



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**CAM TOZU VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN
MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİGEN GÖLCÜK ÖREN

DANIŞMAN: Prof. Dr. Hamit ERDEMİ

**YALOVA
EKİM 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

CAM TOZU VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK
VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİGEN GÖLCÜK ÖREN
218115004

DANIŞMAN: Prof. Dr. Hamit ERDEMİ

YALOVA
EKİM 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “CAM TOZU VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Figen GÖLCÜK ÖREN





ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren Sayın danışman hocam Prof. Dr. Hamit ERDEMİ'ye ve tez konumu hazırlamam da büyük katkıları olan Sayın Doç. Dr. İdris KARAGÖZ' e teşekkür ederim.

Enjeksiyon yöntemi ile test numunesi üretiminde bana destek olan sayın Öğr. Gör. Dr. Çağdaş ASLAN'a teşekkür ederim.

Üretilen numunelere yapılan testler ile ilgili bana yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Alper KAŞGÖZ'e teşekkür ederim.

Hammadde tedarigi ve granül numuneleri üretiminde bana destek olan Zebra Polimer A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için sevgili eşim Hüseyin Ayberk ÖREN, annem İmren GÖLCÜK, babam Murat GÖLCÜK ve kardeşim Halukcan GÖLCÜK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim– 2024

Figen GÖLCÜK ÖREN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
2. POLİMERLER.....	3
2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması	3
2.1.1 Homopolimerler.....	3
2.1.2 Kopolimerler	4
2.1.3 Isı ve Çözücülere Gösterdikleri Davranışa Göre Polimerlerin Sınıflandırılması	6
2.2 Polimerlerin Özellikleri	7
2.3 Polipropilen	8
3. KOMPOZİTLER.....	11
4. MALZEME VE METOD.....	19
4.1 Malzemeler	19
4.1.1 Polipropilen.....	19
4.1.2 Talk	19
4.1.3 Cam Tozu.....	20
4.2 Kompozitlerin Hazırlanması.....	20
4.3 Mekanik Testler.....	22
4.3.1 Çekme Testi	22
4.3.2 Izod Darbe Testi.....	23
4.3.3 Eğme Testi	23
4.4 TERMAL ANALİZLER	24
4.4.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi	24
4.4.2 Termogravimetrik Analiz (TGA)	24
4.4.3 FTIR Analizi.....	24
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
5.1 Çekme Testi Sonuçları.....	25



5.2 Izod Darbe Testi Sonuçları	28
5.3 FTIR Analizi Sonuçları	29
5.4 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi Sonuçları	30
5.5 Termogravimetrik Analiz (TGA) Testi Sonuçları	31
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	39





SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

°C	: Sıcaklık
J	: Joule
g	: Gram
cm	: Santimetre
kN	: Kilonewton
CaO	: Kalsiyum oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
g/cm ³	: Özgül Ağırlık Birimi
MPa	: Megapascal
L/D	: Vida boyu / vida çapı
J/cm ³	: Sönümlleme enerjisi
cm ⁻¹	: Dalga sayısı
T _g	: Camı geçiş sıcaklığı
T _{erime}	: Erime Sıcaklığı

KISALTMALAR

CT	: Cam Tozu
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTG	: Diferansiyel Taramalı Termogravimetrik
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HDT	: Isıl Deformasyon Sıcaklığı
HPP	: Homopolimer
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PEEK	: Polieter Keton
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinilklorür
RCP	: Rastgele Kopolimer
RNA	: Ribonükleik Asit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T	: Talk
TGA	: Termogravimetrik Analiz
UV	: Ultraviyole

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Polipropilenin Avantaj ve Dezavantajları	9
Tablo 2.2 Polipropilenin tipik özellikleri	10
Tablo 3.1 Kompozit malzemelerin sektörel dağılımı	11
Tablo 4.1 Kullanılan Buplene 6231 PP polimer matrise ait tipik özellikler	19
Tablo 4.2 Çalışmada kullanılan karışım oranları ve isimlendirmeleri	21
Tablo 5.1 Çekme Testi Sonuçları	28
Tablo 5.2 Darbe testinde elde edilen değerler	29
Tablo 5.3 DSC Analiz Dataları	31
Tablo 5.4 TGA/DTG Test Ölçüm Sonuçları	33





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Polietilenin Polimerleşme Reaksiyonu	3
Şekil 2.2 Polipropilenin Kimyasal Yapısı	4
Şekil 2.3 Stiren- Maleik Anhidrit Kopolimeri	4
Şekil.2.4 Stiren- İzopren Kopolimeri	5
Şekil 2.5 Stiren-Metil Metakrilat Kopolimeri	5
Şekil 2.6 Zincir Şekillerine Göre Polimerler.....	6
Şekil 2.7 Isı ve Çözücülere Gösterdikleri Davranışa Göre Polimerler.....	6
Şekil 4.1 Ekstrüzyon makinesinde numunelerin üretimi	21
Şekil 4.2 Kullanılan enjeksiyon makinesi ve test numunesi kalıbı	22
Şekil 4.3 a) Eğme Test Cihazı b) Eğmeye maruz bırakılan numune	23
Şekil 5.1 Çekme testlerinden elde edilen sonuçlar a) Maksimum gerinim b) Maksimum kuvvet yer değiştirmesi c) Elastisite modülü numuneleri d) Kopma uzaması e) Akma uzaması f) Akma gerilimi	26
Şekil 5.2 FTIR Analiz Grafiği.....	30
Şekil 5.3 DSC Analiz Grafiği.....	30
Şekil 5.4 TGA analizi sonuçlarının karşılaştırılması	32
Şekil 5.5 DTG analizi sonuçlarının karşılaştırılması	32



CAM TOZU VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde kompozit malzemelerin plastik malzeme üretim alanındaki rolleri oldukça büyüktür. Kompozit malzemeler ana matris olarak kullanılan polimer malzemeye bir veya birden fazla dolgu malzemesi eklenerek polimerin özelliklerinin iyileştirilmesiyle oluşur. Bu çalışmada farklı dolgu maddelerinin polipropilen malzemeye eklenmesiyle polimerin mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimi incelenmiştir. Dolgu maddesi olarak nano mikron boyutunda talk ve cam tozu kullanılmıştır. Dolgu maddeleriyle oluşturulan 6 farklı kompozit çeşidi ekstrüzyon makinesinde farklı oranlarda karıştırılmışlardır. Orijinal hammadde PP ürününe ilk karışım olarak sadece %3 oranında talk eklenmiştir. Daha sonra ise %3 oranında talk miktarı sabit tutularak %5, %10, %15, %20 oranlarında cam tozu eklenmiştir. Hazırlanan karışımlar enjeksiyon kalıplama yöntemiyle çeşitli testler uygulanmak üzere numune olarak üretilmiştir. Üretilen kompozit numunelerine çekme, Izod darbe testleri yapılmış, ayrıca DSC, FTIR, TGA-DTG cihazlarında özellikleri incelenmiş ve değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen numunelere uygulanan testler sonucunda cam tozu ve talk dolgu maddelerinin polipropilen malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde farklı sonuçlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Çekme testi sonuçlarında %5 cam tozu ilave edilen numunede elastik modül değerinin doyma noktasına ulaşarak 712,82 MPa seviyesine geldiği görülmüştür. Bu değerden sonra elastik modül değerinin azaldığı tespit edilmiştir. TGA/DTG analizlerinde talk ilavesiyle bozunma başlangıç sıcaklığının attığı gözlemlenmiştir. Cam tozu ilavesiyle birlikte sıcaklık değerlerinde dalgalanmalar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, Kompozit Malzeme, Cam tozu, Talk, Mekanik Özellikler



INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF GLASS POWDER AND TALC FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES

ABSTRACT

Today, the role of composite materials in the field of plastic material production is quite large. Composite materials are formed by improving the properties of the polymer by adding one or more filling materials to the polymer material used as the main matrix. In this study, the change in the mechanical and physical properties of the polymer by adding different fillers to the polypropylene material was examined. Nano micron sized talc and glass powder were used as fillers. 6 different types of composites formed with fillers were mixed in different proportions in the extruder. Only 3% talc was added as the first mixture to the original raw material PP product. Then, 5%, 10%, 15%, 20% glass powder was added by keeping 3% talc amount constant. The prepared mixtures were produced as samples for various tests by injection molding method. Tensile, impact and bending tests were performed on the produced composite samples, and their properties were examined using DSC, FTIR and TGA devices and the changes in their values were observed. As a result of the tests applied to the samples produced by the injection molding method, it was observed that glass powder and talc fillers produced different results on the physical and mechanical properties of the polypropylene material. In the tensile test results, it was observed that the elastic modulus value in the sample to which 5% glass powder was added reached the saturation point and reached the level of 712.82 MPa. It was determined that the elastic modulus value decreased after this value. In TGA/DTG analyses, it was observed that the decomposition onset temperature increased with the addition of talc. Fluctuations in temperature values were observed with the addition of glass powder.

Keywords: Polypropylene, Composite Material, Glass Powder, Talc, Mechanical Properties



1. GİRİŞ

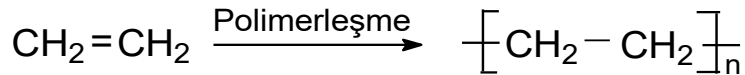
Günümüzde polimer malzemelerin ekonomik olması, seramik, metal, cam gibi ürünlere göre daha kolay işlenebilir ve düşük ağırlıklı olması gibi özelliklerinden dolayı otomotiv, uzay ve havacılık sektöründe, yapı sektöründe, taşımacılıkta tekstilde kullanım alanları oldukça yaygındır. Bu sektörlerde ağırlıklı olarak kullanılan polimerlerden bir tanesi de polipropilendir. Bu polimer çeşidi kimyasallara, asit ve bazlara karşı oldukça dayanıklıdır. Plastik sektöründe kullanılan polimerlere bakıldığında Polipropilen polimeri kolay ve düşük sıcaklıklarda işlenebilmesi, ucuz olması, birçok malzemeyle uyum sağlayabilmesi, geri dönüşümü kolay ve doğa ile uyumlu olması gibi özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstride kullanılan plastik ürünlere ısı dayanımı, darbe dayanımı, UV dayanımı gibi özelliklerin iyileştirilmesi için dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri polimer malzemelere çeşitli özellikler kazandırılmasının yanında düşük maliyet avantajı da sağlanmaktadır.

Plastiklerin herhangi bir ilave katkı ya da dolgu malzemesi olmadan kullanımı, üretilen ürünün çeşitli özelliklerinin beklenen değerin altına kalmasına neden olmaktadır [1]. Bu nedenle polimer malzemelere çeşitli katkıların ilave edilmesiyle oluşturulan son ürünler sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitler çeşitli fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemedan yapılan birleştirildiğinde çeşitli özelliklere sahip ürün ortaya çıkaran malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler ise ilave edilen ürüne göre polimer malzemeye yüksek ısıl dayanımı, yüksek mukavemet, sertlik gibi özellikler kazandırmaktadır.

2. POLİMERLER

Birbirlerine kovalent bağlar ile bağlanan ve mol kütleleri küçük olan kimyasal moleküllere monomer adı verilmektedir. ‘Mono’ latince ‘tek’ anlamına gelmektedir. Polimer ise “mer” olarak adlandırılan moleküllerin birleşimiyle meydana gelmektedir. “Poli” kelimesi “çok” anlamına gelirken “mer” kelimesi ise birim anlamına gelmektedir. Bu iki kelimenin birleşimi ile meydana gelen polimer birden fazla birimin birleşmesi olarak tanımlanmaktadır [2]. Polimerler yaşamın başlangıcından itibaren doğal formda bulunmaktadır ve DNA, RNA, proteinler ve polisakkaritler gibi doğal polimerler bitki ve hayvan yaşamında çok önemli roller oynarlar. İnsanlar ilk zamandan beri doğal olarak oluşan polimerleri giyim, dekorasyon, barınak, aletler, silahlar, yazı malzemeleri ve diğer gereksinimleri sağlamak için malzeme olarak kullanmıştır. Ancak günümüz polimer endüstrisinin temellerinin, bazı doğal polimerlerin modifikasyonu ile ilgili önemli keşiflerin yapıldığı 19. yüzyıla dayandığı kabul edilmektedir. Doğal polimerlerin modifikasyonu ile yarı sentetik polimerler meydana gelmektedir. Bu duruma örnek olarak doğal selülozdan elde edilen rejenere edilmesiyle selüloz ve diğer selüloz (selüloz asetat) türevleri verilebilir. Doğada bulunan polimerlerin polimerleşme reaksiyonlarıyla birlikte ise sentetik polimerler meydana gelmektedir. En basit sentetik polimer örneği olarak etilenin polimerleşmesi ile elde edilen “Polietilen” örnek olarak verilebilir. Polietilenin polimerleşme tepkimesi aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.1 Polietilenin Polimerleşme Reaksiyonu

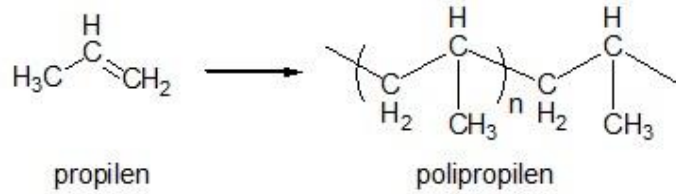
2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler, yapılarına ve içerdikleri birimlere göre, ortaya çıkma tepkimelerine göre, kaynaklarına göre, son kullanıldıkları yere göre ve fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılmaktadırlar. Yapılarına ve içeriklerindeki tekrarlanan birimlere göre polimerler homopolimer ve kopolimer olarak iki sınıfa ayrılırlar.

2.1.1 Homopolimerler

En basit polimer türü olup, bir çeşit tekrarlanan birimden oluşan polimerlerdir. Polimer içinde birimler birbirinin aynı olup, bu tür polimer genel yapısı, $X(A)_nY$ şeklinde verilebilir. X ve Y polimer zincirinin baş ve sonundaki tekrarlanan birimden farklı

grupları gösterir. Dallanmış, doğrusal veya üç boyutlu ağ yapıda olabilirler. Doğrusal homopolimerler iki çeşit tekrarlanan birimden meydana gelir. Üç boyutlu ağ yapıdaki homopolimerler ise iki türden fazla monomerden oluşur. Bu polimerlerde çözünürlük azalır ve sertlik artar. Örnek olarak polipropilen verilebilir.



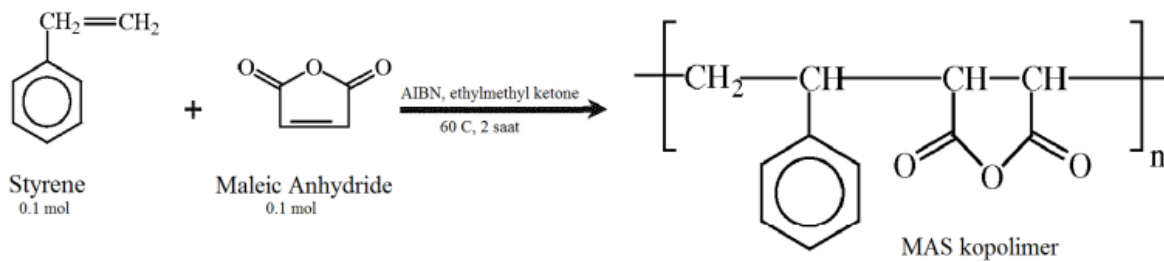
Şekil 2.2 Polipropilenin Kimyasal Yapısı

2.1.2 Kopolimerler

Bu polimer çeşidi yapısında iki ya da daha çok tekrarlanan birim bulunan polimerlerdir. Doğrusal ve doğrusal olmayan yapıda olmak üzere iki çeşit kopolimer bulunmaktadır.

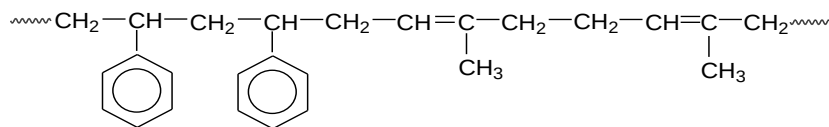
Monomerlerin ard arda bağlanmasıyla oluşan polimerlere “doğrusal kopolimer” denir. Bu polimerler eritilerek defalarca tekrar şekillendirilebilirler ve uygun çözücüler ile çözünebilmektedirler.

Doğrusal kopolimerler, tekrarlanan birimlerin dizilim sırasına göre çeşitli yapılar gösterebilir. A ve B gibi iki birimden oluşan doğrusal kopolimerler üç farklı yapı gösterebilir. Ardışık kopolimer dizilimleri “A-B-A-B-A-B-A-B-A” şeklindedir. Stiren ve maleik anhidrit aynı mol sayılarında alınması durumunda ardışık bir kopolimer verir.



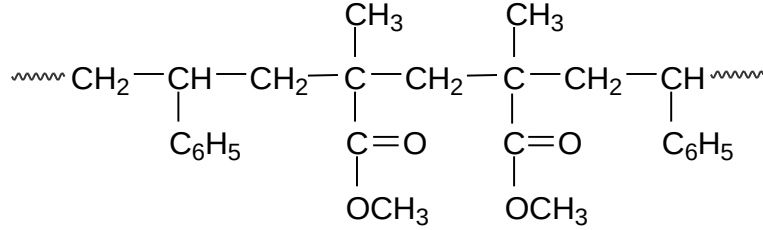
Şekil 2.3 Stiren- Maleik Anhidrit Kopolimeri [3]

Blok kopolimer dizilimleri “A-A-A-B-B-B” şeklindedir. Stiren ve izoprenden blok kopolimeri oluşabilir.



Şekil.2.4 Stiren- İzopren Kopolimeri

Rastgele kopolimer dizilimleri ise “A-A-B-B-B-A-B-B-A” şeklindedir. Stiren ve metil metakrilatların serbest radikal polimerleşmesi rastgele kopolimerini meydana getirir.



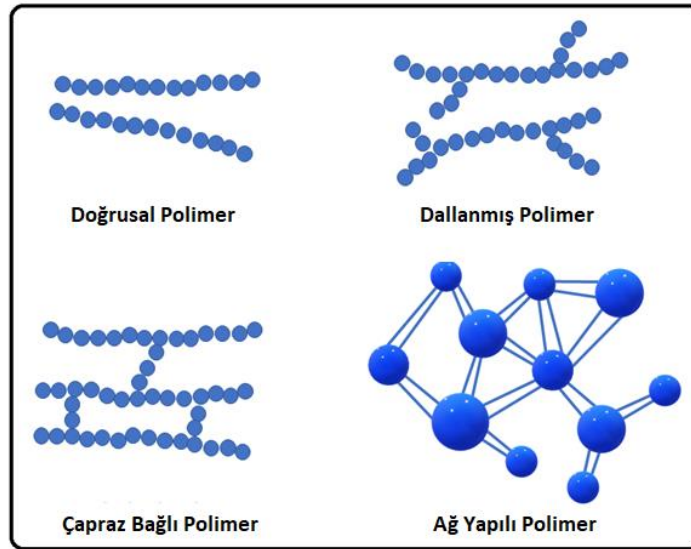
Şekil 2.5 Stiren-Metil Metakrilat Kopolimeri

Doğrusal polimerlerde zincirler lineer şekilde peş peşe dizilmiş halde bulunurlar. Yapılarında herhangi bir dallanma ya da ağ yapısı bulunmamaktadır. Bu çeşit polimerler birbirlerine Van Der Waals bağlarıyla bağlanmaktadır.

Dallanmış polimerlerde yapısındaki yan polimer zincirler ana zincire bağlanmış şekilde yer alır. Dallanmış polimerlerin ve doğrusal yapıların özellikleri genel olarak birbirlerine benzemektedir. Örneğin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) tamamen doğrusal zincirlerden oluşurken düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)’de kısa yan dallar bulunmaktadır.

Çapraz bağlı polimerde ana zincirler ile ara zincirler birbirlerine bağlanarak üç boyutlu ağ yapı oluşturur. Birçok kauçuk çeşidi, vulkanizasyon işlemiyle çapraz bağlı hale getirilir. Çapraz bağlı polimerler çözücünde çözünmezler fakat uygun çözücülerde belirli oranlarda şişirilebilirler.

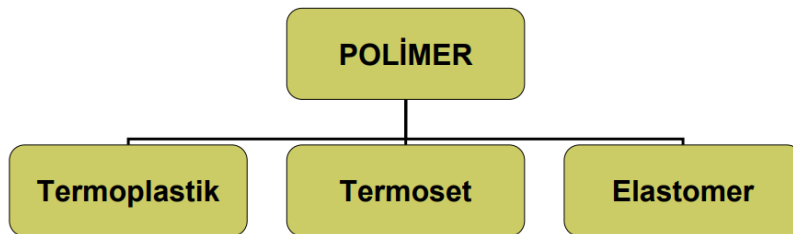
Ağ yapılı polimerler ise üç veya dört aktif kovalent bağa sahip olduklarından dolayı üç boyutlu ağ yapısı oluşturmaktadır. Çok fazla çapraz bağa sahip polimerler de ağ yapılı polimerler olarak adlandırılmaktadır. Bu gruba ait olan poliüretan, fenol formaldehit ve epoksi gibi malzemeler kendine özgü ısı ve mekanik özelliklere sahiptir.



Şekil 2.6 Zincir Şekillerine Göre Polimerler

2.1.3 Isı ve Çözücülere Gösterdikleri Davranışa Göre Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerlerin sınıflandırılmasında en çok, işleme yöntemine göre yapılan sınıflandırma kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre polimerler termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki büyük gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.7 Isı ve Çözücülere Gösterdikleri Davranışa Göre Polimerler

Termoplastik Polimerler: Bu plastikler özelliklerinde çok büyük değişiklikler meydana gelmeden tekrar tekrar ısıtılarak defalarca şekillendirilebilirler. Termoplastik polimerler genel olarak birbirlerine kovalent bağlarla bağlı oldukça uzun karbon atomu zincirlerinden oluşmaktadır. Bu bağlar zincirlerin mukavemetini arttırmaktadır. Bazen oksijen, kükürt veya azot atomları da ana molekül zincirlerine kovalent bağ ile bağlanabilirler.

Basınç ve sıcaklık altında yumuşayabildikleri için çeşitli formlarda şekillendirilebilirler. Doğrusal yapıdadırlar ve uygun çözücülerde çözünebilirler. Çözücü döküm yöntemiyle şekillendirilebilirler. Defalarca işlenerek geri dönüştürülmeleri mümkündür. Bu

özellikleri sayesinde en çok tercih edilen plastikler arasında yer alırlar. Yapıları ve özellikleri nedeniyle en çok tercih edilen termoplastiklere PE, PP, PVC, PA, PC gibi polimerler örnek verilebilir.

Termoset Polimerler: Termoset plastiklerin işleme sırasında kimyasal bağları bozulduğu için geri dönüştürülemezler. İşleme sonrasında yapılarında bulunan çapraz bağlardan dolayı ısı dayanımı yüksek ve kırılğan yapıda ürünler ortaya çıkmaktadır. Yapılarındaki çapraz bağlar termosetlerin şekil değiştirmesine ve sertleşmesine engel olmaktadır. İç yapı ısıtıldıkça sertleşir ve sıcaklığın daha fazla artmasıyla deforme olmaya başlar [4].

Elastomer: Tabii kauçuk ve sentetik kauçuk olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Termoplastik malzemelerin it bir gruptur. Yüke maruz bırakıldıklarında çok fazla deformasyona uğrarlar ve elastiklik modülleri düşüktür. Yük kaldırıldıktan sonra tekrar eski hallerine dönerler. Moleküller arası çapraz bağ yapıları oldukça azdır. Çoğu zaman helezoni yaylar gibi davranırlar. Maruz bırakıldıkları yükün kaldırılmasından sonra eski boyutlarına dönmelerinin nedeni çapraz bağlardır.

2.2 Polimerlerin Özellikleri

Yüksek esneklik ve dayanıklılık: Polimerler, uzun ve zincirli bir moleküler yapıya sahip olduklarından, esneklik ve dayanıklılıkları yüksektir. Çeşitli dolgu maddeleriyle daha da dayanıklı hale getirilebilirler.

Düşük yoğunluk: Polimerler genellikle düşük yoğunluklu malzemelerdir. Bu, daha hafif ve taşınabilir ürünlerin üretilmesini sağlar. Örneğin bir polimer çeşidi olan Polietilenin ilk türü Alçak Yoğunluklu Polietilen (LDPE)'de çok fazla dallanma olduğu için moleküller arası bağı zayıftır. Gerilme dayanımı düşük ve elastikiyeti yüksektir, kopmaya karşı dayanıklıdır.

Yüksek kimyasal direnç: Polimerler, kimyasal maddelere karşı dirençli oldukları için, çeşitli kimyasal ortamlarda kullanılabilirler.

İyi elektriksel ve termal yalıtım: Polimerler, yalıtkan malzemelerdir ve genellikle elektrik yalıtımı gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Aynı zamanda, termal iletkenlikleri düşüktür ve ısı yalıtımını sağlarlar. Bu özellikleri sayesinde elektrik kablolu yalıtım ve kılıflanmasında kullanılmaktadırlar.

Kolay işlenebilirlik: Polimerler, çeşitli şekillerde ve formlarda işlenebilirler. Metal ve seramiklere göre işleme sıcaklıkları düşüktür. Ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, şişirmeyle kalıplama, basınçla kalıplama gibi işlemlerle farklı şekillere getirilebilirler.

Düşük maliyet: Polimerler, genellikle doğal kaynaklardan elde edilen hammaddelerden üretildiği için diğer malzemelere göre daha düşük maliyetlidir ve ihtiyaç durumunda temin edilmeleri kolaydır.

Çeşitlilik: Polimerler, farklı kimyasal bileşimlere ve moleküler yapıların tasarlanabilmesine olanak tanır. Bu nedenle, istenilen özelliklere sahip polimerleri üretmek mümkündür.

Geri dönüşüm: Polimerler, geri dönüşümü kolay malzemelerdir. Ayrıca tekrar kullanılarak çevresel etkilerinin azaltılmasına katkıda bulunabilirler.

Polimerler, birçok endüstride ve üründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı örnekler şunlardır:

Plastikler: Plastikler, günlük yaşamımızın bir parçası haline gelmiştir. Ambalaj ürünleri, elektronik cihaz aksamaları, otomobil parçaları, oyuncaklar gibi birçok farklı üründe kullanılır.

Tekstil endüstrisi: Polyester, naylon ve akrilik gibi polimerler, tekstil malzemelerinin üretiminde kullanılır.

İnşaat: Polimerler, dayanıklılık, hafiflik ve esneklik gibi özellikleri nedeniyle inşaat malzemelerinde kullanılır. Örneğin, PVC borular, polimer kaplamalar ve izolasyon malzemeleri gibi.

Tıp: Polimerler, tıbbi malzeme ve cihazların üretiminde kullanılır. Örneğin, protezler, implantlar ve medikal aletlerde polimer malzemeler kullanılır.

Elektrik ve elektronik: Polimerler, elektrik kabloları, kapasitörler, elektronik devreler ve yarı iletkenler gibi birçok elektronik bileşenin yapımında kullanılır.

Tarım: Tarım sektöründe polimerler, sera filmi, sulama sistemleri (damlama boruları) ve tarım zararlılarına karşı kullanılan zirai ilaçlar gibi birçok alanda kullanılır.

2.3 Polipropilen

Polipropilen (PP) 1958 yılında plastik sektöründe ilk olarak kullanılmaya başlanmıştır. Piyasaya sürülmesinden itibaren endüstriyel, evsel ve tıbbi kullanımda oldukça yaygın

olarak kullanılmaktadır. Üç farklı polipropilen türü vardır. İlk olarak yarı kristalli katı formda yalnızca propilen monomeri içeren polipropilendir ve homo-polimer PP (HPP) olarak adlandırılır. İkincisi, PP zincirlerinde ko-monomer olarak etileni %1-8 aralığındaki seviyelerde içeren polipropilendir ve buna rastgele kopolimer (RCP) adı verilir. Üçüncü türü ise, %45-65 etilen içeriğine sahip, birlikte karıştırılmış bir RCP fazı içeren HPP, darbeli kopolimer (ICP) olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak özdeş monomerlerden oluşan polimerlere homo polimerler, zincirlerinde birden fazla tip monomer içeren polimerik bileşiklere ise kopolimerler adı verilmektedir. Homopolimer PP ve kopolimer PP'nin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.1'de verilmiştir [5].

Tablo 2.1 Polipropilenin Avantaj ve Dezavantajları

PP Avantajları	PP Dezavantajları
Kolay İşlenebilirlik	Uv Bozunması
Darbeye Dayanıklı	Kimyasallara dayanıksız
Yüksek Sertlik	Bazı metallere dayanıksız
Gıdaya Uyumlu	Düşük sıcaklıklarda darbe dayanımı düşük

Bazı PP kaliteleri, endüstriyel veya genel amaçlı uygulamalara yönelik katkı maddeleri ile harmanlanır. Polipropilen (PP), yangına dayanıklılık, basitlik, yüksek ısı bozulma sıcaklığı ve boyutsal sağlamlık gibi olağanüstü özelliklere sahip, ucuz bir termoplastik polimerdir. PP, müşteriler için plastik ambalaj gibi son ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılan bir plastiktir ve dünya çapındaki plastik pazarının %16'sını oluşturur. PP'nin doğal ve yapay elyaflarla çeşitli kombinasyonları, termal ve mekanik özellikleri ve PP ile işlenen yeni ürünler üretme yetenekleri nedeniyle önem kazanmaktadır [6]. PP'nin tipik özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Bu özellikler PP'nin sağlamlığı, kuvveti ve sertliğinde, çoğu asit, baz ve çözücünün saldırısına karşı direncinde ve kalıcı esneme-yorulma direncinde rol oynamaktadır [7].

Tablo 2.2 Polipropilenin tipik özellikleri [7]

Özellikler	Sayısal Değerler
Isıl Bozunma Sıcaklığı	220
Gerilme Direnci (PSI)	5000
Bükülme Direnci (PSI)	160.000
Yoğunluk (g/cc)	0,904
Eğilme Akma Dayanımı (PSI)	6000
Izod Darbe Dayanımı	0,3
Basınç Dayanımı (PSI)	5500-8000
Sertlik	R80-110
Elastikiyet Modülü	1,6-2,25

Otomotiv sanayiinde kullanılan parçalardan, tekstil ve gıda paketlemesine kadar geniş kullanım alanı bulunan polipropilen (PP), ambalaj ve etiketleme, tekstil (halı, halat ve termal iç çamaşırı gibi), laboratuvar ekipmanı, plastik parçalar ve yeniden kullanılabilir kaplar, kırtasiye ve otomotiv parçaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

3. KOMPOZİTLER

Malzemelerin özellikleri birbirinden farklıdır. Örneğin; bazıları dışardan gelebilecek etkilenmelere karşı yüksek mukavemete sahip, bazılarının ısı ve kimyasal dayanımları oldukça yüksek, bazılarının da işlenebilirliği kolaydır. Bu gibi özellikleri sadece bir malzeme de toplamak amacıyla iki veya daha fazla ürünün birleştirilmesiyle birlikte kompozit malzemeler meydana gelmektedir. Kompozitler, farklı bir arayüzle birbirlerinden ayrılan kimyasal ve fiziksel olarak farklı fazdan oluşan iki veya daha fazla malzemedan oluşmaktadırlar. Birbirinden farklı özellikteki malzemeler, herhangi bir bileşenin tek başına elde edemeyeceği daha kullanışlı yapısal veya işlevsel özelliklere sahip bir malzeme elde etmek için birleştirilir. Kompozitler, düşük ağırlık, korozyon direnci, yüksek yorulma mukavemeti ve daha hızlı montaj gibi avantajları nedeniyle günümüz malzemelerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu malzemeler uçak parçalarının yapımında, elektronik ambalajlardan tıbbi ekipmanlara ve uzay araçlarından ev inşaatına kadar birçok üründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerin kullanım alanlarına göre dağılımı Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kompozit malzemelerin sektörel dağılımı

Sektörler	Dünya(%)	Avrupa(%)	Türkiye(%)
Taşımacılık ve Otomotiv	28	30	24
Yapı İnşaat	19	20	21
Elektrik ve Elektronik	16	14	5
Boru ve Tank	15	13,5	36
Tüketim Malları	8	3	3
Rüzgar Enerjisi	7	12	7
Uzay ve Havacılık	0,5	0,5	-
Denizcilik	3	5	2
Diğer	3,5	2	2

Yapısal uygulamalardaki kompozitlerde aşağıdaki özellikler bulunmaktadır:

- Genel olarak iki veya daha fazla fiziksel olarak farklı ve mekanik olarak ayrılabilen malzemedan oluşurlar.

- Bileşenlerin kontrollü ve düzgün bir şekilde dağılmasını sağlayacak şekilde ayrı malzemelerin karıştırılmasıyla yapılırlar.
- Üstün mekanik özellikleri bulunmaktadır ve bazı durumlarda kendilerini oluşturan bileşenlerin özelliklerinden oldukça farklıdır [8].

Kompozit malzemeler doğada hem hayvanlarda hem de bitkilerde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Doğal kompozit malzemelere en iyi örneklerden biri de ahşaptır. Ahşap malzemelerde Lignin olarak adlandırılan sert yapı ve selüloz lifleri bir arada tutulur. Selüloz pamukta da bulunur fakat yapısında lignin olmadığı için pamukta bulunan bu selüloz lifleri çok zayıftır. Vücudumuzdaki kemiklerde kompozit malzemeye örnek verilebilir. Bilimsel adı hidroksiapatit olan kalsiyum tuzu ile yumuşak ve esnek bir protein olan kolajen adı verilen malzemenin bir araya gelmesi ile kemikler oluşmaktadır. Tırnaklarımızda ve saçlarımızda da bulunan kolajen kalsiyum tuzu ile birlikte olmadığı için kemik kadar dayanıklı ve sert değildir. Binlerce yıldır insanlar kompozit üretmektedirler. En eski kompozit malzeme örneklerinden biri ise tuğladır. İnsanlar, çamur ve samanı birbirleriyle karıştırılarak ilk kompozit yapı malzemesini üretmiştir. Beton ise kum ile çimentonun birleştirilmesiyle oluşan ilk kompozit malzemelerden biridir. Kompozit malzemeler metal, seramik ve plastik matrisli olarak 3'e ayrılmaktadır:

Seramik matrisli kompozitler; Yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda hidrokarbon yapılarından dolayı polimer matrisli kompozitlerin dayanımları düşüktür. Seramik matrisli kompozitler yoğunlukları düşük olduğu için hafiftir ve yüksek oksidasyon dirençleri nedeniyle yüksek sıcaklıklarda elverişlidirler. Fakat seramikler kırılabilirlikleri yüksek olduğundan dolayı sivil savunma, uzay ve havacılık sanayiinde tercih edilmemektedirler. Seramik malzemeler çekme gerilimlerinin düşük olması, kırılabilirliklerinin yüksek olması ve metaller gibi plastik deformasyon göstermemeleri, ani mekanik ve ısı değişimlere (ısı ve mekanik şok) karşı dirençlerinin düşük olması yapısal uygulamalarda tercih edilmemektedir. [9].

Metal matrisli kompozitler; Metaller veya alaşımların performanslarını arttırmak için başka malzemelerle birleştirilmesiyle ortaya çıkan malzemeler metal matrisli kompozit olarak adlandırılmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerde, matriste kullanılan metal sayesinde son ürünün yapısının oldukça sert ve aşınmaya dayanıklı olması, gerilme mukavemetinin yüksek olması gibi özellikler sağlanmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda

kullanım gerektiren malzemelerde metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) kullanılmaktadır. MMK'ler düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve esneklik modülü, yüksek tokluk ve darbe dayanımı gibi avantajları bulunmaktadır.

Polimer matrisli kompozitler; Ticari amaçlı üretilen kompozitlerde genellikle reçine çözeltisi olarak adlandırılan bir polimer matris malzemesi kullanılmaktadır. PMK'ler maliyetlerinin düşük olması ve imalat yöntemlerinin kolay olması nedeniyle oldukça popülerdir. Polimer matristen oluşan kompozit malzemeler, korozyona dirençli, işlenebilmesi ve şekillendirilebilmesi oldukça kolay, seramiklere göre kırılma direnci oldukça az malzemelerdir. Takviyesiz polimerlerin yapı malzemesi olarak kullanımı, modül, mukavemet ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerinin düşük olması nedeniyle sınırlıdır. Polimerlerin diğer dolgu malzemeleriyle kombinasyonu sonucunda kırılmaya ve aşınmaya karşı direnç, yüksek darbe dayanımı, iyi derecede korozyon ve yorulma direnci gibi özellikler ortaya çıkmaktadır. Polimer matrisli kompozitler (PMK) birçok çeşidi bulunmaktadır. En yaygın olanlarına örnek olarak polipropilen, polyester, epoksi, fenolik, poliimid, poliamid, vinil ester, polietilen eter keton (PEEK) verilebilir.

Polipropilen, yüksek ısı bozulma sıcaklığı, şeffaflık, alev direnci, boyutsal kararlılık gibi uygulamalarını genişleten birçok özelliğe sahiptir. Bir matris malzemesi olarak PP, mükemmel özelliklere sahip olduğu için kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. PP aynı zamanda dolgu, takviye ve harmanlama için de oldukça uygundur. Doğal lifli polimerlere sahip olan PP, doğal sentetik polimer kompozitler oluşturmanın en yaygın yollarından biridir.

Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibidir;

Kompozit malzemelerin avantajları;

- Kompozit malzemeler sert yapıdadır fakat ağırlıkları düşüktür. Polimer matrisli kompozitlerin yoğunluğu 1,5-2 gr/cm³ civarındadır.
- Kompozitlerin çekme, darbe, basma, yorulma dayanımları çok yüksektir.
- Kompozit malzemelerin dış yüzeyleri polimerlerle kaplı olduğu için kimyasallara ve korozyona karşı direnci çok iyidir.
- Isı dayanımları oldukça yüksek malzemelerdir.

- Kompozit malzemelerin gürültü ve titreşim iletimleri çok düşüktür. Bu özellikleri sayesinde uçak kanatları ve golf sopaları gibi alanlarda yaygın bir kullanma alanları vardır.
- Şekillendirilmeleri çok kolaydır.
- Kompozitler kullanılan malzemeye göre iletken ya da yalıtkan özellik gösterebilirler. Örneğin polimer matrisli kompozitler elektriği iletmezler fakat metal matrisli kompozitlerde bu durum tam tersidir.
- Uçak ve otomobillerde kompozit malzeme kullanıldığında ağırlıkları azalmaktadır ve böylece bu ürünlerde yakıt tasarrufu sağlanır.

Kompozit malzemelerin dezavantajları;

- Kompozit malzemelerin maliyeti yüksektir ve üretimleri zordur.
- Kompozit malzemelerin matriste kullanılan malzemelere göre sıcaklık dirençleri değişmektedir. Genelde matris olarak polimer malzemeler kullanılmaktadır. Bu yüzden polimer matrisli kompozitlerin sıcaklık dirençleri sınırlıdır.
- Kompozit malzemelerin kimyasal dirençleri de matrislerinde kullanılan malzemeye bağlıdır. Polimer matrisli malzemelerde bazı polimerlerin kimyasallara karşı direnci düşük olduğu için olumsuz etkileyebilir.
- Kompozitler geri dönüşümü yapılamayan malzemelerdir.

Polipropilen malzemelere çeşitli malzemeler takviye edilmesiyle oluşturulan kompozit malzemeler günümüzde birçok akademik çalışmada kullanılmaktadır.

Rajeev Karnani ve ark. [10] Bu çalışma, reaktif ekstrüzyon işlemiyle lignoselülozik kompozitlerin hazırlanmasını ele almaktadır. PP matrisi, maleik anhidrit ile reaksiyona sokulup modifiye edilmiş lignoselülozik bileşen ve fiber ile kompozit haline getirilmiştir. Daha sonra bu kompozit ekstrüzyon yöntemi ile granül haline getirilip mukavemet, tokluk ve Izod darbe testleri gibi mekanik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda modifiye edilmiş PP matris ve fiber içerikli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmiş olduğu görülmüştür.

Araştırmalar sonucunda talk ve cam tozu dolgunun yanı sıra birçok yardımcı katkı malzemesiyle birlikte üretilen kompozit malzemelerin olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Ömer Cengiz [1], Polipropilen malzemeye talk ve fındık kabuğu katkıları ekleyerek hibrid bir kompozit meydana getirmiş daha sonra SEM, HDT, DSC, TGA gibi testler üzerinde sonuçları gözlemlemiştir. Fındık kabuğu ve talkın matris numunesi içerisinde homojen dağılmasını talk dolgusunun ise yapraksı yapısı sayesinde ara yüzey üzerinde kayma hareketlerine imkân tanınmasıyla eğme mukavemet değerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Eklenen katkılar ile birlikte malzeme daha sert bir yapıya sahip olmuş, çekme elastisite modülü değeri pozitif etki göstermiştir. Ayrıca her iki dolgunun kullanıldığı numunelerde eğme mukavemet değeri ve eğme elastisite modülünün arttığı gözlemlenmiştir.

Emriye Çınar ve Ark. [11] öğütülmüş atık cam tozu ve polipropilen lif kullanımının çimento esaslı harçlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Elde edilen kompozit numunelerine 7. Günde eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. 28. Günde ise porozite yüzdesi, su emme yüzdesi ve birim hacim ağırlık deneyleri gibi fiziksel özelliklerindeki değişim, eğilme ve basınç dayanımı testleri ile mekanik özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Cam tozu oranının artmasıyla birlikte eğilme dayanımında artış, basınç dayanımında azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Y. Kansu [12] Cam küre, CaCO_3 ve talk dolgulu polipropilen matrisli kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda talk dolgusu polipropilenin mekanik özelliklerini diğer dolgu maddelerine göre arttırmış ancak plaka şeklindeki talkın yönlenmesinden dolayı akma dayanımı ve yüzde uzama değerlerinde düşüşler gözlemlendiği görülmüştür. CaCO_3 ve cam küre dolgularının tüm dolgu oranlarında birleşme çizgisi içeren numunelerde plaka şeklindeki talka göre çok daha iyi akma dayanımı ve yüzde uzama değerlerine sahip olduğunu gözlemlemiştir.

K. Wang ve ark. [13] PP/Talk kompozitlerinin reolojik, kimyasal, termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Talk içeriği ağırlıkça sırasıyla %0, %10, %20 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlar ekstrüzyon makinesinde üretilmiştir. Kullanılan talk dolgusu ile birlikte polipropilen malzemenin sertliğinin arttığı görülmüştür. Deneyler sonucunda %10 talk içerikli malzemenin %20 talk içeren kompozit malzemeye göre akma geriliminde iyileşme olduğu görülmüştür.

B. Rotzinger [14] %20 talk içerikli polimer malzemenin yapısındaki değişimleri incelemiş ve ısı stabilitesinin arttığını gözlemlemiştir.

A. Pişkin [15] Polimer betonunda kullanılan kuvars tozu yerine cam tozu ikame ederek ürünün mekanik özellikleri incelenmiştir. %30 oranında cam tozu eklendiğinde çökme değerlerinde %50 artış olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemeye cam tozu ilave edilmesiyle işlenebilirliğinin, eğilme ve basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Cam tozunun yanı sıra cam elyaf ile ilgili birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

Mariana Etcheverry ve Silvia E. Barbosa [16] Polipropilen malzemeye cam elyaf takviye edilmesiyle mekanik özelliklerindeki iyileşmeleri incelemişlerdir. Cam elyaf takviyesiyle PP malzeme üzerindeki adezyon ve kayma mukavemeti artmıştır. Ayrıca cam elyaf içeren PP kompozitlerin yüksek süneklik ve tokluğa sahip olduğu görülmüştür.

Diğer bir cam elyaf- PP kompozit çalışmasında ise, Tasnim Kossentini Kallel ve ark. [17] Cam elyaf takviyeli PP malzemenin mekanik ve yapısal özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada Maleik Anhidrit aşılınmış Polipropilen malzemeye cam elyaf takviyesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda ara yüzey yapışması önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca akış kapasitesindeki önemli iyileşme, daha yüksek ortalama uzunluk değerleri ve daha dar uzunluk dağılımı yoluyla elyafın daha iyi yönlendirilmesi ve diğer yandan mekanik özelliklerin geliştirilmesiyle kanıtlanmıştır.

Kasama Jarukumjorn ve Nitinat Suppakarn [18] ise ‘Cam elyaf hibridizasyonunun sisal elyaf-polipropilen kompozitlerin özelliklerine etkisi’ isimli akademik çalışmalarında olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışma sonunda cam elyaf içeriğinin artmasıyla kompozitlerin termal bozunma sıcaklığının da arttığı görülmüş, ayrıca PP'nin Vicat yumuşama sıcaklığı sisal liflerinin eklenmesiyle önemli ölçüde artmış ve cam lifleriyle hibridizasyonla daha da geliştirilmiştir. Ancak sisal-PP kompozitlerine cam elyafların eklenmesi viskoziteyi önemli ölçüde değiştirmedığı gözlemlenmiştir. Son olarak cam elyaflarla sisal-PP kompozitlerinin birleştirilmesinin ana malzemenin su emilimini azalttığı görülmüştür.

Günlük hayatımızda çeşitli malzemelerin geri dönüştürülmesi insanların bilinçlenmesiyle birlikte çevreyi korumak, ürün israfı önlemek ve maliyeti önemli oranlarda düşürmesi nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. Camlar, ampullerde, şişelerde, pencerelerde ve süs eşyaları gibi günlük hayatta kullanılan birçok malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanımdan sonra ortaya çıkan atık camlar çimento üretiminde, plastiklerde dolgu malzemesi olarak ve mineral katkı olarak çimento yerine kullanılabilir [11]. Cam tozu, kullanılıp geri dönüştürülen camın elenip

değirmenlerde çok küçük mikron boyutlarına getirilmesiyle elde edilmektedir. Ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirmesinin yanında kullanılan hammaddeye kıyasla daha ekonomik olması ve ürüne yüksek sertlik veren bir malzeme olması cam tozunun avantajları arasındadır. Çalışmada kullanılan diğer bir katkı malzemesi ise talktır. Talk doğada magnezyum silikattır ve yumuşak bir mineraldir. Genellikle ince toz halindedir. Kullanıldığı malzemenin işlemlerini kolaylaştırır, ısı direncini artırır ve aşınmayı azaltır. Bu çalışmada PP malzemeye talk ve cam tozunun belirli oranlarda eklenerek kompozit malzeme meydana getirilerek polimerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, doğa ile uyumlu ve ekonomik bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmiştir [19].





4. MALZEME VE METOD

4.1 Malzemeler

4.1.1 Polipropilen

Tüm dünyada en yaygın kullanılan polimerlerden bir tanesi olan polipropilen (PP), polietilen gibi poliolefinler grubuna aittir. Yarı kristalin yapısı, kolay işlenebilmesi, birim hacme düşen düşük maliyeti gibi geniş özelliklere sahip bir termoplastiktir [12]. Cam tozu ve talk kullanılarak hazırlanan kompozit malzemede ana matris olarak polipropilen kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan LUKOIL Neftohim Burgas AD markasına ait olan Buplene 6231 PP ticari isimli polimer malzemeye ait tipik özellikler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kullanılan Buplene 6231 PP polimer matrise ait tipik özellikler

Özellikler	Birim	Değer
Erime Akış İndisi MFI (230°C, 2,16 kg)	g/10dk	16-25
Yoğunluk (23°C)	kg/m ³	899-908
1.820 MPa Yük Altındaki Sapma Sıcaklığı	°C	50
50 mm/dk Anında Çekme Mukavemeti	MPa	29
Eğilme Modülü (%1 sec.)	MPa	1100

4.1.2 Talk

Talk, polipropilen matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan dolgu maddelerinden bir tanesidir. Talk yalıtkan bir malzemedir. Bu nedenle, yüksek frekans elektrik yalıtkanlarının üretiminde kullanılır. Bunun yanı sıra yaklaşık 9000 °C sıcaklığa kadar ısıl dayanıklıdır. Düşük ısıl şoklara ve ısı iletim katsayısına karşı dayanımı yüksektir. Talk ısıtıldıkça, kristalin veya optik özelliklerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmeden bünyesindeki suyu kaybeder. Talkın mol başına bir molekülündeki su 380°C ile 500°C sıcaklık aralığında uçar. Sıcaklık 800°C’yi aştığı zaman bileşiminde kristal halde bulunan suyu kaybeder. Özgül ağırlığı 2.7– 2.8 g/cm³’dür. Çoğu kimyasal ajandan etkilenmez. Asitlerle temas ettiğinde deforme olmadan kalabilmektedir [12].

Araştırmalar sonucunda talk malzemesinin polipropilenin kalıplama uygulamalarında çevrim süresini, termal genleşme katsayısını ve gaz geçirgenlik oranını azalttığı görülmüştür [14]. Aynı zamanda kalıp çekmesini azaltarak ve homojenleştirerek PP malzemenin şekillendirilmesini kolaylaştırmaktadır [13]. Çalışmada nano mikron boyutlarda %10 talk dolgusu içeren PP hammaddesi %3 talk oranına denk getirilecek şekilde hesaplanıp karışıma eklenmiştir.

4.1.3 Cam Tozu

Cam, CaO, MgO ve Al₂O₃ gibi oksitlerden oluşan kristal olmayan silikat yapıları içerir ve amorf bir yapıya sahiptir. Bu amorf yapı, malzemelerin korozyon direncinde rol oynar. Atık cam çatlaklarının öğütülmesiyle cam tozu elde edilir ve bileşimi nedeniyle yapı malzemelerine katkı veya kaplama malzemesi olarak kullanılır. Atık cam tozu, yüksek termal stabilite, hava koşullarına dayanıklılık, hidrofobik davranış, düşük yüzey gerilimi ve yüksek oksidasyon direnci sağlayan yüksek silika bileşenlerinden oluşur. Cam tozu kaplama, malzemelerin termal stabilitesini, hava koşullarına direncini ve korozyon direncini arttırmayı sağlar [20].

Kimyasal olarak inerttir, toksik değildir ve çevre dostudur. Cam Tozu, dayanıklılığı ve işlenebilirliği artırmak için, beton, fayans harcı ve sıvada katkı maddesi olarak kullanılır. Betona eklendiğinde, ultra pürüzsüz bir yüzey elde etmek ve basınç dayanımını artırmak için hava ceplerini doldurmaya yardımcı olur. Ayrıca epoksi reçinelerde, boyalarda ve plastiklerde dolgu maddesi olarak kullanılır. Aynı zamanda bir kalıp ayırıcı olarak da iyi çalışır ve malzemelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlar. Yüksek silika içeriği ve gözenekli yapısı ile kireç ve su ile karıştırıldığında, kimyasal bir reaksiyon yoluyla zamanla sertleşir ve güç kazanır. Bu çalışmada nano mikron boyutlarda cam tozu polipropilen malzemeye belirli oranlarda ilave edilmiştir.

4.2 Kompozitlerin Hazırlanması

Çalışmada dolgu maddesi olarak nano mikron boyutlarda talk ve cam tozu kullanılmıştır. Polimer matris olarak ise LUKOIL Neftohim Burgas AD markasına ait olan Buplene 6231 PP ticari isimli polipropilen kullanılmıştır. Nano mikron boyutlarındaki cam tozu ve talk şekilde gösterilen PP ürüne belirli oranlarda karıştırılmıştır. Tablo 4.1’de bu çalışmada cam tozu ve talk kullanılarak hazırlanan karışımların oranları ve isimlendirmeleri verilmiştir. Kodlandırmada bulunan “T” sembolü talk içeriğini, “CT” sembolü ise cam tozu içeriğini ifade etmektedir.

Tablo 4.2 Çalışmada kullanılan karışım oranları ve isimlendirmeleri

Numune Kodu	%PP	%T	%CT
Saf PP	100	-	-
PPT3	97	3	0
PPT3CT5	92	3	5
PPT3CT10	87	3	10
PPT3CT15	82	3	15
PPT3CT20	77	3	20

Tabloda belirtildiği gibi ilk numune olarak %100 saf PP kullanılmıştır. PPNA3 adlı ikinci numunede saf polipropilene %3 oranında talk dolgu maddesi eklenmiştir. Daha sonra talk miktarı sabit tutularak sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında cam tozu içeren karışımlar hazırlanmıştır. Üretilen numuneler Zebra Polimer A.Ş’de ortalama 32-48 mm. L/D oranına ve vida çapı 30 mm. Olan NANJING HAISI marka ekstrüzyon makinesinde uygun devir ve sıcaklıklarda granül haline getirilmiştir. Kullanılan ekstrüzyon makinesinin değerleri aşağıdaki gibidir;

Besleme Devri: 17 devir/dk

Yolluk Giriş sıcaklığı: 140°C

Vida Devri: 300 devir/dk

Yolluk Çıkış Sıcaklığı: 210°C

Ekstrüzyon makinesinin üretim hızı: 200 kg/h

Numunelerin ekstrüzyon makinesinde üretilmesi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Ekstrüzyon makinesinde numunelerin üretimi

Ekstrüzyon makinesinde ayrı ayrı üretilen kompozit numuneleri Yalova Üniversitesi Polimer Araştırma Laboratuvarında bulunan Engel firmasına ait 800 kN'luk plastik enjeksiyon makinesinde 220°C kalıplama sıcaklığı, 300 kN kapama basıncı ve 15°C besleme bölgesi sıcaklığında hazırlanmıştır. Kullanılan test numunesi kalıbı ve enjeksiyon makinesi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Kullanılan enjeksiyon makinesi ve test numunesi kalıbı

4.3 Mekanik Testler

Kullanılan talk ve cam tozu katkılarının PP'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla, çekme testi, darbe testi ve eğme testi yapılmıştır. Mekanik testler Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan mekanik test cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Çekme Testi

Çekme testi bir malzeme kopana kadar sürekli olarak çekme kuvveti uygulanır ve stress-strain değişimi sürekli kaydedilerek yapılır. Çekme testinin amacı malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bu test sonucunda % kopma uzaması, elastik modül, akma uzaması ve akma gerilimi değerleri hesaplanmıştır.

Çekme testinde AHP marka 20 KN çekme gücüne sahip ancak ölçülen numunelerin mekanik mukavemetleri değerlendirilerek hassasiyetin artırılması için 5 KN'luk bir load cell (yük hücresi) ile donatılmış test cihazı kullanılmıştır. Testler 50 mm/dk hızı ile

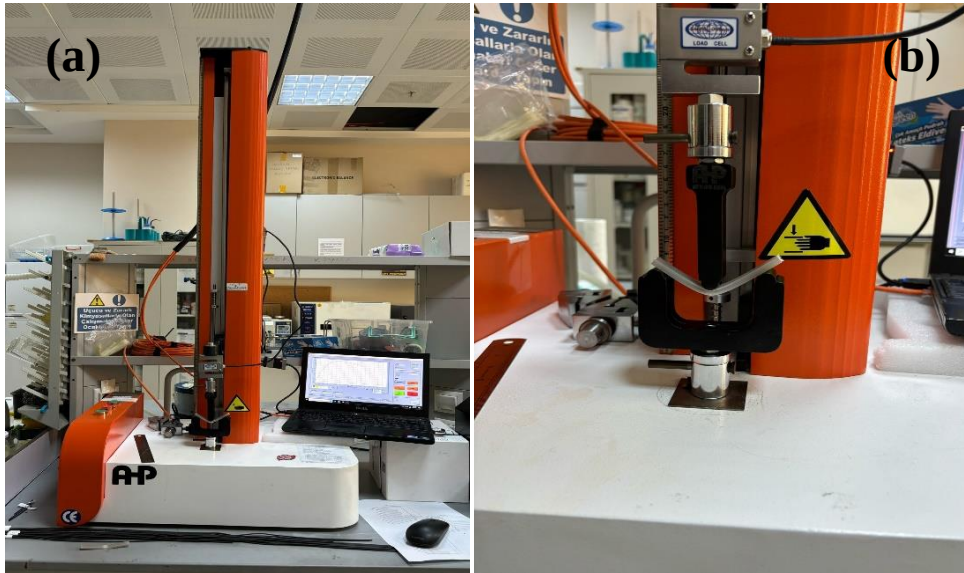
gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlemler TS EN ISO 527-1 2019 standardına uygun olarak yapılmış ve numunelere kopma anına kadar çekme işlemi uygulanmıştır.

4.3.2 Izod Darbe Testi

Izod darbe testinde, numunenin belirli bir geometride çentiği bulunur ve numune cihazda bulunan bölüme dikey olarak yerleştirilir. Test cihazı, numunenin ucuna yakın bir noktadan numuneye darbe uygular ve numune çentiğin olduğu bölgeden kırılır. Darbe testi öncesinde test numunelerine 2 mm çentik açılmıştır. Çentik açma işlemi TS EN ISO 294-1 standardına uygun gerçekleştirilmiştir. Izod darbe testi AHP marka test cihazında 148°'lik açı ve 5 joule'lük enerji kullanılmıştır. Darbe testi TS EN 179-1 standardına uygun olarak yapılmıştır.

4.3.3 Eğme Testi

Eğme testi AHP marka test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri arasında 65 mm açıklık olan iki destek arasına yerleştirilmiştir. 10mm/dk hızla eğme testine tabi tutulmuştur. Test sırasında ortaya çıkan veriler numunelerin kalınlık, uzunluk ve genişlik ölçüleri göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Şekil 4.4'te kullanılan eğme testi cihazı ve eğmeye maruz bırakılan numune gösterilmiştir.



Şekil 4.3 a) Eğme Test Cihazı b) Eğmeye maruz bırakılan numune

4.4 TERMAL ANALİZLER

4.4.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

DSC cihazı bir malzemenin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişimini inceleyen bir termal analiz yöntemidir. Kütleleri bilinen bir numune ısıtılarak veya soğutularak ısı akışındaki değişiklikler gözlemlenir. Bu sayede erime, camsı geçiş ve kürlenme gibi değerler saptanabilir. DSC Analizi, polimerler, gıda, baskı, imalat, farmasötikler, tarım, yarı iletkenler, kağıt ve elektronikler dahil olmak üzere birçok endüstride kullanılmaktadır.

4.4.2 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA) bir numunenin zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybının ve kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır. Deney numunesi sabit bir sıcaklıkta ısıtılarak kütle değişimi sürekli ölçülüp kaydedilir. Yükseltgenme veya bozunma reaksiyonları deney numunesinin kütlesinin değişmesine neden olur.

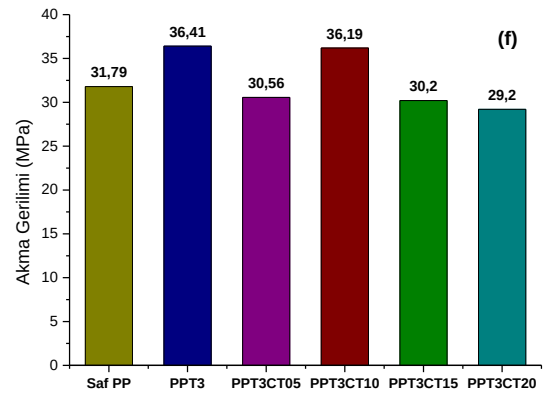
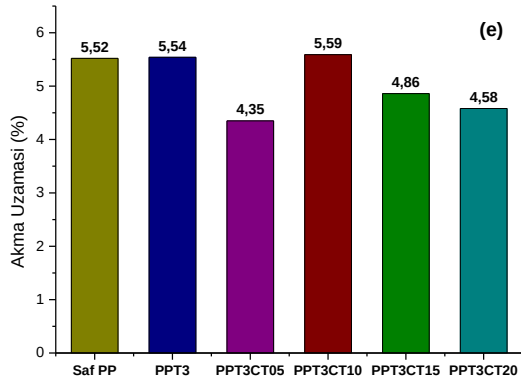
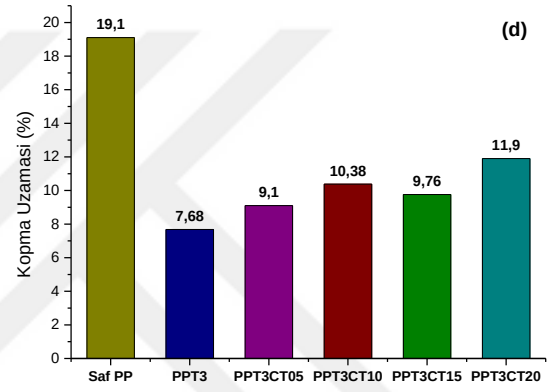
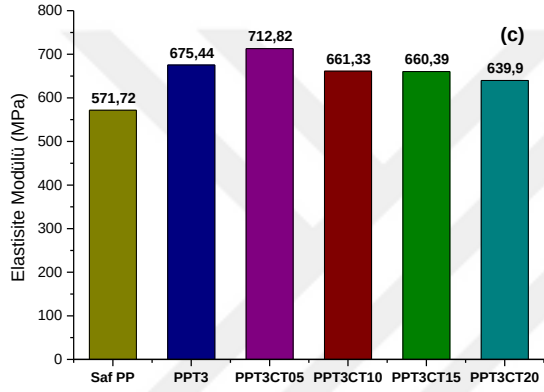
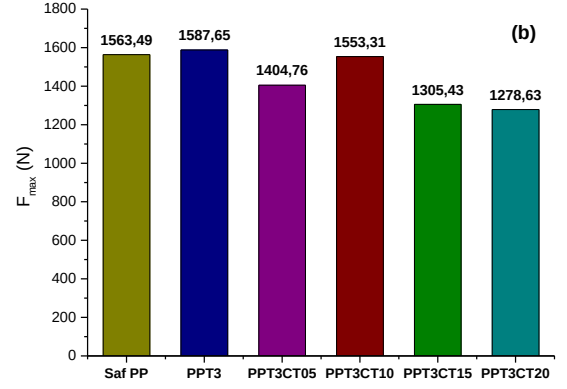
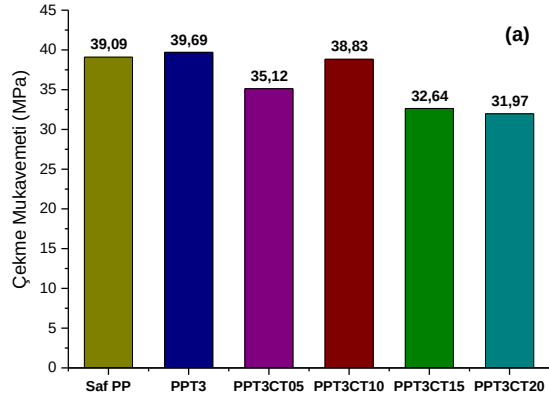
4.4.3 FTIR Analizi

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir; IR ışınları moleküldeki titreşim hareketleriyle birlikte soğurulmaktadır. Her dalga boyunu tek tek taramaya gerek kalmadan hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilir. Az miktarda örnek kullanılarak kısa sürelerde sonuç verebilmektedir [21]. Kızılötesi ışık, molekülün içindeki atomlar arasında bulunan titreşimsel bağ enerjileri sayesinde belirli frekanslarda emilir. Kızılötesi ışığın enerjisi ve titreşimin bağ enerjisi birbirine eşit olduğunda, bağ bu enerjiyi emebilir. Molekül içerisindeki farklı bağlar, farklı enerjilerde titreşir ve bu yüzden kızılötesi radyasyonun farklı dalga boylarını emer. Bu, ayrı ayrı emilim bantlarının şiddeti ve frekansı, toplam spektruma katkı sağlayarak molekülün karakteristik özelliklerini oluşturur. FTIR Spektroskopisi polimer, kimya ve ilaç sektörlerindeki önemli moleküllerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi her numuneye üç ayrı tekrar yapılmak üzere uygulanmıştır. 3 farklı tekrarın ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Çekme testi sonuçlarına ait grafikler 5.1’de görülmektedir. Referans olarak değerlendirdiğimiz saf PP’nin çekme mukavemet değeri 39.09 MPa olarak elde edilmiştir. Malzeme içerisine talk eklendiğinde, çekme mukavemet değerinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Bu durum talk eklenmesiyle birlikte malzeme morfolojisinin değişmesine ve buna bağlı olarak kristallenme yüzdesinin ve kristallenme yoğunluğuna atfedilebilir. Cam tozu katkısıyla çekme mukavemetinde dalgalı bir değişim gözlenmiştir. Cam tozu katkılı kompozitlerde en yüksek değer 38,83 MPa ile PPT3CT10 numunesinde ölçülürken PPT3CT15 32,86 MPa ile en düşük değere sahiptir. Burada talkın çekme mukavemeti üzerindeki etkisinin cam tozuna oranla daha iyi olduğu sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 5.1 Çekme testlerinden elde edilen sonuçlar a) Maksimum gerinim b) Maksimum kuvvet yer değiştirmesi c) Elastisite modülü numuneleri d) Kopma uzaması e) Akma uzaması f) Akma gerilimi

Çekme testindeki grafiklerde eğri altında kalan alandan akma gerilimi ve akma uzaması, % kopmada uzama ve elastik modül hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan değerler Tablo 5.1’de toplu olarak verilmiştir. Referans numune olarak belirlenen saf PP’nin çekme elastisite modülü değeri 571,72 MPa olarak elde edilmiştir. Malzemeye talk ve cam tozu eklendiğinde çekme elastisite modülü değerinin saf PP’ye göre arttığı gözlemlenmiştir. Sadece talk olan karışımda, çekme elastisite modülünün artış oranı cam tozu eklenmesiyle elde edilen artıştan çok daha fazladır. Talk ve cam tozu beraber ilave edildiğinde, en yüksek çekme elastisite modülünün %3 talk ile %5 cam tozu katkılı olan PPT3CT5 numunesinde olduğu bulunmuştur. %5’ten fazla cam tozu katkılı numunelerde ise çekme elastisite modülünde genel olarak bir düşme eğilimi gözlemlenmiştir. Katkı maddelerinin miktarı kristal çapını ve yoğunluğunu değiştirebilir, bu da mikro yapıyı ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri etkiler. Elastisite modülünün artmasıyla kopma uzamasının azalacağı ve malzeme sertliğinin artacağı bilinmektedir [22]. Bu durum açıkça Tablo 5.1’de verilen çekme mukavemeti ve kopma uzama sonuçlarıyla da uyumludur. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçların elde edildiği raporlanmıştır [23] [24]. Bu durum, %5 oranında cam tozu ilavesiyle malzemenin doyumluğa ulaşarak optimum kristal boyutunun oluşmasını sağlaması, bunun üzerindeki oranlarda kristal boyutlarında değişimlerin meydana gelmesiyle birlikte mekanik özelliklerin olumsuz etkilemesiyle açıklanabilir. Çekme testinde Saf PP numunesine %3 Talk ilave edildiğinde % kopma uzama değeri azalırken, akma uzaması ve akma gerilimi değerleri artmaktadır. Daha sonra numuneye sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 cam tozu eklenmesiyle birlikte talk dolgu maddesine bağlı olarak değişen kopmada uzama değeri artmaktadır. Eklenen dolgu malzemeleriyle birlikte Polipropilen malzemenin elastikliğinde değişimler olmaktadır. Akma uzaması ve akma gerilimi değerlerinde dolgu miktarının artmasıyla hafif dalgalanmalar görülmüştür. Sonuç olarak dolgu maddesinin kademeli olarak arttırılmasıyla test sonuçlarında istikrarlı bir değişim gözlemlenmese de genel bir eğilimin olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 5.1 Çekme Testi Sonuçları

Örnek Adı	F _{max} (N)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzunluğu (%)	Elastik Modül (MPa)	Akma Uzunluğu (%)	Akma Gerilimi (MPa)
Saf PP	1563,49	39,09	19,1	571,72	5,52	31,79
PPT3	1587,65	39,69	7,68	675,44	5,54	36,41
PPT3C T05	1404,76	35,12	9,1	712,82	4,35	30,56
PPT3C T10	1553,31	38,83	10,38	661,33	5,59	36,19
PPT3C T15	1305,43	32,64	9,76	660,39	4,86	30,2
PPT3C T20	1278,63	31,97	11,9	639,9	4,58	29,2

5.2 Izod Darbe Testi Sonuçları

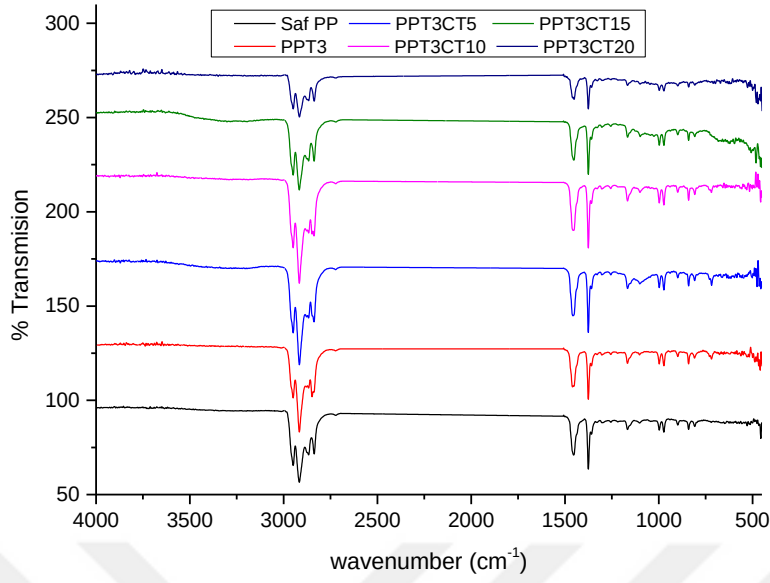
Izod darbe testinde farklı miktarlarda dolgu maddesi içerecek şekilde hazırlanmış olan kompozit numunelerinin darbe test sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir. Saf PP numunesinde darbe sönümlene enerjisi $0,22 \text{ J/cm}^2$ civarında iken %3 Talk ilave edilmesi sonucunda bu değer 0.1575 J/cm^2 ’ye düşmektedir. Talk ilavesinin polipropilen malzemenin darbe mukavemetini azalttığı görülmüştür. %5 cam tozu ilavesi ile birlikte darbe mukavemeti değeri dip noktaya ulaşarak malzemenin daha sert bir forma girdiği anlamına gelmektedir. Genellikle malzemede daha yüksek sertlik daha kristalin yapıda olduğunu gösterir. Cam tozunun kademeli olarak artırılmasıyla darbe mukavemeti değerinin referans numune olan saf PP numunesine yaklaştığı görülmektedir. %15 cam tozu içeren kompozit karışımında darbe değeri doyma noktasına ulaşmıştır. Bu değerden sonra sönümlene enerjisi tekrar azalma eğilimine girmiştir.

Tablo 5.2 Darbe testinde elde edilen değerler

Örnek Adı	Izod Darbe Değeri (J/cm ²)
Saf PP	0,225
PPT3	0,1575
PPT3CT5	0,115
PPT3CT10	0,13
PPT3CT15	0,175
PPT3CT20	0,155

5.3 FTIR Analizi Sonuçları

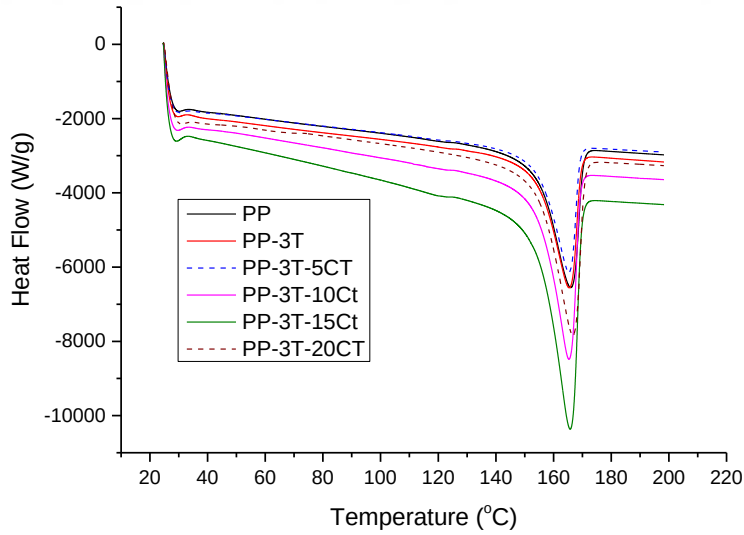
PP ve karışımları için FTIR spektrumları Şekil 5.2’te gösterilmiştir. Polipropilenin FTIR spektrumunda simetrik olmayan CH₃ grubunun C-H bağ gerilmesine ait pik 2950 cm⁻¹’de, simetrik olmayan CH₂ grubunun C-H bağ gerilmesi ise 2920 cm⁻¹’de görülür. 2875 cm⁻¹’de CH₃ grubunun C-H bağ gerilmesinden kaynaklanan bir omuz görülür. C-H (–CH₃) ait asimetrik ve simetrik düzlem içi pik 1455 cm⁻¹’de görülür ve 1358 cm⁻¹’de ortaya çıkan omuz polipropilen varlığını doğrular. 1376 cm⁻¹’deki tepe, –CH₃ grubuna atanır. Talk ve cam tozu eklenmesi PP spektrumunda çok büyük değişimlere neden olmamıştır. Buna karşın 3000-3500 cm⁻¹ arasında görülen hafif genişleme hem talk hem de cam tozu yapısında bulunan –OH gruplarından kaynaklanır. C-H (–CH₃) ait bağ gerilmesi 1166 cm⁻¹, C-C zincir germe titreşimi, C-C bağ titreşimi ve C-C bağ gerilmesi sırayla 996 cm⁻¹, 973 cm⁻¹ ve 808 cm⁻¹ de gözlenir. C-H bağ eğilmesi ise 840 cm⁻¹’de ortaya çıkar. Numunelerin FTIR spektrumunda gözlenen pikler karakteristik PP spektrumuyla uyumludur [25].



Şekil 5.2 FTIR Analiz Grafiği

5.4 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi Sonuçları

Kompozitlerin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri Şekil 5.4 gösterilmiştir.



Şekil 5.3 DSC Analiz Grafiği

Polipropilenin Tg'si nispeten düşüktür ve polimerin taktisitesine/kristalinliğine bağlı olarak genellikle -20°C ila -0°C aralığında bulunur. Ölçüm aralığı PP'nin camsı geçiş sıcaklığının dışında olduğundan herhangi bir Tg gözlemlenmiştir. Tablo 5.3'te DSC analizinden elde edilen sonuçlara göre erime sıcaklıkları ve erime entalpileri verilmiştir.

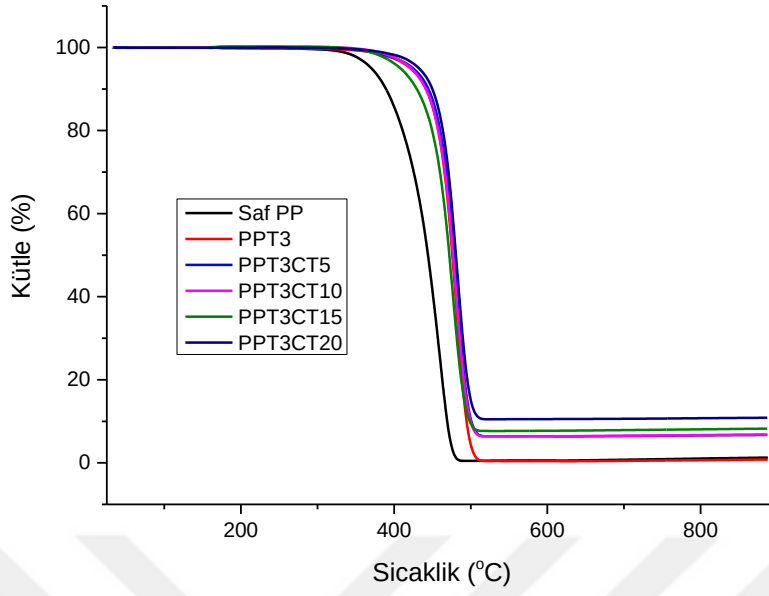
Saf Polipropilenin erime sıcaklığı 160°C civarındadır. Cam tozu ilavesiyle DSC grafiği eğrilerinde büyük bir değişim gözlenmemiştir. Görüldüğü üzere cam tozunun erime sıcaklığına etkisi ihmal edilebilir seviyededir. En yüksek erime sıcaklığı (T_{erime}) değeri %20 cam tozu katkılı numune için ölçülmüştür. Cam tozu katkısının artmasıyla hafif dalgalanmalar gözlenmiştir. Bunun cam tozu ile polimer matris etkileşiminin çok iyi olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Buna karşın erime entalpilerindeki değişim nispeten daha büyüktür. Talk katkısının erime entalpisini düşürdüğü fakat cam tozunun artmasıyla birlikte entalpi değerinin de arttığı görülmüştür. Entalpi değişimi kristalinite ile doğru orantılıdır. Kristalin yapılar düzenli yapılardır. DSC grafiği Tablo 5.3 ile birlikte değerlendirildiğinde cam tozunun çekirdekleştirici etkisi daha net olarak görülmektedir. Çekirdekleştirici katkısı ile birlikte kristallenme hızı değiştiğinden katkı miktarına göre kristalizasyon yüzdelerinin farklılaşması beklenen bir durumdur [26] [27]. Yani cam tozu ile birlikte PP yapısı daha düzenli hale gelmektedir. Kristalizasyon yüzdesinin ve erime entalpisinin ve %15 cam tozu içeren numunede en yüksek seviyede olduğu söylenebilir.

Tablo 5.3 DSC Analiz Dataları

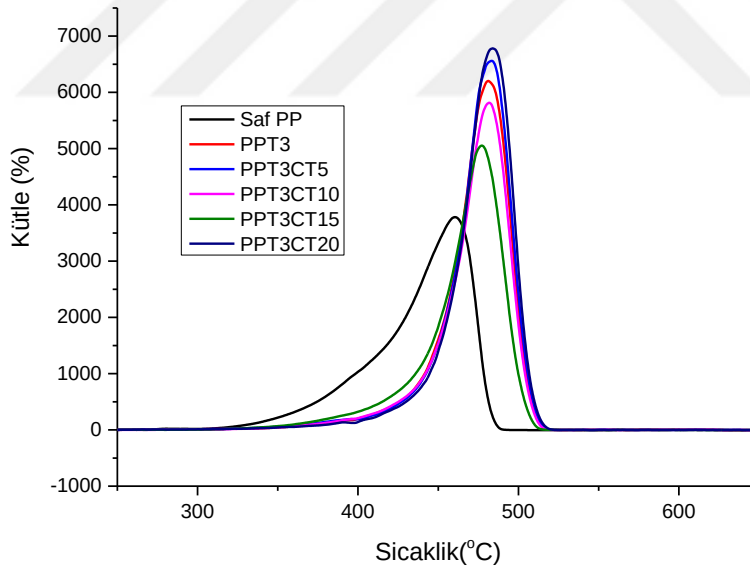
Numune Adı	Talk (%)	Cam Tozu (%)	T_{erime} (°C)	ΔH_{erime} (J/mg)
Saf PP	0	0	166,0	0,0534
PPT3	3	0	165,6	0,048
PPT3CT5	3	5	165,4	0,0442
PPT3CT10	3	10	165,3	0,0662
PPT3CT15	3	15	165,8	0,0858
PPT3CT20	3	20	166,9	0,066

5.5 Termogravimetrik Analiz (TGA) Testi Sonuçları

PP/Talk/ Cam Tozu karışımlarından oluşan kompozitlerin TGA ve DTG analizleri sırayla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’da gösterilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin bozunma başlangıç, bozunma ve bitiş DTG sıcaklıkları toplu olarak Tablo 5.4’te verilmiştir



Şekil 5.4 TGA analizi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5.5 DTG analizi sonuçlarının karşılaştırılması

Grafiklerden de görüldüğü gibi saf PP'nin bozunma başlangıç sıcaklığı 314,5°C olarak ölçülmüştür. Talk ilavesiyle bozunma başlangıç sıcaklığı yaklaşık 24°C artmıştır. Talk ilavesiyle bu derecede bir artış ısının polimer matris içerisinde daha homojen bir şekilde yayılması ile açıklanabilir. Isıl iletkenliği PP'ye daha iyi olan talk birçok polimerde olduğu gibi ısıyı lokal olarak tutmayıp daha düzgün bir şekilde dağıtarak polimer

zincirlerinin kırılmasının daha yüksek sıcaklıklarda olmasını sağlar. Bu karışıma cam tozu eklenmesiyle polimerin ısı kararlılığında bir miktar düşüş gözlenmiştir. Cam tozu takviyeli numunelerin bozunma başlangıç sıcaklıklarında bir dalgalanma olmuştur. Cam tozu takviyeli kompozitler içerisinde PPT3CT15 numunesi en düşük kararlılığı gösterirken PPT3CT20 en yüksek kararlılığa sahiptir. Bu durum cam tozu takviyesiyle birlikte dolguların matris içerisinde düzgün dağılmalarının bozulduğu ve bir miktar topaklanma olmasına bağlanabilir. Kalıntı miktarları incelendiğinde beklendiği üzere PPT3CT20 numunesi en yüksek kalıntı miktarına sahipken saf PP'in ise hemen hemen hiç kalıntı bırakmadığı görülmüştür. Anorganik dolgu miktarı arttıkça kalıntı miktarının artması beklenen bir durumdur. Tablo incelendiğinde TGA analiz sonucu en büyük kütle kaybı %99,6 ile saf PP görülürken en az kütle kaybının %89,5 ile PPT3CT20 karışımında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.4 TGA/DTG Test Ölçüm Sonuçları

Örnek Adı	Bozunma Başlangıç (°C)	Bozunma Bitiş (°C)	DTG Sıcaklık (°C)
Saf PP	314,5	486,5	459,4
PPT3	338,2	512,8	482,8
PPT3CT5	330,9	513,5	483,3
PPT3CT10	324,5	513,4	481,7
PPT3CT15	323,0	509,6	477,7
PPT3CT20	331,2	514,6	484,8



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı oranlardaki cam tozu, %3 oranında talk ile birlikte Polipropilen malzemeye eklenen karışımlar ekstrüzyon makinesinde granül haline getirildi ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle her üründen 4 adet test numuneleri hazırlandı. Hazırlanan numuneler çekme ve Izod darbe testi, FTIR analizi, DSC analizi ve TGA/DTG analizine tabi tutuldu. Yapılan testler sonucunda talk ve cam tozu katkılarının mekanik ve ısı özellikleri üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çekme testinden elde edilen sonuçlara göre PP malzemeye talk ve cam tozu eklendiğinde çekme elastisite modülünün arttığı gözlemlenmiştir. Sadece talk olan karışımda, çekme elastisite modülünün artış oranı cam tozu ile elde edilen artıştan çok daha fazladır. En yüksek çekme elastisite modülünün %3 talk ve %5 cam tozu katkılı PPT3CT5 numunesinde olduğu görülmüştür. Izod darbe testi sonuçlarına bakıldığında, Saf PP numunesinde 0.22 J/cm^2 civarlarında olan darbe sönümlenme enerjisinin talk ilavesiyle birlikte 0.15 J/cm^2 seviyelerine gerilediği tespit edilmiştir. Darbe değeri %5 cam tozu içeren numunede dip noktaya ulaşırken %15 cam tozu içeren kompozit karışımında 0.17 J/cm^2 seviyelerine gelerek doyma noktasına ulaşmış ve Saf PP numunesinin darbe sönümlenme enerjisi değerine yaklaşmıştır. Bu değerden sonra sönümlenme enerjisinin tekrar azalma eğilimine girdiği gözlemlendi. FTIR analizi grafiklerindeki piklere bakıldığında karakteristik Polipropilen piklerinin varlığı doğrulandı. Tablo 5.3'te verilen DSC analiz sonuçlarına göre cam tozu ilavesiyle DSC grafiği eğrilerinde büyük bir değişim gözlenmemiştir. En yüksek T_{erime} değeri $166,9^\circ\text{C}$ ile %20 cam tozu katkılı numunede ölçülmüştür. Cam tozu katkısının artmasıyla birlikte hafif dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Talk katkısının erime entropisini düşürdüğü fakat cam tozunun artmasıyla birlikte entalpi değerinin de arttığı görülmüştür. Talk ilavesi ile $0,048 \text{ J/mg}$ seviyelerine düşen erime entalpisinin %15 cam tozu içeren numunede $0,085 \text{ J/mg}$ ile en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. TGA-DTG grafiklerinde görüldüğü gibi, talk eklenmesiyle Saf PP numunesinin bozunma başlangıç sıcaklığı 24°C artmıştır. Cam tozu eklenmesiyle malzemenin ısı kararlılığında dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir. PPT3CT15 numunesi en düşük kararlılığı gösterirken, PPT3CT20 en yüksek kararlılığı göstermiştir.

Bu çalışmada cam tozu ve talk dolgu PP malzemenin üretilmesiyle maliyetin düşürülmesi ve cam atıklarının toz haline getirilip üretimde kullanılmasıyla çevre kirliliğinin azaltılmasının sağlanabileceği görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] Ö. Cengiz, FINDIK KABUĞU VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, YALOVA, 2022.
- [2] E. Özdemir, Polipropilen ve Naylon6 Plastiklerine Katılan Cam Elyafın Mekanik Özelliklere Etkisinin Deneysel Araştırması, Ankara, 2001.
- [3] A. B. Ersen YILMAZ, Polistiren/Polivinilklorür Karışımlarına Maleik Anhidrit İçeren Kopolimer Etkisinin Termomekanik İncelenmesi, Sivas, 2022.
- [4] S. Kaner, PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞTIRILMASINDA YÜZEY İŞLEMLERİ VE YAŞLANDIRMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ, Denizli, 2017.
- [5] H. A. Maddah, Polypropylene as a Promising Plastic: A Review, American Journal of Polymer Science , 2016.
- [6] F. T. S. G. A.-G. Amzan Alsabri, Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region, Hamad Bin Khalifa University, 2021.
- [7] H. M. CLAYMAN, Polypropylene, 1981.
- [8] F. E. E. b. S. T. K. J. S. K. M. K. G. a. M. S. S. Polymer Composites: Volume 1, Advances in Polymer Composites: Macro- and Microcomposites – State of the Art, New Challenges, and Opportunities, 2012.
- [9] Y. D. D. A. Kalemtaş, Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler, Bursa, 2015.
- [10] M. K. a. R. N. RAJEEV KARNANI, Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites, Department of Chemical Engineering Michigan State University East Lansing, Michigan 48824 , 1997.
- [11] B. D. E. Ş. Emriye ÇINAR, Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Osmaniye, Türkiye, 2020.
- [12] Y. Kansu, CAM KÜRE, CaCO₃ VE TALK DOLGULU POLİPROPİLEN HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ, İstanbul, 2005.
- [13] N. B. F. A. S. A. Y. R. D. R. R. M. K. Wang, Effect of talc content on the degradation of re-extruded polypropylene/talc composites, 2013.
- [14] B. Rotzinger, Talc-filled PP: A new concept to maintain long term heat stability, Basel, Switzerland, 2006.
- [15] A. Pişkin, Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Sakarya.

- [16] M. E. a. S. E. Barbosa, Glass Fiber Reinforced Polypropylene Mechanical Properties, Argentina , 2012.
- [17] R. T. N. G. ,. M. Tasnim Kossentini Kallel, Mechanical and Structural Properties of Glass Fiber-Reinforced Polypropylene (PPGF) Composites, Tunisia, 2017.
- [18] N. S. Kasama Jarukumjorn, Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber–polypropylene composites, Thailand, 2009.
- [19] Ü. Adıbelli, Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yalova, 2022.
- [20] D. K. A. E. A. E. AYŞE NUR ACAR, STRUCTURAL AND SURFACE PROPERTIES OF GLASS POWDER COATED Cr STEELS, ADANA, 2021.
- [21] H. K. Tuba Büyüksırt, FOURIER DÖNÜŞÜMLÜ KIZILÖTESİ (FTIR) SPEKTROSKOPİSİ ve GIDA ANALİZLERİNDE KULLANIMI, Isparta, 2014.
- [22] İ. K. H. S. Mesut KANDEMİR, Experimental Investigation of Effects of the Nucleating Agent on Mechanical and Crystallization Behavior of Injection-Molded Isotactic Polypropylene, Yalova, 2022.
- [23] F. M. A. B. S. P. G. F. F. J. P. M. P. D. P. S. S. C. B. J. F. Y. S.-G. S. B. & J. P. F. E. Ferrage, Talc as nucleating agent of polypropylene: morphology induced by lamellar particles addition and interface mineral-matrix modelization, 2002.
- [24] M. Y. S. K. Y. S. I. A. K. S. & H. M. Satoshi Katsuno, Crystallization kinetics of polypropylene containing a sorbitol nucleating agent, 2012.
- [25] A. d. S. R. G. M. M. G. L. d. S. F. F. C. M. N. A. R. A. L. J. E. A. d. L. & R. V. L. Jéssica Pereira Pires, Natural freshwater degradation of polypropylene blends with additives of a distinct nature, 2020.
- [26] J. Z. X. W. Y. Z. J. W. Benzhe Luo, Effects of nucleating agents and extractants on the structure of polypropylene microporous membranes via thermally induced phase separation, Korea, 2005.
- [27] D. L. Dotson, Anovel nucleating agent for polyethylene, Handbook of Industrial Polyethylene and Technology (pp.935-965), 2016.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimimi Manisa Soma’da tamamladım. 2015 yılında başladığım Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü’nden 2020 yılında mezun oldum. 2020 yılında mezun olduktan hemen sonra Evcı Plastik San. Tic. Ltd. Şirketinde Üretim Mühendisi olarak çalışmaya başladım. 2 yıllık deneyimimden sonra kariyerime Zebra Polimer şirketinde Araştırma ve Geliştirme Mühendisi olarak devam ettim. Şu anda Aksel İş Sağlığı ve Güvenliği A.Ş.’de C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışma hayatıma devam etmekteyim. Aynı zamanda Marmara Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü’nde yüksek lisans yapmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Figen Gölcük Ören, Hamit Erdemi, 2024, INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF GLASS POWDER AND TALK FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES, 7th International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress, Antalya Turkey.

DİĞER YAYIN VE ESERLER