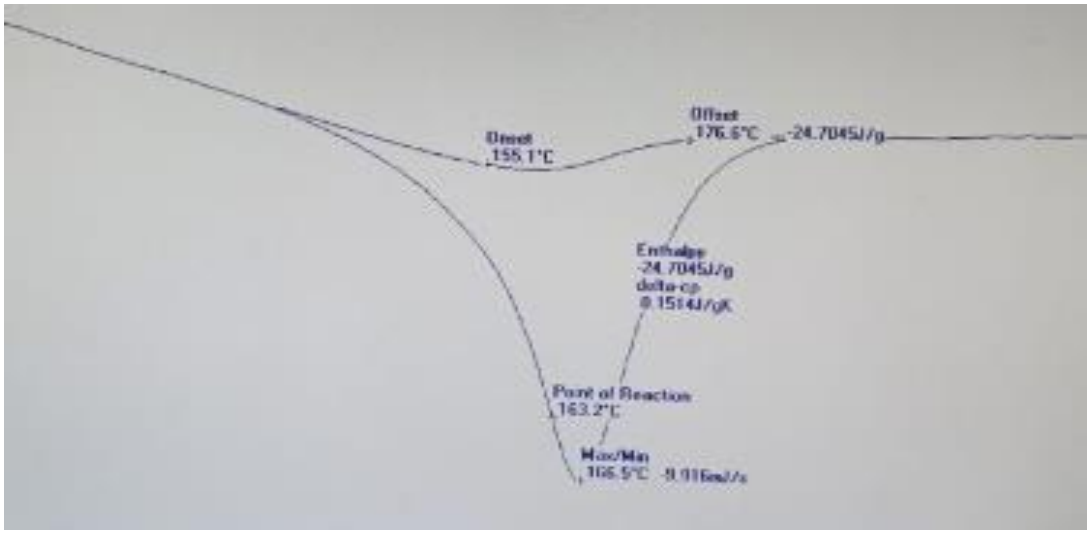
	T_{on} (°C)	T_{off} (°C)	T_{tepe} (°C)	ΔH_m (J/g)
PP	157,4	177,3	167,4	-37,81
%10 FK	153,5	178,1	166,8	-32,26
%20 FK	152,4	176,9	165,8	-30,27
%30 FK	155,1	176,6	166,5	-24,71
%40 FK	152,2	173,6	164,4	-20,41

ΔH_m-Erime entalpisi (J/g)

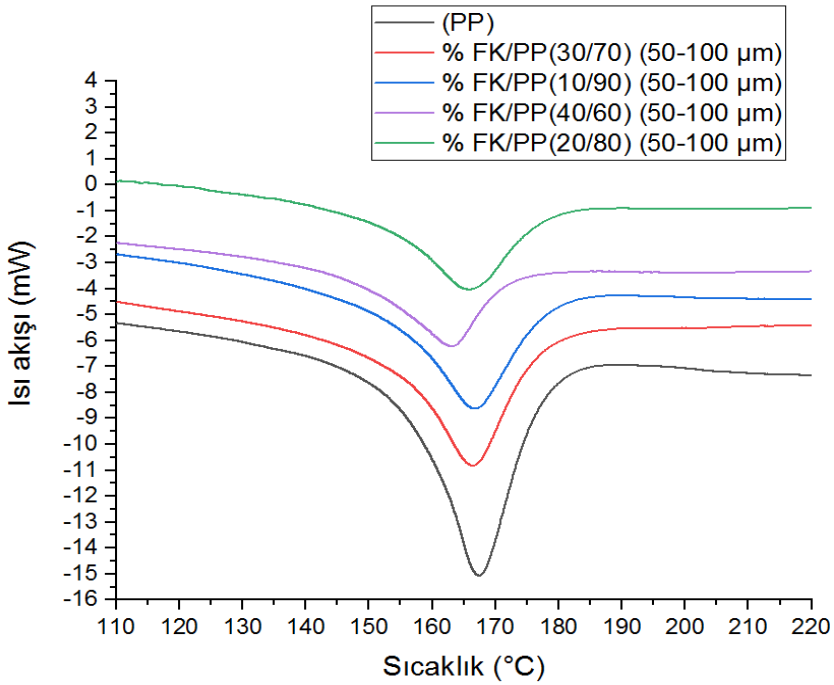
T_{tepe}- Maksimum erime sıcaklığı (°C)

T_{on}-başlangıc erime sıcaklığı (°C)

T_{off}-Son erime sıcaklığı (°C)



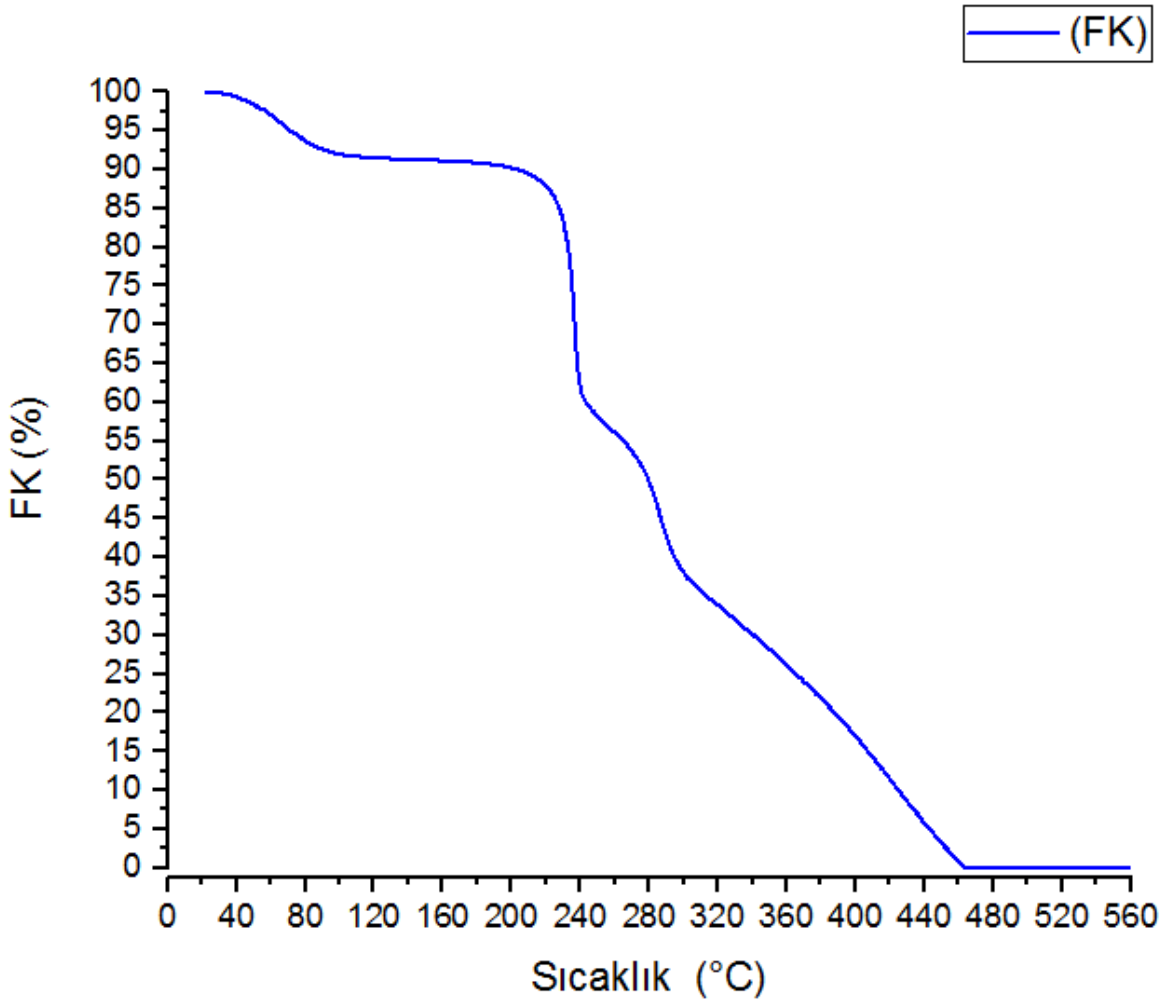
Şekil 4 3: Erime eğrisinin termal sıcaklıklarının ve entalpisinin hesaplanma yöntemi.



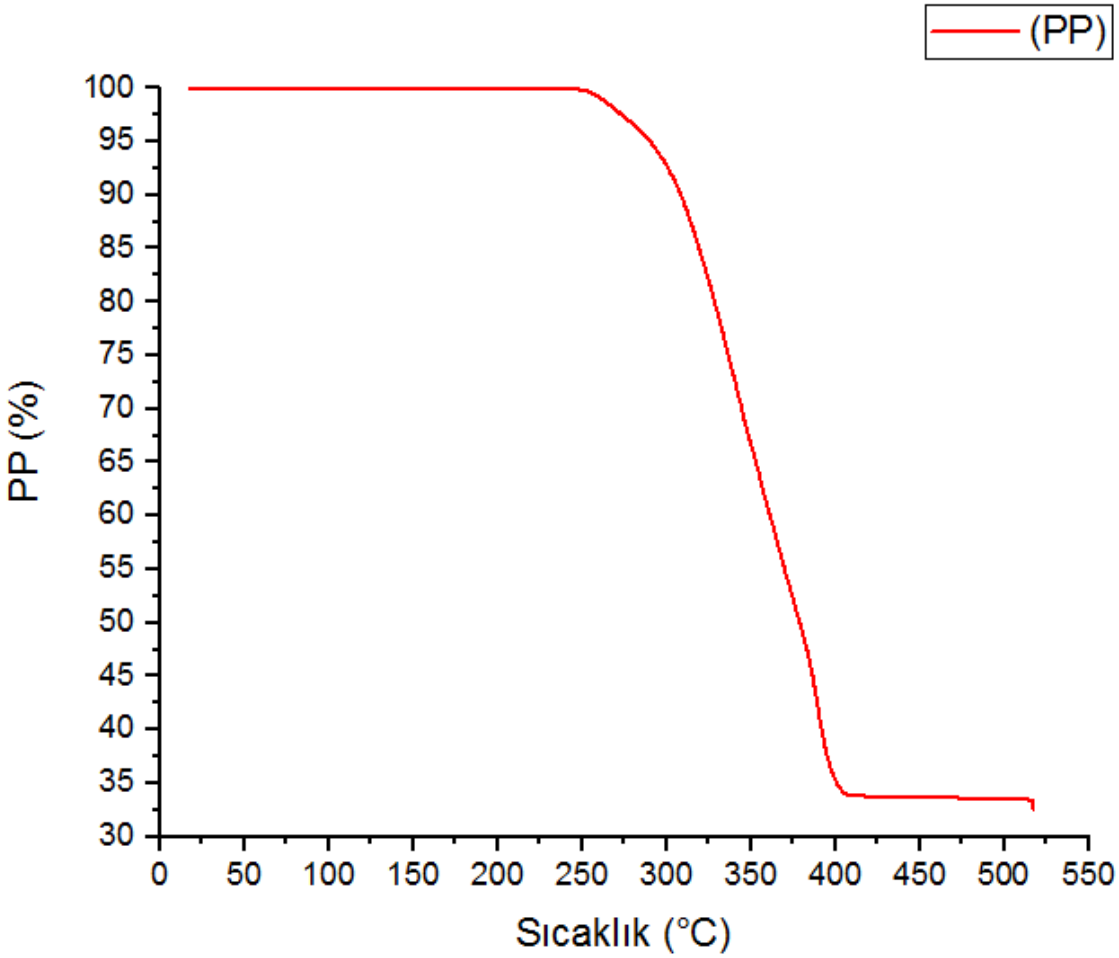
Şekil 4 4: Dolgu/Matris oran farkına göre birinci erime grafiki.

4.4. TGA ANALİZİ

Analizin yapılması için 10 °C/dk hava atmosferinde 500 °C-ye kadar çıkılması şartı kabul edilmiştir. Burada iki ürün fındık kabuğu ve polipropilen kullanılmıştır. Amaç iki ürününde bozulma sıcaklığını belirlemektir.



Şekil 4 5: Fındık kabuğunun termogravimetrik analizi.



Şekil 4 6: Polipropilenin termogravimetrik analizi.

4.5. SU ABSORBSİYONU TESTİ

Testde, farklı yüzde oranlardan (0;10;20;30;40) ama aynı tanecik boyutundan (50-100 μm) oluşan 5 ürün kullanılmıştır. Her ürün 105 ℃ de etüvde 24 saat kurutulmuş ve desikatöre yerleştirilmiştir. Yarım buçuk saat sonra numuneler ayrılıkta hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra 23 ℃ de oda sıcaklığına yakın sıcaklıkta su banyosuna daldırılmış, 24 saat bekletilmiştir. Sonrakı gün ürünler su banyosundan çıkarılıp, peçete ile temizledikten sonra yeniden tartılmıştır ve aradakı fark yüzde oranları belirlenmiştir.

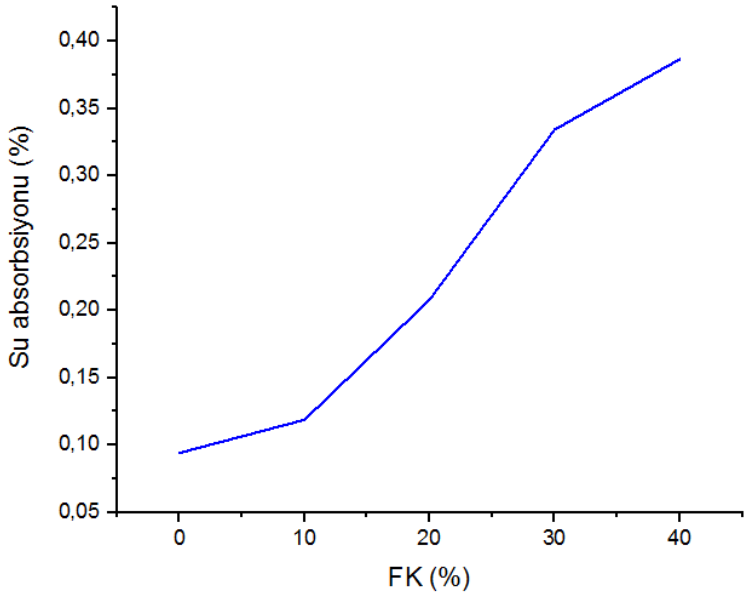
Tablo 4 7: PP/FK oranına göre su absorbsiyonu

Malzeme	w	w'	%abs
PP	1,3812	1,3825	0,0941
%10 FK	1,3473	1,3489	0,1188
%20 FK	1,1543	1,1567	0,2079
%30 FK	1,4956	1,5006	0,3343
%40 FK	1,3451	1,3503	0,3866

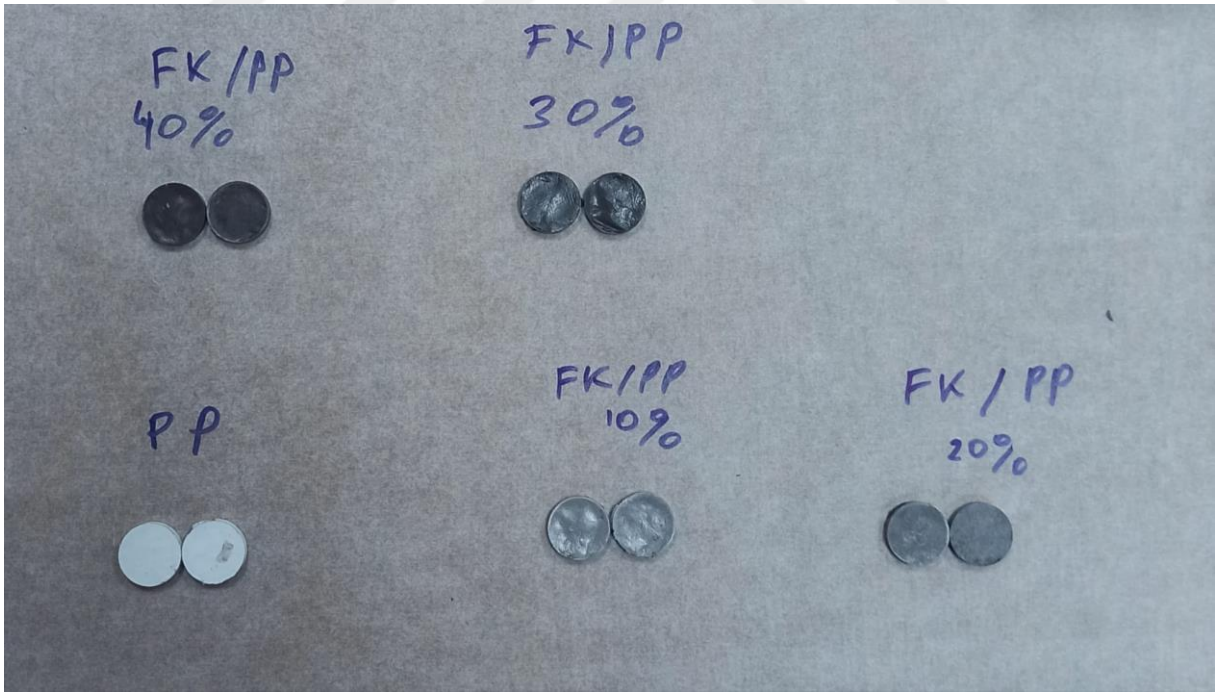
Numunelerin ne kadar su absorbladığını belirlemek için aşağdalı denklem kullanılıyor :

$$\%Abs = \frac{w' - w}{w} * 100$$

Burada, w'-su absorblanmış numunenun kütlesi (gr); w- numunenin orjinal kütlesi (gr).



Şekil 4 7: PP/FK oranına göre su absorbsiyon grafiki



Şekil 4 8 : Su absorbsiyonu için kullanılan malzemeler



Şekil 4 9 : Su banyosu cihazı ve içindeki numuneler

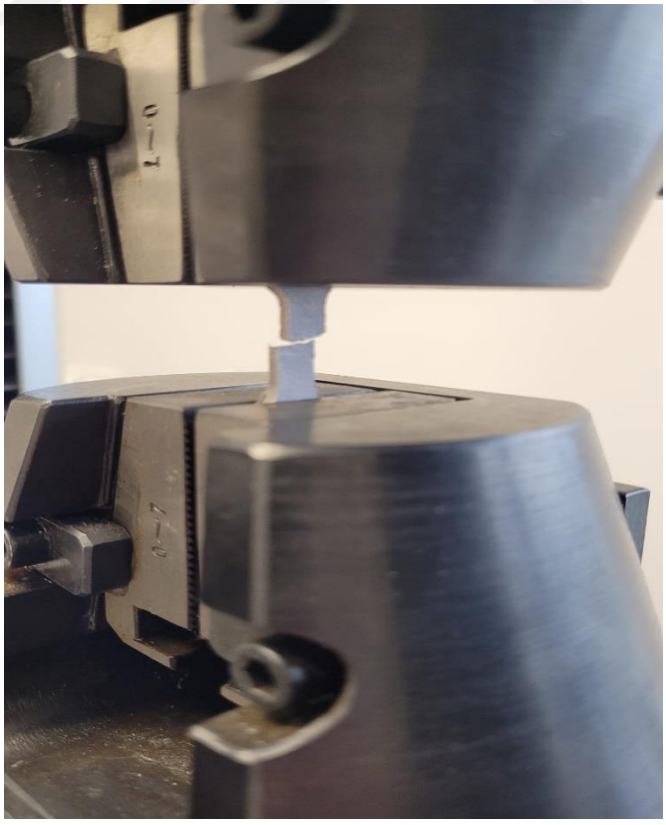


Şekil 4 10 : Suya daldırılmış numuneler

4.6. ÇEKME-KOPMA TESTİ



Şekil 4 11 : Çekme-kopma testinin yapılma yöntemi



Şekil 4 12: Numunenin (PP) kopma anı

Tablo 4 8: FK/PP oran farkına göre mekanik özellikler

Numuneler	E (Gpa)	σ (Mpa)	%ε	Kopma uzaması (%)
PP	1.604,05	32,63	15,78	15,776
%10 FK	1.170,21	30,43	1,99	2,92
%20 FK	830	30,79	4,02	4,3
%30 FK	760,54	28,14	6,78	6,85
%40 FK	540	27,17	5,78	5,81

Tablo 4 9 : Tanecik boyutu farkına göre mekanik özellikler

Numuneler	E (Gpa)	σ (Mpa)	%ε	Kopma uzaması (%)
%30 FK (50-100 μm)	760,54	28,14	5,38	6,85
%30 FK (100-250 μm)	375,3	20,29	3,25	3,62
%30 FK(250-500 μm)	660,21	21,81	3,48	3,62

Tablo 4 10 : Uyumlaştırıcı farkına göre mekanik özellikler

Numuneler	E (Gpa)	σ (Mpa)	%ε	Kopma uzaması (%)
%30 FK (uyumlaştırıcısız)	1.513,33	16,7	1,19	1,39
%30 FK (% 0,6 pp-g-ma)	375,3	20,29	3,25	3,62
%30 FK(% 8-10 pp-g-ma)	934,9	22,44	0,046	0,41

5. TARTIŞMA SONUÇ

Bu tez ile sunulan çalışmada % 30 talk dolgulu, enjeksiyonla kalıplama için üretilmiş polipropilen malzemeye 25 ml hacimli, ters yönde dönen çift elemanlı dahili bir karıştırıcıda farklı oran ve tanecik boyutlarında fındık kabuğu ve uyumlaştırıcı ilavesi ile fındık kabuğu-polipropilen kompozitleri hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışmasındaki bulgular bu bölümde tartışılmıştır.

5.1. HAMMADDELERİN ISIL ANALİZİ

Çalışmada öncelikle fındık kabuğu ve polipropilenin ısıl dayanımı incelenmiştir. Şekil 4.5'de kullanılan fındık kabuğunun termogravimetrik analizi görülmektedir. TGA eğrisi incelendiğinde sıcaklığın 10 oC/dak hava atmosferinde hızla artışında nem kaybına bağlı olarak 93 oC'ye kadar bir ağırlık kaybı görülmektedir. Bu bölgede ağırlık %87,4'e düşmektedir. Diğer bir değişle numunede %12,6 nem tespit edilmiştir. 100 oC'nin üzerinde ağırlık kaybı çok düşük bir eğimle 190 oC'ye kadar stabil kalmış olup bu noktadan itibaren ısıl degradasyon başlamıştır. Fındık kabuğunun hava atmosferinde üç aşamalı bir mekanizma ile pratik olarak tüm ağırlığını kaybedene kadar bozunmaktadır. 190 oC'den itibaren başlayan birinci bozunma aşaması 230 oC'de iyice hız kazanarak 277 oC'ye kadar sürmektedir ve en hızlı gerçekleşen bozunma bu adımda görülmektedir. Bu noktada ağırlık %53,68'e düşmektedir. İkinci bozunma aşaması daha düşük bir hız ile 277 oC'den başlayıp 300 oC'ye kadar sürmektedir ve ağırlık yaklaşık %38,30'a düşmüştür. Bu noktadan sonra üçüncü ve son kademe ile bozunma adımı malzeme tamamen yanana kadar devam etmektedir. TGA eğrisinin eğimi bu son bölgede iyice azalmıştır. Ağırlık kaybının 473 oC'de tamamlandığı tespit edilmektedir.

Şekil 4.6'da %30 talk dolgulu polipropilenin TGA grafiği görülmektedir. Polipropilen malzemenin hava atmosferinde 10 oC/dak hızla gerçekleştirilen analizinde, malzemenin genel olarak üç aşmada parçalandığı gözlemlenmektedir. Polipropilende yükselen sıcaklıktaki ağırlık kaybı ilk olarak 254 oC'de başlamaktadır. Ağırlık kaybı ilk aşamada 300-320 oC'lere kadar nispeten düşük bir hızda gerçekleşir. Bu sıcaklıkta ağırlık %92 civarındadır. 320-387 oC arasında malzeme 2. Bozunma bölgesinde hızlı ve sabit bir eğimle bozunur. Ağırlık

387 oC'de %45'e düşmüştür. Son kısımda 401 oC'ye kadar daha dik eğimli, hızlı ancak kısa bir bozunma bölgesi (3. Aşama) ile ağırlık kaybı stablize olur.

401 oC'de ağırlık yaklaşık %35'e ulaşmıştır. Malzeme talk dolgulu olduğundan bu noktadan sonra artan sıcaklıkla ağırlık kaybı artmamakta, çok düşük bir eğimle sabit kalmaktadır.

Bu iki analiz ile hammaddelerin ısıl dayanıklılığı incelenmiştir. Fındık kabuğu 190 oC, polipropilen 250 oC altında ısıl olarak kararlı kalmaktadırlar. Bu bilgi proses sıcaklıklarının tespiti baskımından önemlidir.

5.2. YOĞUNLUK TESTİ

Elde edilen kompozitlerin yoğunlukları [73]'e göre tayin edilmiştir. Tablo 4.5 ve Şekil 4.2'de polipropilen ve farklı kompozitlerin yoğunlukları ölçülerek gösterilmektedir. Fındık kabuğunun yoğunluğu 0,7240 g/cm3 [74] mertebesinde olduğundan fındık kabuğu kompozitlerinde kabuk oranı arttıkça ürünlerin yoğunlukları da polimere göre azalmaktadır. %30 katkılı polipropilenin yoğunluğu 1,1400 g/cm3 olarak bulunmuştur. Buna karşılık en yüksek fındık kabuğu dolgulu kompozitte yoğunluk 0,9672 g/cm3 olarak tespit edilmiştir. Fındık kabuğu kompozitleri düşük yoğunluklu malzemeler sınıfında yer almaktadır.

5.3. ÖĞÜTME VE ELEK ANALİZİ

Fındık kabuğu – polimer kompozitlerinde değişkenlerden biri fındık kabuğu oranı, diğeri ise tanecik boyutudur. Uyumlaştırıcı ile birlikte fındık kabuğunun polimer matris içinde dağılması ve polimere uyum göstermesi bakımından tanecik boyutunun ayrı bir değişken olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla elde edilen fındık kabukları önce etüvde kurutulduktan sonra uygun bir mekanik öğütücüde öğütülmüştür. Elde edilen toz malzeme 50, 100, 250, 500 mikronluk eleklerde elenerek 50 µm'dan küçük, 50-100 µm, 100-250 µm, 250-500 µm ve 500 µm'dan büyük olmak üzere farklı tanecik büyüklüğü fraksiyonlarına ayrılmışlardır. Denemelerde üç farklı aralıktaki (50-100 µm, 100-250 µm, 250-500 µm) fındık kabuğu tozları kullanılmıştır.

Fındık kabuğu malzemesinin öğütülmesinde öğütçünün türünün dışında nem oranı ve öğütme süreleri önemli değişkenlerdir. Bu çalışmada kabuğun önce kurutulması, böylece kırılganlığının artması ve sonra öğütülmesi daha uygun sonuçlar vermiştir. Öğütme süresi optimize edilmiştir.

Yapılan ön denemeler farklı sürelerde gerçekleştirilen öğütme operasyonlarında hedeflenen tanecik boyutu aralıklarındaki ürün veriminin değiştiğini ortaya koymuştur. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de 2, 3, 4, 5, 10 dakika süreler ile yapılan öğütmeler sonucunda elde edilen toz malzemenin elek analiz sonuçları görülmektedir. Deneylerde kullanılması amaçlanan üç farklı aralıktaki ürün verimlilikleri bakımından 4 dakikalık öğütmenin en uygun sonucu verddiği görülmüş ve bu öğütme süresi öğütme prosesi için kullanılmak üzere seçilmiştir.

5.4. SU ABSORBSİYONU

Fındık kabuğu nem/su çeken bir malzemedir. Firmadan alındığı hali ile yapılan analizinde fındık kabuğunun ağırlıkça %10,49 nem içerdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla üretilen kompozit malzemenin su absorbsiyonu incelenmiştir. ASTM D570-98 standardına göre hazırlanan disk şekilli numunelerin 24 saat süre ile 23°C sabit sıcaklıkta su içerisinde tutulmasıyla elde edilen su absorbsiyon verileri Tablo 4.7 ve Şekil 4.7'de sunulmuştur. Polipropilen malzeme 24 saatte yaklaşık %0,1 oranında su absorblarken fındık kabuğu kompozitleri içerdikleri kabuk oranı arttıkça daha yüksek oranlarda su absorblamıştır. Fındık kabuğu kompozitlerinin homopolimere göre daha yüksek su absorbladıkları uygulama alanı seçilirken göz önünde bulundurulmalıdır.

5.5. DSC ANALİZİ

Hazırlanan fındık kabuğu kompozitlerinin erime davranışları DSC tekniği ile incelenmiştir. Tablo 4.6'de polipropilene ve %10, 20, 30, 40 oranlarında fındık kabuğu içeren kompozitlerin erime eğrilerine ait başlangıç (Ton), tepe(Ttepe), ve sonlanma noktaları(Toff) ile erime eğrilerinin entalpi değerleri yer almaktadır. Tablo 4.6 incelendiğinde, eğrilerin başlangıç, tepe ve sonlanma noktalarında büyük bir fark gözlenmemektedir. Bununla birlikte eğri altındakı alandan hesaplanan erime entalpi değerleri (ΔHm) incelenirse polipropilenin entalpisinin

(-37,81 J/g) kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kompozitlerin entalpi değerleri karşılaştırıldığında, fındık kabuğu yüzdesi arttıkça entalpi değerlerinin düzenli olarak azaldığı gözlenmektedir. DSC eğrilerinden, eğrilerin başlangıç, tepe ve sonlanma noktalarıyla eğrinin alanı ilgili DSC yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek bir çalışma Şekil 4.3'te gösterilmetedir.

5.6. ÇEKME-KOPMA DAYANIMI

Tez çalışmasında hazırlanan kompozitlerde mekanik dayanımları ölçmek için çekme-kopma dayanımı (tensile strength) testleri yapılmıştır. Tablo 4.8'de farklı fındık kabuğu oranlarıyla hazırlanan kompozitlerde fındık kabuğu oranının mekanik dayanım üzerine etkileri gösterilmektedir. Bu tablo için seçilen kompozitlerde ağırlıkça yüzde 10, 20, 30, 40 oranında fındık kabuğu kullanılmıştır. Kompozitlerin bir tanesi uyumlaştırıcısız, bir tanesi %8-10 uyumlaştırıcılı, diğerleri %0,6 maleik anhidrit içeren maleik anhidrit aşılanmış polipropilen uyumlaştırıcılı olarak toplam 11 tane ürün kullanılmılştır.

Tablo 4.8 incelendiğinde saf polipropilenin elastik modül ve çekme dayanım değerlerinin tüm kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kompozitlerin verileri incelendiğinde kabuk oranı yükseldikçe modülün azaldığı, elastik dayanımın düşük kabuk oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı (MPa) değerleri incelendiğinde fındık kabuğu ilavesi ve artışıyla çekme dayanımı giderek azalmaktadır. Gerilim altında uzama ve kopmada uzama değerleri kompozitlerde polipropilene göre önemli miktarda azalmaktadır. Bununla birlikte kompozitler arasında gerilim altında uzama oranları %10'luk örnekte en düşüktür(%1,99). Malzeme fındık kabuğu ilavesiyle başlangıçta önemli miktarda elastikiyetini kaybetmektedir. Kabuk yüzdesi arttıkça uzama yüzdesi hafifçe artmakta, % 30 kabuk içeren kompozitte maksimum değer olan %6,776'ya ulaşmakta, %40 kabuk içeren örnekte tekrar azalma eğilimi göstermektedir. Polipropilenin gerilim altında uzama değeri %15,771'dir.

Tablo 4.9'da farklı tane boyutunda fındık kabuğu kullanılarak üretilen kompozitlerde mekanik dayanım test sonuçları görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı en küçük tanecik boyutlu kompozitte (50-100 μm) elde edilmiştir. Tanecik boyutu arttıkça çekme dayanımında bir miktar azalma söz konusudur. Örneklerin uzama davranışı karşılaştırıldığında en küçük tane boyutlu örneğin diğerlerine göre gerilim altında yaklaşık %2 oranında daha fazla uzadığı gözlemlenmektedir. Elastik modül değerleri karşılaştırıldığında üç örnek arasında küçük tane boyutlu örnekte elastik modül en yüksek değere sahiptir. Tanecik boyutu artışıyla birlikte elastik modülde önce azalma, artan tanecik boyutuyla modülde artış görülmektedir.

Tablo 4.10'da ise mekanik özelliklerin uyumlaştırıcı ile ilişkisini incelemeye yönelik verileri içermektedir. %30 fındık kabuğu içeren üç örnek kullanılmıştır. İlk örnekte karşılaştırma için

uyumlaştırıcı kullanılmadan kompozit hazırlanmıştır. Örneklerin üçünde de 100-250 μm tanecik boyutunda kabuk kullanılmıştır. Aynı tabloda ikinci ve üçüncü örneklerde iki farklı uyumlaştırıcı, fındık kabuğunun % 0,5'i oranında kullanılmıştır. 2. Örnekte % 0,6 oranında maleik anhidrit içeren PP-g-MA, 3. Örnekte % 8-10 oranında maleik anhidrit içeren PP-g-MA kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde uyumlaştırıcı kullanımının çekme dayanımını bir miktar arttırmaktadır. Diğer taraftan uyumlaştırıcının türü çekme dayanımını çok fazla etkilemediyi görülmektedir. Elastik modüller karşılaştırıldığında uyumlaştırıcısız numunenin modülü en yüksek değere sahiptir (1513,33 GPa). Diğer bir değişle formulasyonlarda uyumlaştırıcı ilavesi elastik dayanımı azaltmaktadır. Uyumlaştırıcı içeren örnekler gerilim altında daha elastik davranış göstermektedirler. % 0,6 PP-g-MA içeren örnek en düşük modül değerine sahiptir (375,3 GPa). Tabloda yer alan numunelerin uzama değerleri çok düşüktür, genel olarak kırılma davranışı göstermektedirler.

KAYNAKLAR

[1] Use of natural fibres as fillers for polymer compositesJ.W. Kaczmar, J. Pach and R. KozlowskiWroclawska Polytechnic Institute, Wroclawska, PolandSelected from International Polymer Science and Technology, 33, No. 11, 2006, reference PT 06/10/722; transl. serial no. 15678

[2] Environmental issues for polymer matrix composites and structural adhesives

J. M. Sands, B. K. Fink, S. H. McKnight, C. H. Newton, J.W. Gillespie Jr. & G. R. Palmese

Clean Products and Processes volume 2, pages228–235 (2001)

[3] ASSESSMENT OF POLLUTION LOAD AND PREVENTIVE MEASURES FROM CASHEW NUT PROCESSING INDUSTRIES, Alka Srivastava and A.B.Akolkar, Central Pollution Control Board, Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar, Shadara, Delhi 110 032, India

[4] Tree Nuts: World Markets and Trade, United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, USDA October 2022,USA

[5] Nut industry worldwide - statistics & facts Published by M. Shahbandeh , Aug 12, 2022

[6] Composite history,https://www.mar-bal.com/language/en/applications/history-of-composites/ (tarih 24 eylül 2022)

[7] History Of Composites,https://compositeslab.com/composites-101/history-of-composites/

[8] HISTORY OF COMPOSITE MATERIALS,December 2020,DOI: 10.51889/2020-4.1728-7901.15,Zhuzbayev SerikZhuzbayev SerikA. AdilovaSh. Akhmetzhanova

[9] History of Compositesand PolymersP. Sivasubramanian, K. Mayandi,V. Arumugaprabu, N. Rajini, and S. RajeshKalasalingam Academy of Research and Educatio (PDF) Available from: https://www.researchgate.net/publication/352958176_History_of_Composites_and_Polymers [accessed Dec 18 2022].

[10] Introduction to Composite Materials written by Tri-Dung Ngo Submitted: August 5th, 2019 Reviewed: January 21st, 2020 Published: February 25th, 2020 https://www.intechopen.com/chapters/71222 (30 eylül 2022)

[11] Ceramic composite materials, February 1992Metal Science and Heat Treatment 34(2):133-138, I. N. FridlyanderV. Ya. ShevchenkoSergey M BarinovSergey M Barinov

[12] Fundamentals of Metal Matrix Composites,Sankaranarayanan Seetharaman, Manoj Gupta, in Encyclopedia of Materials: Composites, 2021

[13] The properties of natural and artificial weathered wood polymer composites,May 2022, Büşra Avci, Ayfer Donmez Cavdar,Fatih Mengeloglu

[14] Natural Composites,April 2022, Lata Samant Fábio A O Fernandes Seiko Jose Ricardo J Alves de Sousa

[15] Doğal Elyaflı Kompozitler Haqqında Ekim 21, 2020, https://kompozit.org.tr/tr/dogal-elyafli-kompozitlerin-genel-gorunumu/

[16] The Utilisability of Ground Hazelnut Shell as Filler in Polypropylene Composites, July 2018Acta Physica Polonica Series a 134(1):254-256, H. Demirer, İlyas Kartal, A. Yıldırım, K. Büyükkaya

[17] "Processing and characterization of high environmental efficiency composites based on PLA and hazelnut shell flour (HSF) with biobased plasticizers derived from epoxidized linseed oil (ELO), October 2015Composites Part B Engineering 86, J.F. Balart Vicent Fombuena, Octavio Fenollar Gimeno, L. Sanchez-Nacher

[18] Improvement of Interfacial Adhesion and Thermomechanical Properties of PLA Based Composites with Wheat/Rice Bran, August 2022Polymers 14(3389):1-19, Vito Gigante, Laura Aliotta, Ilaria Canesi, Patrizia Cinelli

[19] Bio waste (Pistacia vera nut shell) filled polymer composites for tribological applications, September 2021Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L Journal of Materials Design and Applications 236(2):146442072110447, Subhrajit Pradhan, Ved Prakash, .K. Acharyas.

[20] Basalt/Glass Fiber Polypropylene Hybrid Composites: Mechanical Properties at Different Temperatures and under Cyclic Loading and Micromechanical Modelling, September 2021Materials 14(19):5574, Anna Kufel Anna, Slawomir Para, Stanisław Kuciel

[21] Natural Fibers: Applications book written by Jatinder Singh Dhaliwal Submitted: December 17th, 2018 Reviewed: May 16th, 2019 Published: October 24th, 2019, https://www.intechopen.com/chapters/69714 (tarih 1 ekim 2022)

[22] Avérous & Le Digabel, 2006; Goutianos et al., 2006; Hautala et al., 2004; Holbery & Houston, 2006; Liu et al., 2007; Misnon et al., 2014; Stuart et al., 2006; Summerscales et al., 2013; Yan et al., 2014).

[23] What are Natural Fiber Composites? Basics, Applications, and Future Potentials, Dec 13, 2021,https://www.addcomposites.com/post/what-are-natural-fiber-composites-basics-applications-and-future-potentials

[24] Aramid Elyafi https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2018/06/aramid-nedir.html (tarih 12 ekim 2022)

[25] POLYAMIDE FIBERS (NYLON), https://polymerdatabase.com/Fibers/Nylon.html (tarih 26 ekim 2022)

[26] Polymer-matrix nanocomposites and its potential applications, January 2023, Neha Raina, Radha Rani Amrita, Kumari Bigul ,Yogeshver Bhardwaj, Madhu Gupta

[27] A review on additive manufacturing of ceramic matrix composites July 2022Journal of Materials Science and Technology -Shenyang- 138, Jinxing Sun, Daorong YeJi, ZouJi Zou

[28] Metal Matrix Composites: Properties and Applications (Vol. 2), June 2022, Suneev Anil Bansal, Virat Khanna, Pallav Gupta

[29] Effect of MA-g-PP addition on mechanical properties of polypropylene/hollow glass spheres/nanoclay composites, December 2022 Polymer Bulletin, Beril Eker Gümüş

[30] Extruder Processing: Comparison of Single- and Twin-Screw Extruders for Optimal Solids Conveying, Melting, and Mixing, September 2022, Paul Andersen, Gregory A., Campbell

[31] Development and Application of High-gloss Injection Molding Technology, February 2022Journal of Physics Conference Series 2206(1):012016, Junjie Zhu, Zhiwen Qiu, Wenhan Huang

[32] Karıştırıcılar, https://www.amixon.com/en/products/vertical-single-shaft-mixer (1 11 kasım 2022)

[33] Değirmenler https://tr.wikipedia.org/wiki/De%C4%9Firmen (2 kasım 2022)

[34] Synthesis and characterization of palladium nanoparticles-corannulene nanocomposite: An anode electrocatalyst for direct oxidation of methanol in alkaline medium, Kumar Brahmana Kalli, Sai Bhavania, Tummala Anushaa, Mihaiela C.Stuparub Pradeep

[35] MECHANICAL PROPERTIES AND BIODEGRADABILITY STUDY OF COCONUT SHELL POWDER (CSP) FILLED LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) FILM January 2005, P RathanakIda Idayu, MuhamadAbdul Razak, Rahmat

[36] ATIK DEĞERLENDİRMESİNDE BİR SEÇENEK; KAĞIT-PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ 2006, Kadir Karakuş,Hülya Varlibaş, Fatih Mengeloglu,

[37] Türkiye'de Atık Tarımsal Lif Potansiyeli ve Kullanım Alanları, September 2007

Conference: VII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi

[38] Natural fiber-reinforced polymer composites, January 2007, Saira Taj Munawar Ali, Munawar Shafi Ullah Khan

[39] Extrusion-based wood fibre–PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres – a comparative study, Volume 68, Issues 15–16, December 2008, Pages 3418-3424, P.NygårdaB,.S.TanembT, .KarlsenaP, .BrachetcB.Leinsvanga

[40] Characterization of lignocellulosic curaua fibres, Volume 77, Issue 1, 22 May 2009, Pages 47-53, Márcia A.S.Spinacéa, Carlos S.Lambertb, Karen K.G.Fermosellia, Marco-A.De Paolia

[41] Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties, Volume 70, Issue 5, May 2010, Pages 840-846, Andrzej, **K.Bledzkia**, Abdullah A.Mamuna, JürgenVolkb

[42] Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties, Volume 70, Issue 5, May 2010, Pages 840-846, **Andrzej,** K.Bledzkia, Abdullah A.Mamuna, JürgenVolkb

[43] Evaluation of cotton byproducts as fillers for poly(lactic acid) and low density polyethylene, Volume 36, Issue 1, March 2012, Pages 127-134, N.Sutivisedsaka, H.N.Chengb, M.K.Dowdb, G.W.Sellinga, A.Biswas

[44] Effect of Surface Treatment on Betel Nut (Areca catechu) Fiber in Polypropylene Composite, une 2012 Journal of Environmental Polymer Degradation 20(2), J. ChakrabartyM.,, sudul Hassan, Mubarak Ahmad Khan

[45] Effect of intumescent flame retardants on non-isothermal crystallization behavior of high-density polyethylene, Olga Mysiukiewicz, Kamila Salasinska, Mateusz Barczewski, Katarzyna Skórczewska

[46] "Structure and mechanical properties of blown films of ionomer-compatibilized LDPE nanocomposites" P.SantamaríaJ., I.Eguiazabal, Volume 31, Issue 3, May 2012, Pages 367-374

[47] Alkaline pre-treatment of waste chestnut shell from a food industry to enhance cadmium, copper, lead and zinc ions removal , GonzaloVázquez, OlgaMosquera M., SoniaFreire GervasioAntorrena, JuliaGonzález-Álvarez, Volume 184, 1 March 2012, Pages 147-155

[48] Polypropylene/date stone flour composites: Effects of filler contents and EBAGMA compatibilizer on morphology, thermal, and mechanical properties, June 2013, Amel HammaMustapha Kaci, Alessandro Pegoretti

[49] Bio-composites based on polypropylene reinforced with Almond Shells particles: Mechanical and thermal properties, Volume 51, October 2013, Pages 225-230, H.Essabirab S.Nekhlaouic, M.Malhac, M.O.Bensalahc, F.Z.Arrakhiza, A.Qaiss

[50] Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites, Volume 51, October 2013, Pages 803-809, Meysam Zahedia, Hamidreza Pirayeshb, Hossein Khanjanzadehc, Mohsen Mohseni Tabara

[51]. Crystallization and melting behavior of polypropylene in β-PP/polyamide 6 blends containing PP-g-MA, Volume 19, Issue 2, 25 March 2013, Pages 692-697, Zhidan Lin Zixian Guan Baofeng, Xu Chao Chen, Guangheng Guo, Jiaxian Zhou, Jiaming, Xian Lin, Cao Yueliang , Wang Mingqing Li, Wei Li

[52]. Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard, Volume 45, Issue 1, February 2013, Pages 858-863, Hamidreza Pirayesha, Hossein Khanjanzadehb, Ayoub Salarib

[53]. Mechanical and thermal properties of coconut shell powder filled polylactic acid biocomposites: Effects of the filler content and silane coupling agent, May 2014, Seong Chun Koay, Salmah Husseinsyah, Hakimah O

[54]. Lipid characteristics and essential minerals of native Turkish hazelnut varieties (Corylus avellana L.), Volume 113, Issue 4, 15 April 2009, Pages 919-925, Cesarettin Alasalvara, Joana S.Amaralbc, GülçinSatıra, Fereidoon Shahidi

[55]. Improvement of industrial processes in Colombia. Case study: Cocoa pressing process in a chocolate factory, Volume 183, July 2022, Pages 307-317, Liceth J, Meloa Alvaro, Orjuelaa Elmer Guerrerob

[56]. Production of Polypropylene Matrix Polymer Composites with Hazelnut Shell Fillings, Physical and Mechanical Properties, January 2020. Nurlan Gurbanov, Abbasov, Kamala, Ismayilova, N A Hasanova

[57]. Fruit-growers' perceptions on the harmful effects of hazelnut and their reflection on practices: The case of Kemalpasa, Turkey, Sule Isina, IsmetYildirim, Volume 26, Issue 7, July 2007, Pages 917-922

[58]. Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges, Volume 185, October 2018, Pages 901-927, Deepesh Machiwala, Madan Kumar, Jhab Vijay, P.Singhc, Chinchu Mohand

[59]. Prospect of Recycling of Plastic Product to Minimize Environmental Pollution, Volume 1, 2020, Pages 695-703, Ranvijay Kumar, Rupinder Singh

[60]. Utilization of hazelnut husk as biomass, Mukrimin Sevket Guney, Volume 4, December 2013, Pages 72-7

[61]. Multifunctional composite combining chitosan microspheres for drug delivery embedded in shape memory polyester-urethane matrix, Piotr Mrówka, Dorota Kołbukd, Wojciech Święszkowskia

[62]. Chesnut production- https://www.fao.org/3/ad235e/ad235e04.htm (10 kasım 2022)

[63]. World Chestnut Production by Country- https://www.atlasbig.com/en-us/countries-chestnut-production (11 Kasim 2022)

[64]. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites, Volume 35, Issue 3, March 2004, Pages 339-345, P.JHerrera-Franco, Valadez-González

[65]. Exploitation of Hazelnut (Corylus avellana) Shell Waste in the Form of Polymer–Particle Biocomposite, March 2018Scientia Agriculturae Bohemica 49(1):53-59, Miroslav Müller, Petr Valášek Miloslav, Linda Stanislav, Petrasek

[66]. Polipropilen https://www.britannica.com/science/polypropylene (4 kasım 2022)

[67]. Experimental study on mechanical properties of polypropylene nanocomposites reinforced with a hybrid graphene/PP-g-MA/kenaf fiber by response surface methodology, May 2021Journal of Elastomers and Plastics 53(5):009524432110153, Jaber Mirzaei, Abdolhossein Fereidoon, Ahmad Ghasemi-Ghalebahman

[68]. DSC analysis https://www.element.com/materials-testing-services/differential-scanning-calorimetry (4 kasim 2022)

[69]. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density and Unit Weight of Soil Specimens ASTM D7263-21, https://www.astm.org/d7263-21.html

[70]. TGA- https://www.ace-laboratories.com/rubber-testing-laboratory/tga/ (5 kasım 2022)

[71]. The stress–rupture test, E.J. Hearn PhD; BSc(Eng) Hons; CEng; FIMechE; FIProdE; FIDiagE, in Mechanics of Materials 2 (Third Edition), 1997

[72]. Water Absorption ASTM D570 https://www.intertek.com/polymers/testlopedia/water-absorption-astm-d570/ (19 kasım 2022)

[73]. Pycnometer density (MPIF 63, ASTM D 2638, ASTM D 4892), D.F. Heaney, in Handbook of Metal Injection Molding, 2012,

[74] Effect of Thermal Aging on the Mechanical Properties of High Density Polyethylene/Nut Shell Polymer Composite, Münir TAŞDEMİR Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye, 2022; 3(1): 1-9