



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

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

**POLİPROPİLEN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE KULLANILABİLECEK KATKI
MADDELERİ İLE ORJİNAL HAMMADDE ÖZELLİKLERİNDE GERİ
DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLENİN ELDE EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN TORUN

DANIŞMAN: PROF. DR. HÜSEYİN YILDIRIM

**YALOVA
ŞUBAT 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

POLİPROPİLEN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE KULLANILABİLECEK KATKI
MADDELERİ İLE ORJİNAL HAMMADDE ÖZELLİKLERİNDE GERİ
DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLENİN ELDE EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN TORUN
205101021

DANIŞMAN: PROF. DR. HÜSEYİN YILDIRIM

YALOVA
ŞUBAT 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “Polipropilen Geri Dönüşümünde Kullanılabilecek Katkı Maddeleri İle Orijinal Hammadde Özelliklerinde Geri Dönüşümlü Polipropilenin Elde Edilmesi” başlıklı bu tez çalışmasında; 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 çalışmasında 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.

Hüseyin TORUN

ÖNSÖZ

Bilgi ve tecrübesi ile her zaman destek olan, yardımlarını esirgemeyen ve birlikte çalışmaktan gurur duyduğum, değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresi boyunca destek ve bilgilerini esirgemeyen, aldığım eğitim üzerinde büyük emekleri olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deneyim ve bilgilerini esirgemeyen tüm Modalife Plastik ailesine şükranlarımı sunarım.

Sağladıkları güzel enerji ve motivasyon ile her zaman yanımda olan değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Verdikleri güven duygusu ile eğitim hayatımda ve tüm yaşamımda varlığını her daim hissettiren aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2021/BAP/001) teşekkür ederim.

Şubat – 2024

Hüseyin TORUN



İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ETİK BEYAN..... | i |
| ÖNSÖZ | iii |
| İÇİNDEKİLER | v |
| SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ..... | ix |
| TABLolar LİSTESİ..... | xi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | xiii |
| ÖZET..... | xvii |
| ABSTRACT..... | xix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİ..... | 2 |
| 2.1. Polimer Kimyası..... | 2 |
| 2.2. Polimerlerin Sentezi | 3 |
| 2.3. Polimerlerin Sınıflandırılması | 4 |
| 2.4. Polipropilenler (PP)..... | 5 |
| 2.4.1. Polipropilenin tarihçesi..... | 6 |
| 2.4.2. Polipropilenin üretim yöntemleri..... | 7 |
| 2.4.2.1. Gaz faz prosesinde polipropilen yöntemi | 7 |
| 2.4.2.2. Bulk faz prosesinde polipropilen yöntemi..... | 8 |
| 2.4.3. Polipropilenin özellikleri | 10 |
| 2.4.4. Türkiye'nin polipropilen üreticileri..... | 11 |
| 2.4.5. Polipropilen türleri..... | 12 |
| 2.4.5.1. Polipropilen homopolimer (PPH)..... | 12 |
| 2.4.5.2. Polipropilen kopolimer (PPC) | 12 |
| 2.4.5.3. Polipropilen random kopolimer (PPRC) | 12 |
| 2.4.6. Polipropilen uygulama alanları..... | 13 |
| 2.5. Polipropilen İle Uyumlu Katkı Maddeleri..... | 14 |
| 2.5.1. Antimikrobiyal/Biyostabilizatörler..... | 14 |
| 2.5.2. Antioksidanlar..... | 15 |
| 2.5.3. Antistatik ajanlar..... | 16 |
| 2.5.4. Çekirdekleştirici ajanlar..... | 16 |
| 2.5.5. Şişirme ajanları | 16 |
| 2.5.6. Harici yağlayıcılar | 17 |
| 2.5.7. Dolgular/Genişleticiler | 17 |



| | |
|---|----|
| 2.5.8. Alev geciktiriciler | 18 |
| 2.5.9. Çizilmez ajanlar (Anti-scratch agents) | 18 |
| 2.5.10. Darbe değıştiriciler | 19 |
| 2.5.11. Organik peroksitler | 19 |
| 2.5.12. Işık stabilizatörleri | 19 |
| 2.5.13. Elyaf lar | 20 |
| 2.5.14. Plastikleştiriciler | 20 |
| 2.5.15. Proses yardımcıları | 20 |
| 2.5.16. Dağıtıcı maddeler (Dispersing agent)..... | 21 |
| 2.5.17. Kokular | 21 |
| 2.6. Çalışma Kapsamında Kullanılan Polipropilen İle Uyumlu Katkı Maddeleri..... | 22 |
| 3. KARIŞIM HAZIRLAMA VE ÜRÜN ÜRETİM PROSESİ..... | 23 |
| 3.1. Karıştırma İşlemi | 23 |
| 3.2. Geri Dönüşüm Hattında Yandan Besleme İle Karıştırma İşlemi | 23 |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMA | 26 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler | 26 |
| 4.2. Enjeksiyon Makinesinde Polimer Karışımları İle Ürün Üretimi..... | 26 |
| 4.3. Nihai Ürün Kalite Kontrol..... | 30 |
| 4.3.1. Yoğunluk testi..... | 30 |
| 4.3.2. Kül testi..... | 31 |
| 4.3.3. Melt flow index (MFI) testi | 32 |
| 4.3.4. TGA-DSC testleri | 34 |
| 5. KALİTE KONTROL TEST SONUÇLARI..... | 36 |
| 6. BULGULAR VE TARIŞMA..... | 39 |
| 6.1. Yoğunluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 39 |
| 6.2. MFR Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 39 |
| 6.3. Kül Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 40 |
| 6.4. TGA-DSC Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 41 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 49 |
| KAYNAKLAR | 51 |
| ÖZGEÇMİŞ | 55 |



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

| | |
|------------|---|
| a | : Silindir ve piston kafasının ortalama kesit alanı değeri (cm ²) |
| A | : Numunenin ait havadaki ağırlığı |
| B | : Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı |
| l | : Önceden ve piston tarafından belirlenmiş mesafelerin ort. değ. (cm) |
| m | : Kütle |
| t | : Ölçüm sürelerinin ortalama değeri (s) |
| ρ | : Numune yoğunluğu |
| ρ_L | : Havanın yoğunluğu |
| ρ_0 | : Yardımcı sıvının yoğunluğu |
| Δm | : Kütle Değişimi |
| ΔT | : Sıcaklık farkı |

KISALTMALAR

| | |
|------|-------------------------------------|
| ACN | : Akrlonitril |
| AYPE | : Alçak Yoğunluklu Polietilen |
| DEG | : Dietilen Glikol |
| DSC | : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre |
| MEG | : Monoetilen Glikol |
| MFI | : Eriyik Akış İndeksi |
| MFR | : Erime Akış Hızı |
| MVR | : Erime Hacim Akış Hızı |
| NR | : Doğal Kauçuk |
| OBPA | : Oksibisfenoksarsin |
| PA | : Ftalik Anhidrit |
| PP | : Polipropilen |
| PPC | : Polipropilen Kopolimer |
| PPH | : Polipropilen Homopolimer |
| PPRC | : Polipropilen Random Kopolimer |
| PVA | : Polivinil Asetat |
| PVB | : Polivinil Bütiral |
| PVC | : Polivinil Klorür |
| PTA | : Saflaştırılmış Tereftalik Asit |
| TEG | : Trietilen Glikol |
| TGA | : Termogravimetrik Analiz |
| YYPE | : Yüksek Yoğunluklu Polietilen |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1. PETOPLen® MH 418'in teknik özellikleri [9] | 10 |
| Tablo 4.1. TGA-DSC Termal Analiz Tekniklerinin Karşılaştırılması [21] | 34 |
| Tablo 5.1. Yoğunluk, Erime Akış İndeksi, Kül Tayini Analiz Sonuçları | 36 |
| Tablo 5.2. Termal Gravimetrik Analiz Sonuçları | 37 |
| Tablo 5.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analiz Sonuçları | 38 |





ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Monomerlerin Bir Araya Gelerek Polimerleri Oluşturması [3]..... | 2 |
| Şekil 2.2. Polimerizasyon Yöntemleri [4]..... | 4 |
| Şekil 2.3. Propilen Monomerinin Polimerleşme Reaksiyonu [1-5]..... | 5 |
| Şekil 2.4. Ataktik, Sindiotaktik ve İzotaktik Polipropilenlerin Kimyasal Yapıları [5]..... | 6 |
| Şekil 2.5. Gaz Faz Prosesi ile Polipropilen Üretimi [5-8]..... | 7 |
| Şekil 2.6. Bulk Faz Prosesi ile Polipropilen Üretimi [5-8]..... | 8 |
| Şekil 2.7. Granül Halde Bulunan Katkılı Polipropilen..... | 9 |
| Şekil 2.8. Küresel Polipropilen Üretim Kapasitesi ve Talebi [10]..... | 11 |
| Şekil 2.9. Homopolimer Zincir Oluşumu [11]..... | 12 |
| Şekil 2.10. Blok Kopolimer Zincir Oluşumu [11]..... | 12 |
| Şekil 2.11. Random Kopolimer Zincir Oluşumu [11]..... | 13 |
| Şekil 2.12. Türkiye'de ki Polipropilen Uygulamaları [10-11]..... | 13 |
| Şekil 2.13. Polipropilen Levha Ekstrüzyon Hattı [13]..... | 14 |
| Şekil 2.14. Çalışmada Kullanılan Katkı Maddeleri..... | 22 |
| Şekil 3.1. Hammadde Karıştırıcı [15]..... | 23 |
| Şekil 3.2. Polipropilen (PP) Geri Dönüşüm Hattı..... | 24 |
| Şekil 3.3. Geri Dönüşüm Hattı Katkı Maddesi Besleme Ünitesi..... | 24 |
| Şekil 3.4. Geri Dönüşüm Uygulanacak Polipropilen Atık..... | 25 |
| Şekil 3.5. Geri Dönüşüm Sonunda Elde Edilen Katkılı Granül Hammadde..... | 25 |
| Şekil 4.1. Enjeksiyon Besleme Hunisi (Ünitesi)..... | 27 |
| Şekil 4.2. Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi [16]..... | 28 |
| Şekil 4.3. Modalife Plastik Enjeksiyon Makinesi..... | 28 |
| Şekil 4.4. Enjeksiyon Makinesinden Alınan Ürünlere Ait Parçalar..... | 29 |
| Şekil 4.5. Enjeksiyon Makinesinden Alınan Numunelerin Analiz İçin Hazırlanması..... | 29 |
| Şekil 4.6. Yoğunluk Ölçümü Test Cihazı..... | 31 |
| Şekil 4.7. Kül Fırını Test Cihazı..... | 32 |
| Şekil 4.8. Eriyik Akış İndeksi Testi (MFI)..... | 33 |
| Şekil 4.9. TGA (Çankırı Karatekin Üni. Mer. Lab.) ve DSC Test Cihazları..... | 35 |
| Şekil 6.1. Orijinal PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi..... | 41 |
| Şekil 6.2. KatkıSIZ Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi..... | 41 |
| Şekil 6.3. %1 Şişirici Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi..... | 42 |



| | |
|---|----|
| Şekil 6.4. %2 Şişirici Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 42 |
| Şekil 6.5. %3 Antioksidan Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 43 |
| Şekil 6.6. %6 Antioksidan Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 43 |
| Şekil 6.7. %3 Antistatik Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 44 |
| Şekil 6.8. %6 Antistatik Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 44 |
| Şekil 6.9. %3 Çilek Kokusu Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 45 |
| Şekil 6.10. %6 Çilek Kokusu Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 45 |
| Şekil 6.11. %3 Mukavemet Artırıcı Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 46 |
| Şekil 6.12. %6 Mukavemet Artırıcı Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 46 |
| Şekil 6.13. %3 UV Stabilizatör Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi..... | 47 |
| Şekil 6.14.%6 UV Stabilizatör Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi..... | 47 |
| Şekil 6.15. %3 Wax Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 48 |
| Şekil 6.16. %6 Wax Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi | 48 |



POLİPROPİLEN GERİ DÖNÜŞÜMÜNDE KULLANILABİLECEK KATKI MADDELERİ İLE ORJİNAL HAMMADDE ÖZELLİKLERİNDE GERİ DÖNÜŞÜMLÜ POLİPROPİLENİN ELDE EDİLMESİ

ÖZET

Geri dönüşüm ile elde edilen polipropilenlerin ele alındığı bu tez çalışmasında, katkı maddeleri ile hazırlanan geri dönüştürülmüş polipropilen ve orijinal hammadde ile üretilen polipropilen plastik malzemelerin özellikleri araştırılıp, ortaya koyulan sonuçlar birbirleri ile kıyaslandı.

Geri dönüştürülmüş polipropilenlerin hazırlanma sürecinde, katkı maddeleri olarak, şişirici, antioksidan, antistatik, çilek kokusu, mukavemet artırıcı, UV stabilizatör ve wax ile belirli yüzdelik kullanım oranlarında çalışıldı. Plastik malzemelerin üretilme işlemi plastik enjeksiyon yöntemi ile gerçekleştirildi ve böylece, homojen karışımlar sağlanarak numuneler üretildi. Farklı katkı oranlarıyla yapılan üretimler sonucu elde edilen numunelere, katkısız geri dönüşüm polipropilen numunelerine ve orijinal hammadde ile elde edilen numunelere yoğunluk, eriyik akış hızı, kül tayini ve TGA-DSC testleri uygulanarak kimyasal ve mekanik özellikleri incelendi.

Yapılan testler sonucunda elde edilen verilere göre, katkılı hammaddeler arasında yoğunluğu $0,92 \text{ g/cm}^3$ olan, orijinal polipropilen hammaddeye en yakın değere sahip olan plastik malzemenin %2 şişirici katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen olduğu belirlendi. Katkılı geri dönüşüm hammaddeleri arasında en yüksek erime akış hızı değerlerine sahip malzemelerin %3 ve %6'lık wax katkılı malzemelerin olduğu saptandı. Minimum dolgu yüzdesine sahip katkı %3 çilek kokusu olurken (Kül yüzdesi: %2,52), maksimum dolgu yüzdesine sahip katkı %6 antistatik (Kül yüzdesi: %7,12) olduğu ortaya koyuldu. TGA-DSC testlerinde, sırası ile, sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen ağırlık ve ısı akışındaki değişimlerinde katkılı hammaddelerin katkısız hammaddeye göre küçük oranlarda iyileşme gösterdiği gözlemlendi.

Geri dönüşüm aşamalarıyla üretilen polipropilenler ile uyumlu katkı maddelerinin son ürün özelliklerinin orijinal hammadde özelliklerine yakın olup olmadığı incelendi ve geri dönüşüm içeriğinin ve oranının bu duruma etkisi saptandı.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm, Enjeksiyon, Polipropilen, Katkı maddeleri, TGA-DSC testi



AINING RECYCLED POLYPROPYLENE WITH ORIGINAL RAW MATERIAL PROPERTIES WITH ADDITIVES THAT CAN BE USED IN THE RECYCLING OF POLYPROPYLENE

ABSTRACT

In this thesis, which deals with polypropylene obtained through recycling, it has been investigated how recycled polypropylene with the properties of the original raw material can be obtained with the additives that can be used to recycle polypropylene.

Among the additive materials planned to be used in the study, the percentage usage rates of blowing agents, antioxidants, antistatic, strawberry scent, strength enhancers, UV stabilizers, and beeswax were determined. Samples were produced by providing a homogeneous mixture using the plastic injection method. Density, melt flow rate, ash determination, and TGA-DSC tests were applied to samples obtained from production with different additive ratios, recycled polypropylene samples without additives, and samples obtained with original raw materials, and their chemical and mechanical properties were examined.

According to the data obtained from the tests, among the additive raw materials, the closest value to the original polypropylene raw material with a density of 0.92 g/cm^3 was determined as the recycled raw material with 2% blowing agent additive. Among the recycled raw materials with additives, the raw materials with the highest melt flow rate values were obtained with 3% and 6% wax additives. The additive with the lowest filling percentage has a strawberry odor of 3% (Ash percentage: 2.52%), while the additive with the highest filling percentage has 6% (Ash percentage: 7.12%) antistatic properties. In TGA-DSC tests, it was observed that raw materials containing additives showed minor improvements in weight changes and temperature-dependent heat flow changes compared to natural materials without additives.

It has been determined that it is possible to produce polypropylene with properties close to the original raw material properties due to the combination of polypropylene obtained through recycling stages and compatible additives. Still, the recycling content will affect this situation.

Keywords: Recycle, Injection, Polypropylene, Additives, TGA-DSC test

1. GİRİŞ

Monomerlerin kimyasal bağlarla bir araya gelmesi sonucu oluşan farklı gruplar içeren polimerler, hafif olma, yüksek mekanik dayanım, kolay şekil alabilme vb. gibi birçok özellikler sunmaktadır ve yaygın kullanım alanlarına sahiptirler [1].

Geri dönüşümü mümkün olan polipropilenler, çeşitli kullanım alanlarına sahip termoplastik malzeme grupları arasında yer almaktadır. Plastik bahçe mobilyaları, döşemelik kumaşlar, otomotiv plastikleri, ambalaj vb. birçok farklı endüstriyel alanda kullanımları mevcuttur. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve üfleme ile şekillendirme imkanı sunan polipropilenler, yapıları gereği üstün ısı ve mekanik özellik sergilemektedir. Sağladığı özellik ve son ürün elde edebilme kolaylığı ile sektörde tercih edilen hammaddeler arasında yer almaktadır [2].

Bu çalışmanın temel amacı, orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilmesi için polipropilene çeşitli katkı maddelerinin dahil edilmesinin ürün özelliklerine etkisi incelendi. Prosese destek olan katkıları; şişirici, antioksidan, antistatik, çilek kokusu, mukavemet artırıcı, wax ve UV stabilizatörleridir. Bunlara ek olarak farklı takviye edici sistemleri kullanılmıştır. Tüm bileşimler farklı testlere maruz bırakılarak değerlerindeki değişim gözlemlenmiştir. Yapılan testler ve elde edilen veriler sonucunda; geri dönüşümlü polipropilen yapısının önemli olduğu, katkı maddelerinin bu hammadde içeriğine bağlı olarak değişiklik gösterebileceği, katkı maddelerinin birçok hammadde özelliğini olumlu etkileyeceğini ve orijinal hammadde özelliklerine yakın özelliklerde hammadde elde edilebileceği somut bir şekilde belirlenmiştir.

Tez çalışması deney aşamalarında, öncelikle katkı maddelerinin geri dönüşümlü polipropilen hammadde içerisinde homojen şekilde dağılması sağlanmış olup, belirlenen yüzdelik katkı oranlarına bağlı olarak karışımlar hazırlanmış ve son ürünler elde edilmiştir.

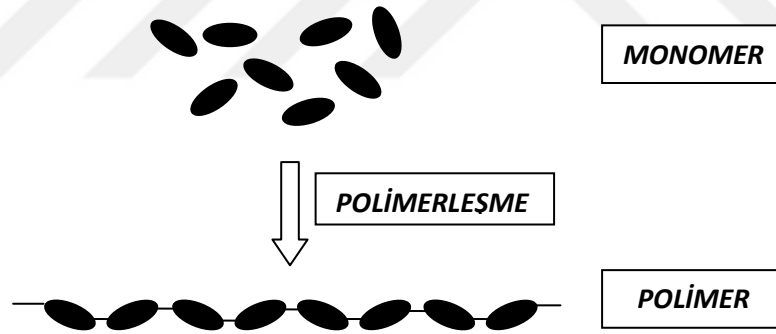
Geri dönüşüm polipropilen ve katkı maddelerinin bir arada kullanılması ile elde edilen kompaund yapılar, yoğunluk, eriyik akış hızı, kül tayini, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) testlerine tabi tutularak orijinal hammadde özellikleri ile kıyaslamalar yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİ

Polimerler mekanik dayanım, ucuzluk, hafiflik, kolay şekillenebilirlik vb. gibi üstün özelliklere sahip maddelerdir. Sağladığı üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda kendine kullanım alanı bulabilmektedir. Temel yapısı polimer olan malzemeler sayesinde insan yaşamını kolaylaştırıcı etkileri artarak devam etmekte ve tercih sebebi haline gelmektedir.

2.1. Polimer Kimyası

Polimerler; birbirine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli monomerlerin bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Birçok aynı ya da farklı grubun kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından küçük moleküllü maddelerden farklı özellik gösterirler. Küçük moleküllü maddeler üzerinde de istenilen özelliklere göre geliştirme çalışmaları yapılmıştır.



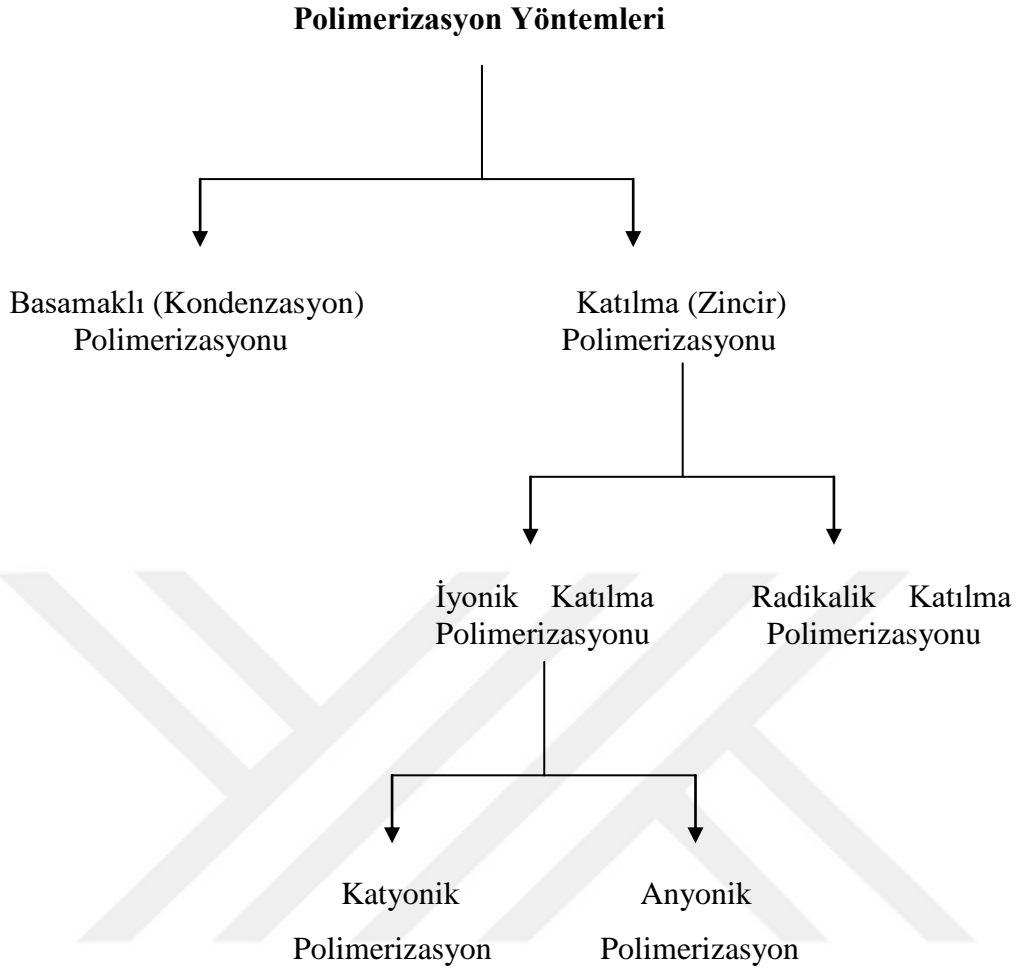
Şekil 2.1. Monomerlerin Bir Araya Gelerek Polimerleri Oluşturması [3]

Geçmiş dönemlerde insanlar polimer türündeki ihtiyaçlarını yün, pamuk vb. gibi doğal yapılardan karşılamakta idi. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra insan ihtiyacına bağlı olarak ve polimer kimyasında yaşanan gelişmelerle birlikte değişik plastik, elyaf ve elastomer türlerinin sentetik yollarla üretimi sağlandı. Yaşanan bu gelişmeler polimerlerdeki kullanım miktarlarında büyük bir artışa sebep olmuştur.

2.2. Polimerlerin Sentezi

Monomer maddeler polimerizasyon (polimerleşme) tepkimeleri ile birlikte polimere dönüşür. Polimerlerin sentezi esnasında kimyasal tepkimelerden yararlanır ve bu tepkimeler; kondenzasyon (basamaklı) ve katılma (zincir) polimerizasyonu olmak üzere iki temel katagoride ele alınır. Kondenzasyon polimerizasyonu; en az iki fonksiyonlu gruba sahip monomerlerin aralarında reaksiyona girmesi ve bu reaksiyon sırasında küçük bir molekül ayrılarak birleşmesi sonucu oluşur. Katılma polimerizasyonu ise; başlatıcı olarak tanımlanan moleküllerin yardımı ile monomerlerden bazılarının aktif uç haline getirilmesi ve bu aktif uç diğer monomerleri sırasıyla birbirine bağlayarak ortamda monomer kalmayınca kadar devam etmesi ve ayrıca, küçük bir molekül çıkışı olmadan birleşmesi sonucu oluşur. Katılma polimerizasyonunda hızlı zincir büyümesinden dolayı ortamda sadece yüksek mol kütleli polimer ile tepkimeye girmemiş monomer yapı bulunur. Polimer zinciri monomerlerin aktif merkeze birer birer katılması ile büyüyerek devam eder [4].

Katılma polimerizasyonu tepkimeleri başlatıcı olarak tanımlanan moleküller yardımı ile başlar. İyonik (anyonik ve katyonik) ve radikalik başlatıcılar olmak üzere iki çeşidi vardır. Bunlardan en sık kullanılan başlatıcılar katyonik olanlardır. Katyonik polimerizasyon süreçlerinde ağırlıklı olarak çift bağa sahip alken türü hidrokarbonlar kullanılır. Asit ester gibi gruplar bulunabilir ve bunlar polimerin özelliklerini etkileyebilir. Ortamda monomer kalmayana kadar polimerleşme süreçleri devam eder. Radikal başlatıcılar, asit ile aynı görevi yapan, ısı ve ışık etkisiyle ortamda radikal üreten moleküller oluşur. Radikal moleküller, monomerlerden birisine katılarak aktif uç oluştururlar ve ortamda monomer kalmayana kadar tepkime devam eder. Radikalik başlatıcılar genelde peroksit bileşikleridir. Anyonik başlatıcılar, genellikle kuvvetli bazların tercih edildiği başlatıcı türleridir ve bahsedilen bu baz türleri aktif uçları negatif hale getirir. Negatif yüklü aktif uç monomer katmaya devam eder ve süreç bu şekilde monomer bitene kadar devam eder. Anyonik başlatıcılar, diğer başlatıcı türlerine göre daha az tercih edilmektedir [4].



Şekil 2.2. Polimerizasyon Yöntemleri [4]

2.3. Polimerlerin Sınıflandırılması

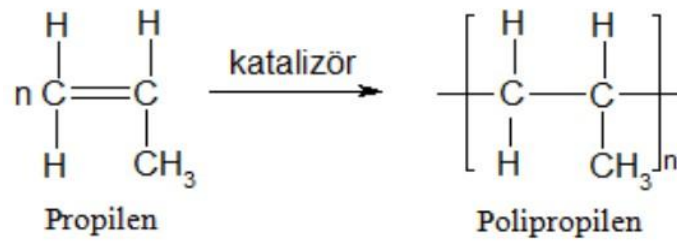
Polimerleri kaynağına göre (Doğal polimerler, yarı sentetik ve sentetik polimerler), yapılarına göre (Heteropolimerler ve homopolimerler), kimyasal bileşimlerine (Sentez yöntemleri ve ısı ile çözücülere karşı gösterdikleri davranışlara göre) ve fiziksel durumlarına göre (Amorf polimerler, yarı kristalin ve kristalin polimerler) sınıflandırabilmek mümkündür [1-5].

Polimerler plastikler, fiberler ve elastomerler olmak üzere üç gruba ayrılır. Plastikler ise termoplastikler ve termoset plastikler olmak üzere iki alt grupta ele alınmaktadır. Termoplastikler, ısıtıldığı zaman eriyebilen ve şekil alabilen polimerlerdir. İstenilen tüm şekillerde kalıplanabileceğini söylemek mümkündür. Termoplastik polimerler

için belirtilen eritme ve şekillendirme işlemleri defalarca kez tekrarlanabilir. Termoplastik polimerlerin her biri kendine özgü camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. Bünyesinde kristal yapı bulunduran termoplastik polimerlerin erime sıcaklık aralıkları da geniştir. Termoplastik polimerlerden erime noktası tek nokta da olmayanlar, farklı kristal hücrelerinin dışında farklı büyüklüklerde kristaller oluşturduğunu da gösterebilir. Termoset plastikler, ısı ve basınç altında bir kez şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilmesi mümkün olmayan yapılardır. Sert malzemelerdir ve ısıya karşı dayanıklılık gösterirler. Termoset plastiklerin termoplastiklere göre mekanik gücü ve deformasyona karşı dayanıklılığı daha üstündür. Termoplastiklerin geri dönüşümü mümkün iken, termoset plastiklerin çapraz bağlı yapıya sahip olmasından dolayı geri dönüşümleri mümkün değildir [1-5].

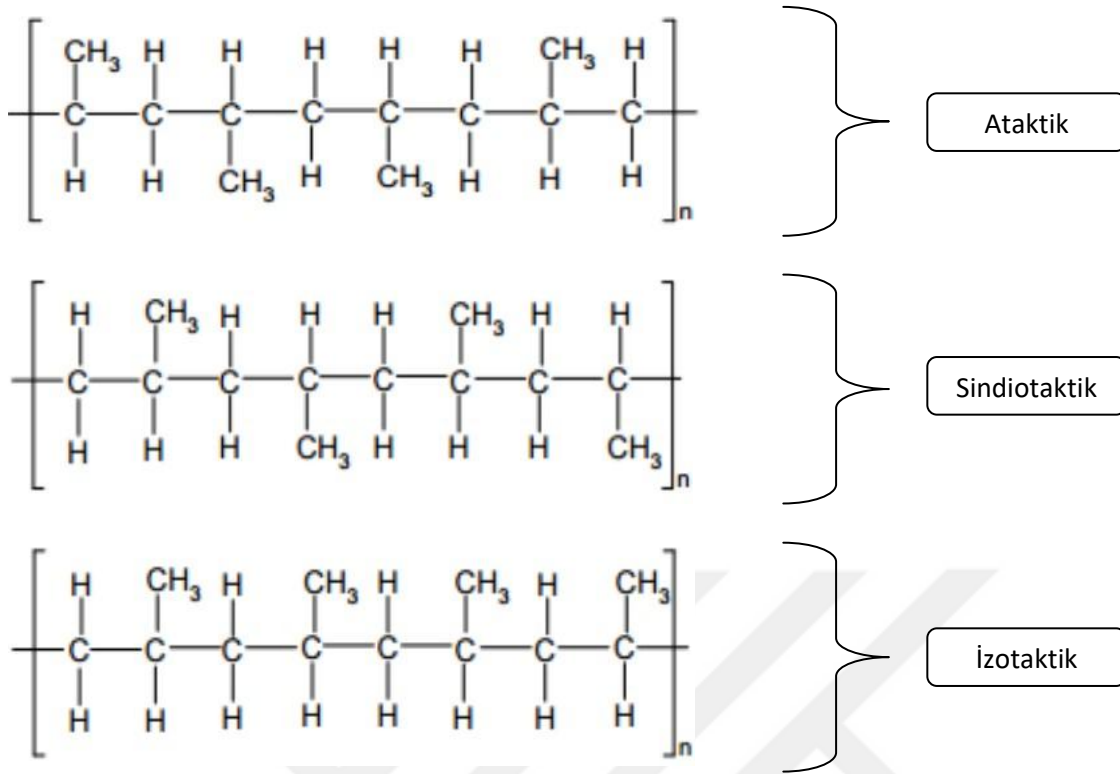
2.4. Polipropilenler (PP)

Termoplastik polimerler grubundan olan polipropilenler dayanıklılığı, ucuzluğu, hafifliği, yüksek kimyasal dayanım vb. gibi sağladığı özellikler sebebi ile kullanım alanı yaygın olan polimerlerdendir. Polipropilen, ziegler-natta katalizörleri ($TiCl_3$, dietilalüminyumklorür ya da bazı metalosen katalizörleri) ile birlikte propilenin monomerinin polimerleşmesi sonucu oluşur.



Şekil 2.3. Propilen Monomerinin Polimerleşme Reaksiyonu [1-5]

Etilen molekülü üzerinde π bağının açılması ile birlikte buraya tekrar bir etilen molekülü bağlanır. Polimer molekülünün aktif ucuna hidrojenin bağlanması sonucu polimerleşme tepkimesi sonlanır. Hidrojen miktarı arttıkça zincir uzunluğu kısalmır. Polimerlerin farklı zincir oluşumlarını görebilmek mümkündür. İzotaktik, sindiotaktik, ataktik polimerler olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4. Ataktik, Sindiotaktik ve İzotaktik Polipropilenlerin Kimyasal Yapıları [5]

2.4.1. Polipropilenin tarihçesi

Karl Ziegler, ilk defa etilenin polimerizasyonunda organometalik katalizörleri kullanmış ve etileni yüksek basınçta alüminyum alkilleri ile etkileştirerek organometalik oligomerlerle polietilen karışımı bir ürün elde etmiştir. Ziegler, sonraki çalışmalarında katalizör sistemine $TiCl_4$ ve VCl_4 türü geçiş metali bileşiklerini ilave ederek, yüksek mol kütleli polietileni oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında sentezlemiştir. Ziegler'in çalışmalarını takiben, aynı yıllarda Giulio Natta benzer katalizörlerin farklı bileşimlerini kullanarak propilenin kristalinitesi yüksek ve stereospesifik polimerini sentezlemiştir [5-7].

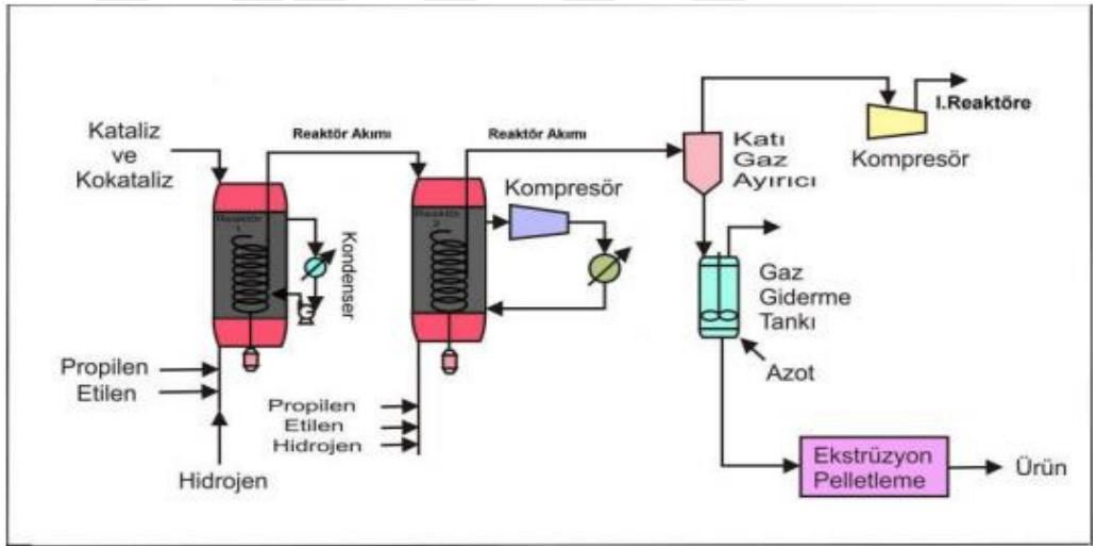
1954 yılında polipropilenin ilk üretimi yapılmış olup, ticari üretimine 1957 yılında başlanmıştır. Çok sayıda alanda başarılı uygulamaları ve birçok üretim metoduna uygunluğu sayesinde kullanım alanları giderek artış göstermiştir [5-7].

2.4.2. Polipropilenin üretim yöntemleri

Polipropilen üretimi gaz (akışkan yatak veya karıştırılmış reaktör), bulk ve slury faz prosesleri ile sağlanabilmektedir. Gaz ve bulk üretim yöntemleri slury üretim yöntemine göre daha yeni, verimli ve ekonomik olduğu için tercih sebebi haline gelmektedir.

2.4.2.1. Gaz faz prosesinde polipropilen yöntemi

Polipropilen üretim yöntemlerinden olan gaz faz prosesinde üretim yöntemi Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Yüksek aktiviteli katalizörlerin katalitik etkisiyle gaz fazdaki monomerlerin polimerizasyonu sonucu yarı kristal yapıda polipropilen elde edilir [5-8].



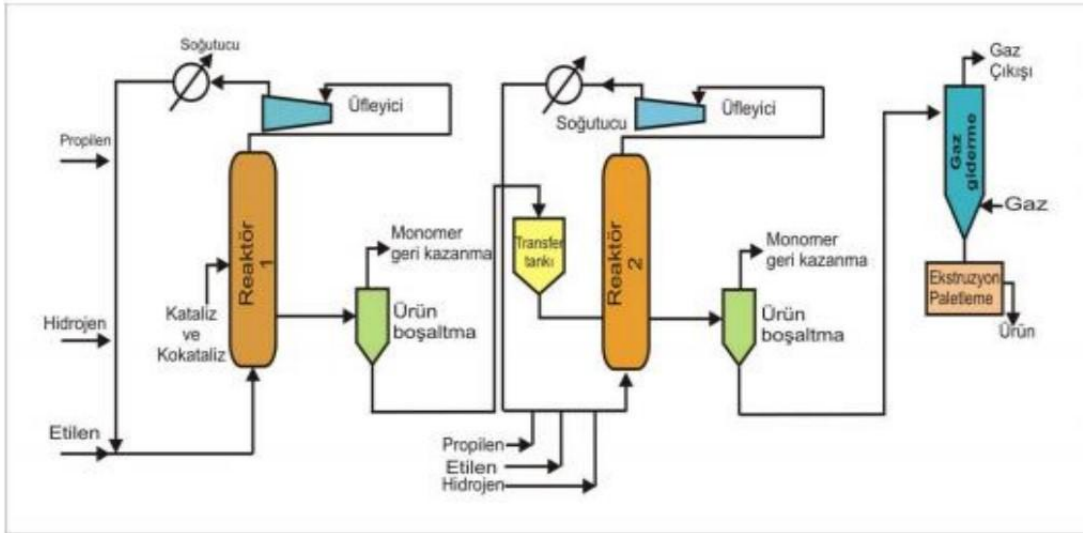
Şekil 2.5. Gaz Faz Prosesi ile Polipropilen Üretimi [5-8]

Gaz faz prosesi ile polipropilen üretim aşamalarından monomer saflaştırmada katalizör zehirlenmesine sebep olabilecek bileşikler (oksijen, su, kükürt vb. gibi) saflaştırıldıktan sonra reaktöre verilir. Bir diğer aşama olan katalizör yüklemde katalizörler I. Reaktöre verilir. Katalizör miktarı üretimde istenilen özelliklere (kapasite, ve tür) göre belirlenir. Polimerleşme reaktöründe, bir ucunda monomer maddeler ve katalizör yüklenirken diğer ucunda toz halde polimerler elde edilir. Reaktörler düşük basınçlı halde bulunur ve reaktör ortamında polipropilenlerin

oluşumu sürekli. Homopolimer, kopolimer ve random polimer üretimlerinde farklılıklar vardır. Amaç homopolimer elde etmek ise, reaktöre katalizör ve propilen gazı verilir ama amaç kopolimer ya da random kopolimer elde etmek ise bunlara ek olarak reaktöre etilen gazı da verilir. Toz halindeki ürünler (polimer ve gaz karışımı) toz-gaz ayırma ünitesine gönderilir. Burada gaz halinde olan maddeler basınçla reaktöre geri verilir. Toz kısım ise son gaz giderme kolonuna gönderilip katalizör deaktivasyonu ve gaz buharlaştırma işleminden sonra toz ürün paletleme ünitesine verilir. Ürünün şeklinin belirleneceği alana gelen toz halindeki polipropilen, üründe istenilen özelliklere göre gerekli katkı maddeleri ile (masterbatch ile) karıştırılır. Karışım eritilerek ekstrudere verilip granül haline getirilir. Son aşama olan bu işlemde sonra granüllerin paketlenmesi sağlanarak pazar için hazır hale gelir [5-8].

2.4.2.2. Bulk faz prosesinde polipropilen yöntemi

Polipropilen üretim yöntemlerinden olan bulk faz prosesinde üretim yöntemi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bulk Faz Prosesi ile Polipropilen Üretimi [5-8]

Bulk faz prosesi ile polipropilen üretim aşamalarından monomer saflaştırmada katalizör zehirlenmesine sebep olabilecek propilen, etilen, heptan ve azot gibi monomerler polimer saflığına getirilir. Bulk faz prosesinde kullanılan katalizörler

(TiCl₃ ve trietil alüminyum) heptan içinde seyreltilerek hazırlanır. Elde edilen polimerlere ait istenilen özellikler için polimerler ile katkı maddeleri karıştırılmakta ve uygun karışımlar sağlandıktan sonra ekstrüzyon prosesine verilir. Bulk faz prosesinde homopolimer, kopolimer, random kopolimer ve termopolimer üretilebilmektedir. Sürekli polimerleşme proseslerine uygun iki adet polimerleşme reaktörü vardır. Üretilecek polimer türüne göre kullanılan monomer çeşitleri değişiklik göstermektedir. Homopolimerde propilen, kopolimerde propilenetilen, termopolimerlerde propilen-etilen ve bütün monomerleri reaktöre uygun akış hızıyla verilir. Reaktöre verilen bu monomerlerin %80'i reaksiyona girer. Reaksiyona girmeyen %20 kadarlık kısım monomer geri kazanma ünitesinde yoğunlaştırılıp saflaştırıldıktan sonra reaktöre geri gönderilir. Toz hâlindeki polimer ise gaz giderme ünitesinde gönderilerek tepkimeye girmemiş monomerlerden ayrılır. Monomer yine reaktöre geri gönderilir. Son gaz giderme işleminden sonra toz silolarında depolanan toz hâlindeki polipropilen, otomatik tartım kantarı yolu ile toz karıştırmaya geçer. Üretilen polipropilenin türüne göre peroksit, nötralizör, antioksidanlar, antistatikler ve stabilizörler ilave edildikten sonra ekstruderlerde granülleştirilip torbalanarak satışa hazır hâle getirilir [5-8].



Şekil 2.7. Granül Halde Bulunan Katkılı Polipropilen

2.4.3. Polipropilenin özellikleri

Polipropilen, işlenebilirliği kolay, sağladığı performansa göre ucuz ve çoğu kimyasala karşı dayanıklılığı yüksek olması vb. gibi birçok özelliğinden dolayı sektörde tercih edilen hammaddeler arasında yer almaktadır. Fiziksel özelliği bakımından yarı saydam ve beyaz renklidir. Özgül ağırlığının ($0.90-0.91 \text{ g/m}^3$) düşük olmasından dolayı bu hammaddeden üretilen ürünlerde hafif olacaktır. Polipropilen hammaddesi kullanılması planlanan malzemeler genellikle enjeksiyonda kalıplanır. Diğer termoplastik hammaddelerde olduğu gibi, istenilen özelliğe göre katkı maddelerinin kullanılması ile farklı özelliklerde polipropilen elde etmek mümkündür. Polipropilen hammaddelerin elektriksel dirençleri yüksektir. Kimyasal özelliği açısından ise asidik ve bazik kimyasallara karşı oldukça dayanıklı olup, bazı çözücülere karşı hassas olduğunu söylemek mümkündür. Mantar ve bakterilere karşı dayanıklıdır. Polipropilen, $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de deformasyon sıcaklığına, $155 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de vicat yumuşama sıcaklığına (Batma ucunun deney parçasının yüzeyine 1 mm gömüldüğü andaki sıcaklık), $170-260 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de işlenebilme (enjeksiyonda işlenebilme) sıcaklığına erişir [5-9].

Tablo 2.1. PETOPLen® MH 418'in teknik özellikleri [9]

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Üretici | Petkim Petrokimya Holding A.Ş |
| Ürün kodu | PETOPLen® MH 418 NATUREL |
| Kısa kodu | MH 418 |
| Yoğunluğu (g/cm^3) | 0,905 ($\pm 0,015$) |
| Akma Mukavemeti (MPa) (ASTM D-638) | 35 |
| Kopma Mukavemeti (MPa) (ASTM D-638) | 43 |
| Sertlik (R-Scale) | 94 |

2.4.4. Türkiye'nin polipropilen üreticileri

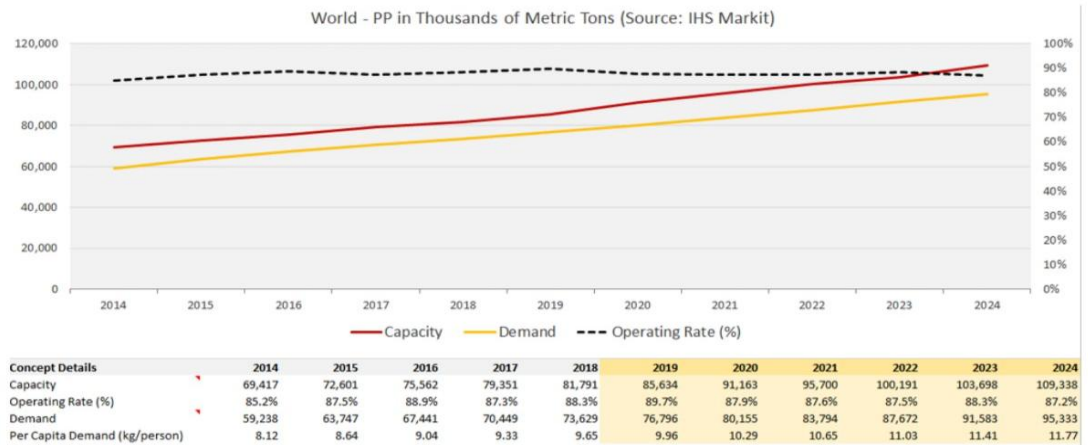
Petkim Türkiye'nin en büyük petrokimya üreticisidir. Petkim'de ürünlerinin kalitesi dünya standartlarında olup satışı olan ürünleri; Etilen, PVC, AYPE, YYPE, PP, ACN, PTA, MEG, PA, DEG, TEG, Benzen, P-X, C5 Karışımı, C4, Aromatik Yağ, Ham Benzin, Sudkostik, Hidrojen, Masterbatch ve Plastik Mamulleridir.

Gelişmekte olan ülkeler arasında bulunan Türkiye endüstriyel üretimi için yüksek miktarda polipropilene ihtiyaç duymaktadır. Petkim'in polipropilen fabrikası yıllık 144.000 ton kapasitelidir. 2019 yılında Türkiye 1.799.480 ton polipropilen ithal etmiştir. Petkim fabrikasının tam kapasite ile çalıştığı varsayımında Türkiye'nin toplam polipropilen ihtiyacı 1.943.480 tondur. Bu durumda yıllık ihtiyacının %7,4'ünü karşılama kapasitesine sahiptir.

Ceyhan Mega Petrokimya Endüstri Bölgesi'nde yapılacak ilk yatırım yıllık 450.000 ton kapasiteli propan dehidrojenasyon polipropilen üretim tesisidir.

Mersin'de ise Tekfen Holding'e bağlı Toros Tarım'a ait CFS Petrokimya'nın polipropilen üretim tesisi kurulması için çalışmalara başlanmıştır. İthal edilecek propandan polipropilen üretecek tesisin yıllık kapasitesi 500.000 tondur. Yeni yapılacak bu tesisler üretime başladığında Türkiye ihtiyacının %56'sını karşılama kapasitesine sahip olacaktır [10].

Basell, Borealis, Total, Sabic ve Braskem ise Avrupa'nın en önemli polipropilen üreticileri arasında yer almaktadır.



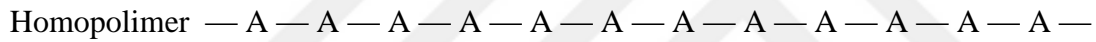
Şekil 2.8. Küresel Polipropilen Üretim Kapasitesi ve Talebi [10]

2.4.5. Polipropilen türleri

Darbe dayanımı ve kimyasallara karşı dayanımı yüksek, maliyeti düşük, kolay şekil verilebilen ve iyi bir elektrik yalıtımı sağlayan polipropilenler; polipropilen homopolimer, polipropilen kopolimer, polipropilen random kopolimer olmak üzere 3 (üç) gruba ayrılmaktadır.

2.4.5.1. Polipropilen homopolimer (PPH)

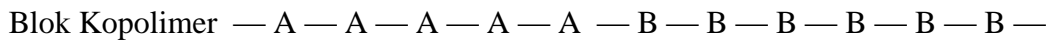
Birçok monomerin bir araya gelerek kovalent bağlar ile bağlanmasıyla oluşan moleküller, polipropilen homopolimer olarak isimlendirilmektedir. Homopolimerler, tek bir monomer biriminin tekrar etmesi sonucu oluşur. Sağladığı yüksek dayanıklılık ve yüksek kimyasal dirençten dolayı kullanımı yaygın polipropilen türüdür. Homopolimerler, masa ve sandalye üretimlerinde, gıda ambalajları üretimi vb. birçok sektörde kullanımı mümkün ve avantaj sağlayan hammadde türüdür.



Şekil 2.9. Homopolimer Zincir Oluşumu [11]

2.4.5.2. Polipropilen kopolimer (PPC)

Homopolimerler ile kıyaslandığında daha yumuşak özellik sergileyen kopolimerler, darbelere karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Korozyona dayanıklılık, aşınma ve kimyasal direnç, nem emme, çatlamaya karşı direnç vb. gibi özellikler ile homopolimerlerden daha üstün performans sergilemektedir. Kopolimerler, şişe ve bardak üretimlerinde, boru üretimi vb. birçok sektörde kullanımı mümkün ve avantaj sağlayan hammadde türüdür [11-12].



Şekil 2.10. Blok Kopolimer Zincir Oluşumu [11]

2.4.5.3. Polipropilen random kopolimer (PPRC)

Ana zincir yapısı farklı bir monomer ile rastgele veya düzensiz olarak bir araya getirilmiş polipropilen türlerinden biridir. Ana zincir yapısında gerçekleştirilen bu değişiklik polipropilen türleri arasında farklı özellikler gözlemlenmesine sebep olur.

Homopolimerlere göre, optiklik, esneklik, darbe direnci gibi özelliklerde üstünlük sağlar. Kopolimerlere göre ise, daha az darbe direnci ile yüksek şeffaflık gösterebilmektedir. Random Kopolimerler, su tesisatları ve ısıtma sistemi boruları üretimlerinde, söndürme sistemi boruları üretimi vb. birçok alanda kullanımı mümkün ve avantaj sağlayan hammadde türüdür.

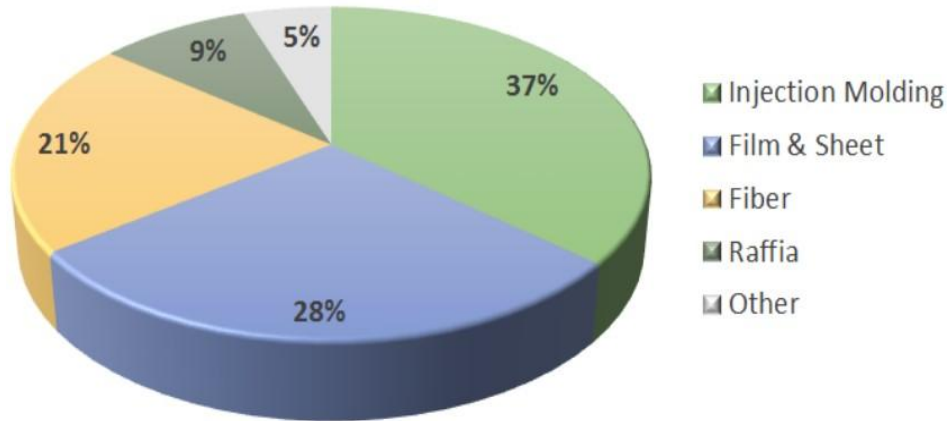
Random Kopolimer — A — A — B — B — A — B — A — B — B — A — B —

Şekil 2.11. Random Kopolimer Zincir Oluşumu [11]

2.4.6. Polipropilen uygulama alanları

Polipropilenler hafif, toksik olmaması, nem geçirgenliğinin düşük olması, kolay şekil verilebilir olması ve yüksek dayanıma sahip olmaları sebebi ile oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen polipropilenin homo ve kopolimerlerinden otomotiv, optik ve elektrik malzemeleri, ev ve mutfak eşyaları, mekanik dayanım istenen parçalar, endüstriyel amaçlı parçalar, seyahat ürünleri, akü kutuları, konteynırlar, kasalar, boru, bira kasaları ve gaz yağı bidonları yapılabilir [10-11].



Şekil 2.12. Türkiye'de ki Polipropilen Uygulamaları [10-11]



Şekil 2.13. Polipropilen Levha Ekstrüzyon Hattı [13]

Ekstrüzyon yöntemiyle film, filament, lifler, profil, levha ve şerit şeklinde üretim yapılabilir. Polipropilen berrak, sağlam ve parlak olduğundan ambalaj imalatında, film, halı vb. ürünlerin imalatında kullanılır. Şişirme kalıplama yöntemi ile de polipropilen hammaddeden deterjan, gıda vb. ürün ambalajları üretilir. Sağladığı üstün özelliklerden dolayı polipropilenin kullanım alanı günden güne artmaya devam edecektir.

2.5. Polipropilen İle Uyumlu Katkı Maddeleri

Polipropilen geri dönüşümünde kullanılabilecek katkı maddeleri ile orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilmesi hedeflenmektedir. Testler esnasında kullanılabilecek katkı maddelerine örnekler aşağıda belirtilmiştir.

2.5.1. Antimikrobiyal/Biyostabilizatörler

Örnekler: Fungisitler, Vinyzene™ BP 5-5 PG, BactiBlock® 101 R4.47

Tedarikçi: Dow, FARRL

Vinyzene™ BP 5-5 PG: Polipropilen glkol uçucu olmayan plastikleştirici taşıyıcı içinde 10,10'-oksibisfenoksarsin (OBPA) çözeltisi. Vinil, poliüretan, sentetik kauçuklar ve mantar koruması gerektiren diğer polimerik sistemlerde kullanım için bir antimikrobiyal ajan (fungisit) görevi görür. Geniş bir bakteri ve mantar saldırısı

yelpazesine karşı uzun süreli koruma sağlar. Yüzey büyümesinin, kalıcı lekelenmenin, kırılabilirliğin ve erken ürün arızasının önlenmesine yardımcı olur. Vinil film ve kaplama, ekstrüde profiller, plastisoller, kalıplanmış ürünler, organosoller, kumaş kaplamalar, duş perdeleri, deniz döşemeleri, köpük contalar, eğlence mobilyaları, yüzme havuzu kaplamaları, hastane kaplamaları, üretilen ayakkabı tabanları ve köpükler için kullanılır.

BactiBlock® 101 R4.47: FARRL tarafından sağlanan BactiBlock® 101 R4.47, termosetler, termoplastikler, elastomerler ve kauçuk gibi çok çeşitli polimerik ürünlerde kullanılmaya uygun bir antimikrobiyal katkı maddesidir. BactiBlock® 101 R4.47, VOC içermez ve BPR (PT2, PT4) tarafından bildirilir. Poliolefinler (tüm prosesler) ve termoset polimerler ve poliüretanlar için önerilen dozaj sırasıyla %0,2-2,5 ve %0,5-1,5'tir. FARRL, Almanya, Avusturya ve İsviçre için yetkili dağıtım ve teknik danışmanlık hizmeti ortağıdır [14].

2.5.2. Antioksidanlar

Örnekler: Fenolikler, BRUGGOLEN® H161

Tedarikçi: Brüggemann

BRUGGOLEN® H161: Brüggemann tarafından üretilen BRUGGOLEN® H161, toz halinde sterik olarak engellenmiş fenolik antioksidanlar ve fosfonatların sinerjistik bir karışımıdır. Renk değiştirmeyen bir antioksidan ve ısı dengeleyici görevi görür. Hem takviyesiz hem de cam elyaf takviyeli veya mineral dolgulu polimerlerde uzun süreli stres altında bitmiş parçaların mekanik özelliklerinin gevrekleşmesine ve erken yorulmasına karşı mükemmel koruma sağlar. 150 °C'ye kadar olan uygulamalarda uzun süreli ısı kararlılığı, sararmaya ve bozulmaya karşı verimli proses stabilizasyonu, işleme sırasında düşük uçuculuk, mükemmel uyumluluk, düşük ekstrakte edilebilirlik, özellikle cam elyaf takviyeli veya mineral dolgulu poliamidlerde yüksek verimlilik, tam dispersiyon, şeffaf şeffaf filmler ve lifler, lif eğirmede tortu ('plaka-out') yok. BRUGGOLEN® H161, poliamidlerle (PA6, PA6.6, PA11, PA12, PA kopolimerleri) ve ayrıca polyesterler (PET, PBT), polikarbonatlar (PC) ve bunların karışımları, stirenikler (PS, ABS, SAN) ve polipropilen (PP). Ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve kuru karıştırma kullanılarak işlenebilir.

Önerilen dozaj, polimere ve bitmiş parçaların istenen özelliklerine bağlı olarak yaklaşık %0,2-1,0'dır. En az 12 ay raf ömrü vardır [14].

2.5.3. Antistatik ajanlar

Örnekler: AvanDISS 232

Tedarikçi: DKSH

AvanDISS 232: DKSH tarafından dağıtılan avanDISS 232, PS, HIPS, PE, PP, ABS, PC, PA için güçlü, halojen içermeyen ve kalıcı bir antistatiktir. Farklı nem koşullarında iyi bir stabilite sunar. Ekstrüzyon ve enjeksiyon proseslerinde anti-statik veya anti-toz özelliği (10^7 ila 10^{11} Ω) vermek üzere dağılmaya hazır toksik olmayan bir üründür. avanDISS 232, elektronik, paketleme, armatür, benzin depoları, bilgisayar, konut, TV ve görsel-işitsel cihazlar gibi uygulamalarda kullanılır. Bu ürün Asya Pasifik pazarlarında ve ABD'de mevcuttur [14].

2.5.4. Çekirdekleştirici ajanlar

Örnekler: Hyperform® HPN® 20E

Tedarikçi: Milliken

Hyperform® HPN® 20E: Milliken'den Hyperform® HPN® 20E, polipropilen için yüksek performanslı bir çekirdekleştirici ajandır. Mükemmel sertlik/darbe dengesi, benzersiz izotropik büzülme ve üstün CLTE performansı sunar. İşleme hızını en üst düzeye çıkarmak için mükemmel çekirdeklenme performansına, tutarlı işlemeye, döngü süresinin azaltılmasına (daha fazla kapak/dakika) ve aynı zamanda batma işaretleri gibi iyileştirilmiş kaliteden yoksun kusurlara sahiptir. Daha iyi boyutsal kararlılık sergiler. Otomotiv, ev aletleri, boru ekstrüzyonu ve kapaklarında kullanılır. Hyperform® HPN® 20E, enjeksiyonlu kalıplama, termoform, ekstrüzyon üflemlerli kalıplama, döner kalıplama ve üflemlerli film ekstrüzyonu ile işleme için uygundur [14].

2.5.5. Şişirme ajanları

Örnekler: Addibatch® MBD 50614

Tedarikçi: Addiplast

Addibatch® MBD 50614: Addiplast'tan Addibatch® MBD 50614, PP taşıyıcı reçinede %30'luk bir azodikarbonamiddir. Ekzoterm köpüren bir maddedir. Addibatch® MBD 50614, enjeksiyon ve ekstrüzyon köpük boru (d=0,4) ile işlemeye uygundur. Tavsiye edilen dozaj oranı %3-5'tir [14].

2.5.6. Harici yağlayıcılar

Örnekler: AQUACER® 1510

Tedarikçi: BYK

AQUACER® 1510: AQUACER® 1510 by BYK, modifiye edilmiş bir polipropilen mumun iyonik olmayan bir emülsiyonudur. Çekme mukavemetini ve elastisite modülünü geliştirir. Polipropilen termoplastikleri güçlendirmek için sulu cam elyaf haşılamada kullanılması tavsiye edilir. Önerilen seviye, toplam formülasyona göre %10-50 katkı maddesidir. AQUACER® 1510, gıda ile temas eden uygulamalar için uygundur [14].

2.5.7. Dolgular/Genişleticiler

Örnekler: Plast Clear, Talk Tozu

Tedarikçi: Bajaj Superpack, Arun Minerals

Plast Clear: Ultra ince kaplamalı CaCO₃/talk dolgulu masterbatch. Polimerin doğal berraklığını koruyan çekirdekletirici bir ajan görevi görür. Ayrıca etkili bir bloklaşmayı önleyici ajan olarak işlev görür. Film tabakalarının yapışmasını azaltır. Nihai ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerini, kaymazlık özelliğini ve ısı direncini geliştirir. Dokuma çuval / film sertliği ilavesi için liflenmeyi önleyici malzemeye sahiptir. Tüm poliolefinler için dosttur. Ultra ince talk, geliştirilmiş darbe mukavemeti ile esneklik kazandırmak için taşıyıcı reçine ve katkı maddeleri ile birlikte kullanılır. Dokuma kumaşlar için renkli PP ve PE bantların üretiminde, boyutsal kararlılık sağlamak ve maliyeti düşürmek için enjeksiyon ve şişirme ürünlerinde kullanılır.

Talk Tozu: Talk Tozu, harmanlama özelliklerinden dolayı mükemmel bir dolgu maddesidir. Mükemmel sürtünme direnci, azaltılmış sarkma, iyi kaplama, daha yüksek yükleme ve su direncinin yanı sıra termal ve elektriksel direnç özellikleri sergiler. Kimyasal olarak inerttir. Plastik yüzeye pürüzsüz bir his verir. Ayrıca iyi

yüzey kalitesi, daha düşük kalıp çekmesi, daha kolay işleme ve maksimum yükleme sergiler. LD, HDPE kompaund ve PVC plastiklerin imalatında kullanılır. Plastik endüstrisi, polipropilen, poliamidler, kablo PVC ve diğer plastik bileşiklerde yüksek kaliteli ultra ince talk tüketir. Talk, LDPE, ABS ve ısıyla sertleşen bileşiklerde giderek daha fazla kullanılmaktadır [14].

2.5.8. Alev geciktiriciler

Örnekler: SILMAFLAME AP1130A

Tedarikçi: Silma

SILMAFLAME AP1130A: Silma'nın SILMAFLAME AP1130A'sı, polipropilen taşıyıcı üzerinde yüksek konsantrasyonda bromlu alev geciktirici masterbatch'tir. UV stabilizatörleri ile birlikte kullanılabilir. Renkli masterbatch'ler, çapraz bağlama katalizörleri ve peroksitler, antioksidanlar/stabilizatörler ve işleme yardımcıları gibi diğer katkı maddelerinin yanı sıra PE, XLPE, PP, TPV ve TPE ile uyumludur. Kırmızı bakır ile direkt temasta yalıtkanlarda kullanım için yüksek seviyede termal dengeleyiciler ve metal deaktivatör nedeniyle otomotiv kabloları için uygundur. SAE J 1127-1128 normunun GXL yalıtım sınıfı ve ISO6722 ve LV112 normunun T3 sınıfı (125°C sıcaklık oranı) için kullanılabilir. Kablolar için AP1130A ile değiştirilmiş TPE ve TPV, UL1685 normuna uygundur. Önerilen doz seviyesi %15-30'dur. SILMAFLAME AP1130A'nın raf ömrü bir yıldır [14].

2.5.9. Çizilmez ajanlar (Anti-scratch agents)

Örnekler: BYK-MAX ASC 4181

Tedarikçi: BYK

BYK-MAX ASC 4181: BYK-MAX ASC 4181 by BYK, polipropilende çizilme direncini artırmak için kullanılan granüle yüzey katkı maddesidir. Poliolefinler, örneğin polipropilen (PP) bazlı termoplastik kalıplanmış parçaların yüzeylerinin çizilme direncini artırır. %0,5-1 gibi düşük dozlar, araç içlerinde kullanıldığında termoplastik yüzeylerin çizilme direncinde önemli bir iyileşme sağlar. BYK-MAX ASC 4181'in raf ömrü 3 aydır [14].

2.5.10. Darbe deęiřtiriciler

Örnekler: Queo™ 0203

Tedarikçi: Borealis

Queo™ 0203: Borealis'e ait Queo™ 0203, bir metalosen katalizörü kullanılarak bir çözeltili polimerizasyon işleminde üretilen etilen bazlı bir okten-1 elastomerdır. Polipropilen (PP) için bir darbe değiştirici görevi görür. Olağanüstü tokluk, esneklik ve yüksek netlik sağlar. Düşük sıcaklıkta darbe dayanımı, olağanüstü delinme direnci ve düşük sıcaklıkta sıcak yapışma özellikleri sergiler. İşleme stabilizatörleri içerir. Film, ekstrüzyon ve kalıplama uygulamalarında diğer poliolefinlerle çok yönlü karışım gösterir. Queo™ 0203, özel döküm streç uygulamaları, yüksek netlikte ev eşyaları, yumuşak köpükler (Örn. yapay şarap mantarları) ve PP film tokluk modifikasyonu için önerilir. Halojen içermeyen alev geciktirici bileşikler üretmek için uygundur [14].

2.5.11. Organik peroksitler

Örnekler: Luperox® 101PP7.5G

Tedarikçi: Arkema

Luperox® 101PP7.5G: Arkema'dan Luperox® 101PP7.5G organik peroksittir. Bir polipropilen taşıyıcı üzerinde %7,5 oranında Luperox® 101 (2,5-dimetil-2,5-di(tertbutilperoksi)-heksan) formülasyonudur. Polipropilen tozu ve silika gibi inert bileşenler içerir. Luperox® 101PP7.5G, PP ve PET içeren hem tek akışta hem de karışık akışlarda bir viskozite değiştirici olarak plastik geri dönüşümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

2.5.12. Işık stabilizatörleri

Örnekler: GC UV LS 770

Tedarikçi: GreenChemicals SPA

GC UV LS 770: GreenChemicals'tan GC UV LS 770, bir bis(2,2,6,6-tetrametil-4-piperidil) sebakattır. Düşük moleküler ağırlıklı engellenmiş amin ışık stabilizatörüdür. Düşük uçuculuk gösterir ve kalın kesitlere ve filmlere iyi ışık kararlılığı sağlar. GC UV LS 770, poliolefinler (PP, PE, EVA), stiren reçineleri ve

PA ve PU teknik polimerleri ile uyumludur. Önerilen dozaj seviyesi %0.1-1.0'dır [14].

2.5.13. Elyaf lar

Örnekler: ChopVantage® HP 3270

Tedarikçi: PPG Industries

ChopVantage® HP 3270: 10 mikron fiber olan PPG Fiber Glass'tan kıyılmış iplikçik cam elyafı. Tüm polipropilen (PP) sistemlerde kullanıma uygundur ve parlak beyazlık ve yüksek mekanik özellikler gerektiren uygulamalar için geliştirilmiştir. Ürün, renk özelliklerinin kritik olduğu cihaz pazarındaki bileşenler için tasarlanmıştır. CHOPVANTAGE HP 3270 kıyılmış teller, ısıyla yaşlanma ve sıcak deterjan direncinde olağanüstü performansa sahiptir ve otomotiv uygulamaları için mükemmel olanaklar sağlar [14].

2.5.14. Plastikleştiriciler

Örnekler: DOMPLAST DIDA

Tedarikçi: Domus Chemicals

DOMPLAST DIDA: Diizodesil adipat (izodesil alkolün adipik asit esteri). Plastikleştirici görevi görür. Görünüşte berrak sıvı olan monomerik bir esterdir. Ana termoplastikler, selüloz bazlı polimerler, PVA (polivinil asetat), PVB (polivinil bütiral), PVC (polivinil klorür), klorlu kauçuk, %30 ve %20 ACN (asetonitril) ve NR (doğal kauçuklar). Sabun ve deterjanlarla ekstraksiyona karşı düşük uçuculuk ve direnç gerektiren uygulamalar için uygundur. REACH (Kimyasalların Kaydı, Değerlendirmesi ve İzni) ile uyumludur [14].

2.5.15. Proses yardımcıları

Örnekler: MoldWiz® INT-33LCA

Tedarikçi: Axel

MoldWiz® INT-33LCA: Organik yağ asitleri, esterler ve amidlerin tescilli sinerjik karışımı. TPO, TPE, TPV ve TPU dahil olmak üzere polietilen, polipropilende proses yardımcı katkı maddesi olarak kullanılır. Gelişmiş reçine akışı/dolgu ve diğer reçine katkı maddelerinin (takviyeler, dolgu maddeleri ve pigmentler) dağılımını sunar.

Çevrim sürelerini kısaltır. Kalıplama makinelerinin sıcaklıklarını ve basınçlarını düşürür ve kaynak/örgü hatlarını ortadan kaldırır. Harici bir kalıp ayırıcıya olan ihtiyacı ortadan kaldırır [14].

2.5.16. Dağıtıcı maddeler (Dispersing agent)

Örnekler: UMEX 100TS

Tedarikçi: Toyota Chemiplas

UMEX 100TS: Toyotsu Chemiplas tarafından dağıtılan UMEX 100TS bir uyumlaştırıcıdır. Klima kapağı, plastik pelet ve ahşap plastikte kullanılan maleik asit modifiyeli polipropilendir. Yüksek derecede modifikasyon ve düşük erime viskozitesi sayesinde pigmentlerin ve dolgu maddelerinin dağılılabirliğini artırır. Kalıplama işlenebilirliği ve ısı direncinde iyileştirme sunar. LDPE, HDPE, PP ve 6Ny ile uyumludur. İyi reaktivite, çok yüksek asit değeri ve yapışma özellikleri sergiler. UMEX 100TS, cam elyaf takviyeli plastiklerin (GFRP) bükülme mukavemetini ve diğer fiziksel özelliklerini arttırmak için ağırlıkça %0,5-5 dozaj seviyesinde eklenir [14].

2.5.17. Kokular

Örnekler: KRITILEN® 0164 Lemon

Tedarikçi: Plastika Kritis

KRITILEN® 0164 Lemon: Taşıyıcı reçine olarak EVA içeren limon kokulu masterbatch. Hoş olmayan kokuyu maskeler ve istenen aroma ile değiştirir. Çeşitli plastik kalıplanmış parçalara veya filmlere kokuları dahil etmenin uygun bir yolunu sunar. Nihai uygulama polimerleri arasında polietilen, polipropilen, EVA ve esnek PVC bulunur. Enjeksiyon kalıplama ve film proseslerinde kullanılması önerilir. Çöp poşetlerinde, çeşitli ambalaj ürünlerinde, kalemlerde, kırtasiye ürünlerinde vb. kullanılır. Tavsiye edilen katkı oranı %0,2-1'dir. EC94/62 ile uyumludur [14].

2.6. Çalışma Kapsamında Kullanılan Polipropilen İle Uyumlu Katkı Maddeleri

Polipropilen geri dönüşümünde kullanılacak katkı maddeleri ile orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilmesi hedeflendiğinden çalışma kapsamında en çok fayda sağlanacağı öngörülen ve tedarigi diğerlerine göre daha kolay olan şişiriciler, antioksidan, antistatik madde, çilek kokusu, UV stabilizatör, mukavemet artırıcı ve wax katkı maddeleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan hammaddeler Mastcolor ve Maskom firmalarından tedarik edilmiştir.



Şekil 2.14. Çalışmada Kullanılan Katkı Maddeleri

3. KARIŞIM HAZIRLAMA VE ÜRÜN ÜRETİM PROSESİ

3.1. Karıştırma İşlemi

Geri dönüşüme tabi tutulmuş polipropilen ile katkı maddeleri mikserlerde (büyük silolarda) karıştırılır ve homojen hale gelinceye kadar bu karıştırma işlemi devam eder. Hammadde ile katkı maddesi geri dönüşüm hatlarında birleştirilebilir ya da enjeksiyon makinesinde son ürün elde etmeden önce homojen karışım sağlanarak besleme ünitesine gönderilebilir.



Şekil 3.1. Hammadde Karıştırıcı [15]

Karıştırma işleminin homojen şekilde sağlanması enjeksiyonla yapılan üretimler için oldukça önem arz etmektedir. Homojen şekilde dağılmayan katkı maddeleri için sürekli verimlilik sağlanması güçtür.

3.2. Geri Dönüşüm Hattında Yandan Besleme İle Karıştırma İşlemi

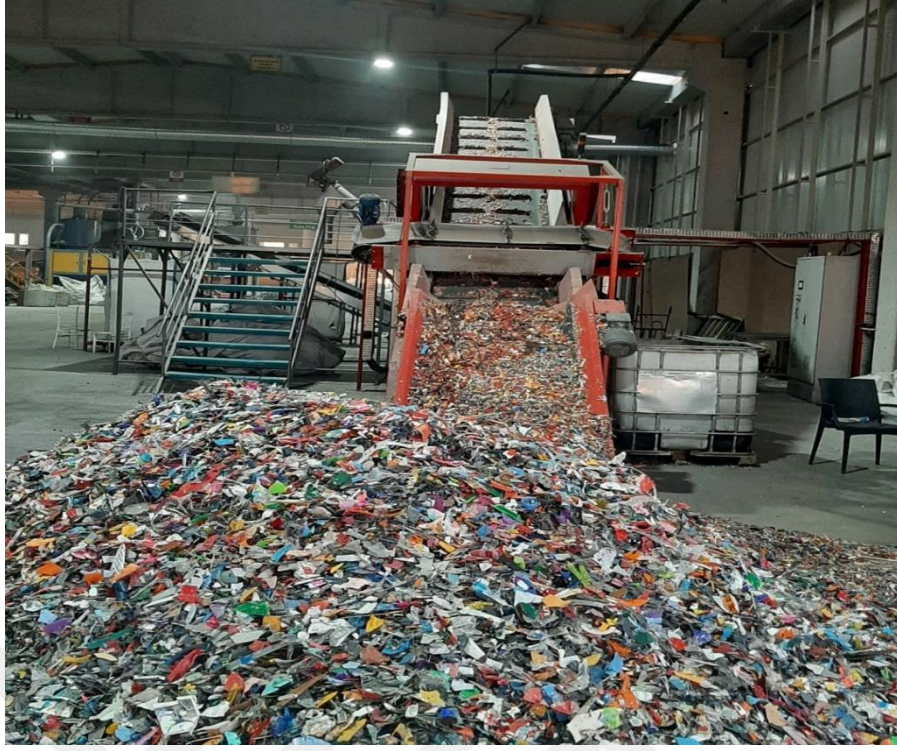
Geri dönüşüme tabi tutulması planlanan polipropilen ile katkı maddeleri mikserlerde karıştırılabileceği gibi geri dönüşüm hatlarında katkı malzemesi besleme alanından prosese dahil edilebilir. Ekstrudere gelen ve eriyik hale geçen polipropilene katkı malzemeleri de katılar ve son ürün tek hammadde halinde yani katkılı polipropilen olarak elde edilir.



Şekil 3.2. Polipropilen (PP) Geri Dönüşüm Hattı



Şekil 3.3. Geri Dönüşüm Hattı Katkı Maddesi Besleme Ünitesi



Şekil 3.4. Geri Dönüşüm Uygulanacak Polipropilen Atık



Şekil 3.5. Geri Dönüşüm Sonunda Elde Edilen Katkılı Granül Hammadde

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tez çalışmasının deneysel kısmında, geri dönüşümden elde edilen polipropilen hammadde ile katkı maddeleri karışımları mikserler (karıştırıcılar) ile hazırlanmış ve elde edilen ürünlerin yoğunluk, eriyik akış hızı, kül tayini, termogravimetrik analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetre testleri gerçekleştirilerek ürün özelliklerindeki etkiler araştırılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler

0,905 g/cm³'lük yoğunluğa, 5 g/10 dk'luk eriyik akış hızına (MFR), % 0'lık kül miktarına, 170 °C erime noktasına (Tm₂^a (°C)) ve polimer ağırlığının %5'ini kaybettiği sıcaklık değeri 376 °C değerlerine sahip hammadde (Orijinal polipropilen) Modalife Plastik aracılığı ile Petkim A.Ş.'den tedarik edilmiştir. 0,89 g/cm³'lük yoğunluğa, 8,31 g/10 dk'luk eriyik akış hızına (MFR), % 5,95'lik kül miktarına, 129,8 °C erime noktasına (Tm₁^a (°C)) ve polimer ağırlığının %5'ini kaybettiği sıcaklık değeri 392 °C değerlerine sahip hammadde (Katkısız geri dönüşüm polipropilen) Modalife Plastik Geri Dönüşüm Fabrikası üzerinden temin edilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan şişirici (Mastcolor), antioksidan (A0, 10PE Mastcolor), antistatik (Mastcolor), çilek kokusu (Mastcolor), mukavemet artırıcı (MK 0960 – E Maskom), UV stabilizatör (Mastcolor) ve wax (Mastcolor) katkıları Modalife Plastik aracılığı ile tedariki sağlanmıştır.

4.2. Enjeksiyon Makinesinde Polimer Karışımları İle Ürün Üretimi

Orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilme sürecinde ki bir diğer adım geri dönüşüm polipropilen ile katkı maddelerini homojen bir karışım halinde birleştirme işlemi karıştırıcılar (mikserler) sayesinde yapılabilmektedir.

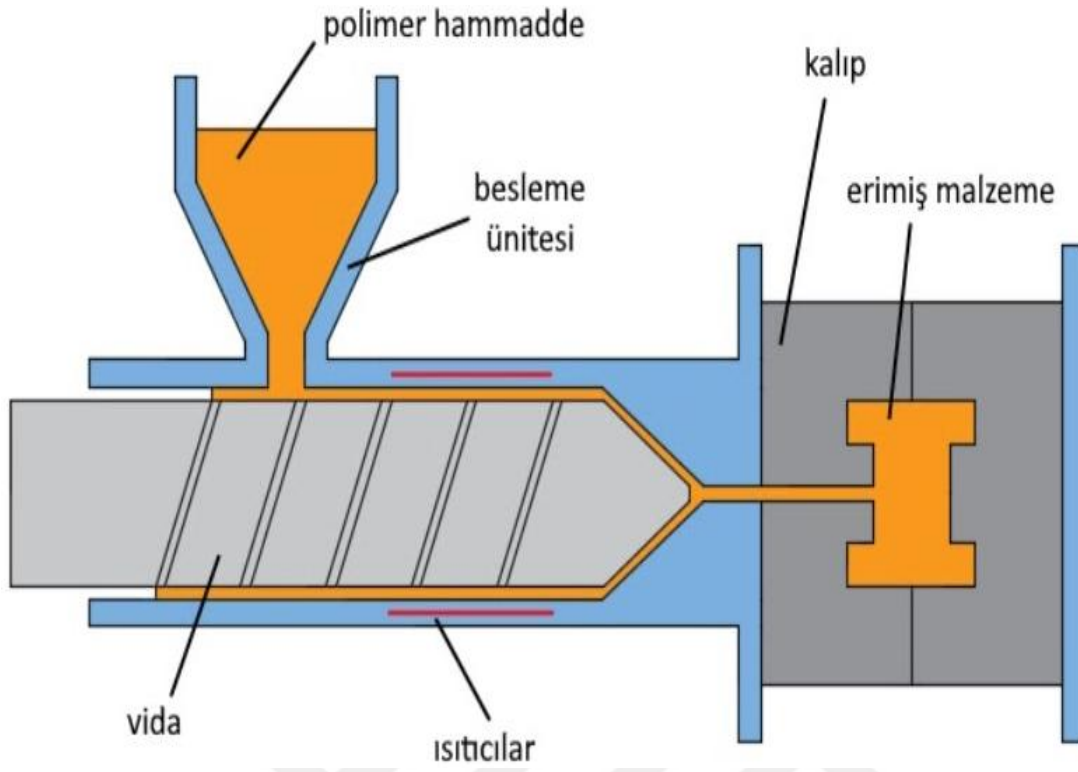
Karıştırma işleminin tamamlanmasından sonra, homojen hale geldiği gözlemlenen hammadde enjeksiyon besleme hunisine gönderilir.



Şekil 4.1. Enjeksiyon Besleme Hunisi (Ünitesi)

Besleme hunisine yerleştirilen hammadde sonsuz vidaya aktarılır. Vidanın dönme esnasında oluşturduğu sürtünme ile açığa çıkan sıcaklık, vidada bulunan ısıtıcılar ve basınç sayesinde hammadde erimeye başlar. Eriyik hale gelen hammadde vida boşluğuna ulaşır, kalıba itilmek için hazır duruma gelir. Vida boşluğunda oluşan plastik vidayı geri iter, silindire alınan malzeme miktarının ayarlanması ile tamamlanır. Kalıbın erkek ve dişi plakaları birbiri üzerine yapışır. Sıcaklık ve basınç ile eriyik hale gelen plastik malzeme meme yardımıyla kalıp boşluğuna gönderilir. Ütüleme ile kalıba gönderilmiş plastik eriyiğin basınç ile kalıp boşluğunu iyice doldurması sağlanır. Soğutma ile kalıba gönderilen parçanın sertleşmesi sağlanır. Soğutma işlemi genelde kalıptaki su kanalları ile sağlanır. Erkek ve dişi kalıp birbirinden ayrılır ve iticiler vasıtası ile parça kalıptan alınır [16].

Elde edilen katkılı ürünler ile katkısız granülden üretilen ürünlerin kıyaslaması farklı analiz yöntemlerine göre değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2. Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi [16]



Şekil 4.3. Modalife Plastik Enjeksiyon Makinesi



Şekil 4.4. Enjeksiyon Makinesinden Alınan Ürünlere Ait Parçalar



Şekil 4.5. Enjeksiyon Makinesinden Alınan Numunelerin Analiz İçin Hazırlanması

4.3. Nihai Ürün Kalite Kontrol

Farklı katkı maddeleri ile geri dönüşümden elde edilen polipropilen granüller fiziksel olarak karıştırıcıda homojen olarak karıştırılmakta ve enjeksiyon makinesine beslenmektedir. Bu karışımlar (elde edilen ürünler) katkısız halde ve katkılı halde bazı testlere tabi tutulmakla birlikte istenilen özellikleri karşılayıp karşılayamadığı kontrol edilmektedir.

4.3.1. Yoğunluk testi

Kalite parametrelerinden olan yoğunluk testi çeşitli yöntemlerle (gravimetrik-kaldırma kuvveti, gravimetrik-yer değiştirme, piknometre, dijital yoğunluk ölçer) yapılmaktadır. Gerçekleştirilen yoğunluk ölçümleri sayesinde, ölçümü yapılan hammadde içeriğinde yabancı madde olup olmadığı tespit edilebilmektedir. Hammaddenin homojenlik düzeyinin belirlenmesinde en etkili testlerdendir. Yoğunluk testi, numune tercihi ve üretimde kullanılacak numunenin belirlenmesi noktasında en ucuz ve etkili yöntemdir. Alınan numuneler küçük parçalar haline getirilerek ağırlığı önce hava ortamında sonra da yoğunluğu belirli olan alkol ortamında test edilerek yoğunluğu hesaplanır. Yoğunluk testlerinde tek bir numune yerine birkaç numune üzerinde testler gerçekleştirilerek sonuçların devamlılığı kontrol edilir ve bu değerlerin ortalaması alınır [16]. Yoğunluk testine ait formül aşağıdaki şekildedir:

$$\rho = A / A-B * (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L \quad (4.1)$$

ρ : Numuneye ait yoğunluğu

A: Numunenin ait havadaki ağırlığı

B: Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı

ρ_0 : Yardımcı sıvının yoğunluğu

ρ_L : Havanın yoğunluğu [17]



Şekil 4.6. Yoğunluk Ölçümü Test Cihazı

4.3.2. Kül testi

Bir malzemenin içeriğinde dolgu maddesi olup olmadığını belirlemek için malzeme kül testine tabi tutulur. Belirli miktarlarda alınan ve tartımı gerçekleştirilmiş olan numuneler ıslak olmayan ve kuru haldeki krozelere (yuvarlak tabanlı koni şeklindeki kap) yerleştirilir. Krozelere yerleştirilen malzeme fırında 550 °C 'de yakılır. Bu durum istenilen özellik ve detaya göre belirlenir. Bir (1) saat ya da iki (2) saat şeklinde gerçekleştirilen testlerden sonra numuneler soğuması sağlanmak üzere desikatöre bırakılır. Isıl işlemten sonra kalan yüzdelik miktara göre malzeme içeriğindeki dolgu maddesi miktarı belirlenir [18]. Kül testine ait formül aşağıdaki şekildedir:

Plastik Malzeme Ağırlığı: $M_1 - M_0$

Yanmış Malzeme Miktarı: $M_2 - M_0$

$$\text{Katkı Oranı: } [(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)] * 100 \quad (4.2)$$

Soğumuş ve Sterilize Edilmiş Kroze Ağırlığı: M_0

Krozelere 1 Gram Numune Konularak Tartılır: M_1

Fırına Atılıp Belirli Bir Süre Bekletildikten Sonra Desikatöre Alınıp Soğutulan ve İçerisinde Numune Bulunan Kroze Ağırlığı: M_2



Şekil 4.7. Kül Fırını Test Cihazı

4.3.3. Melt flow index (MFI) testi

Plastik bir malzemenin yüksek sıcaklıklarda belirli bir yük altında akışkanlığını belirleyen bir analiz yöntemidir. Birçok alanda kullanılmasının yanı sıra geri dönüşüm endüstrisinde plastik malzemelerin akışkanlık değerinin belirlenerek iş ve işlemlerin bu değerlere göre hareket edilmesi hususunda oldukça önemli bir yer edinmektedir. Üretim hattından çıkan ürünlerde katkılı ve katkısız olanların, farklı bileşiklere sahip olan numunelere ait değerlerin kıyaslanması aşamasında oldukça faydalı bir kalite test cihazıdır. Testin verimli olabilmesi için numunelerin küçük partikül boyutlarında ve eritilebilir olmaları gerekmektedir. Belirli bir zaman içerisinde belirli bir kütle altında akan plastik miktarı akışkanlık değerini göstermektedir. Numulere ait sonuçların doğruluğunu teyit edebilmek adına aynı numuneye üç (3) test uygulanır ve bu testlerin ortalaması alınarak sürece devam edilir. Polipropilenler, polietilenler, polikarbonatlar, polistirenler vb. hammaddeler MFI'da test edilebilmek için uygun malzeme türleridir [19]. MFR (Erime Akış Hızı) ve MVR (Erime Hacimsel Akış Hızı) formülü aşağıdaki şekildedir:

$$\text{MFR}(T, m_{\text{nom}}) = 600m / t \quad (4.3)$$

T: Test Sıcaklığı (°C)

m_{nom} : Nominal Yük (Kg)

m: Kesim Yapılan Parçaların Ort. Kütlesi (g)

600: Saniyede Elde Edilen Gram Değerini 10 Dakikada Grama Dönüştürür

t: Kesme Zaman Aralığı (s)

$$\text{MVR}(T, m_{\text{nom}}) = A600l / t \quad (4.4)$$

T: Test Sıcaklığı (°C)

m_{nom} : Nominal Yük (Kg)

t: Ölçüm Sürelerinin Ortalama Değeri (s)

A: Silindir ve Piston Kafasının Ortalama Kesit Alanı Değeri (cm²)

l: Önceden Belirlenmiş ve Piston Tarafından Belirlenmiş Mesafelerin Ort. Değ. (cm) [20]



Şekil 4.8. Eriyik Akış İndeksi Testi (MFI)

Polipropilenlerin ve katkılı geri dönüşüm PP hammaddelerin MFI testleri 230 °C sıcaklıkta, 30 s kesme aralığında ve 2,16 kg ağırlıkta olacak şekilde gerçekleştirilir.

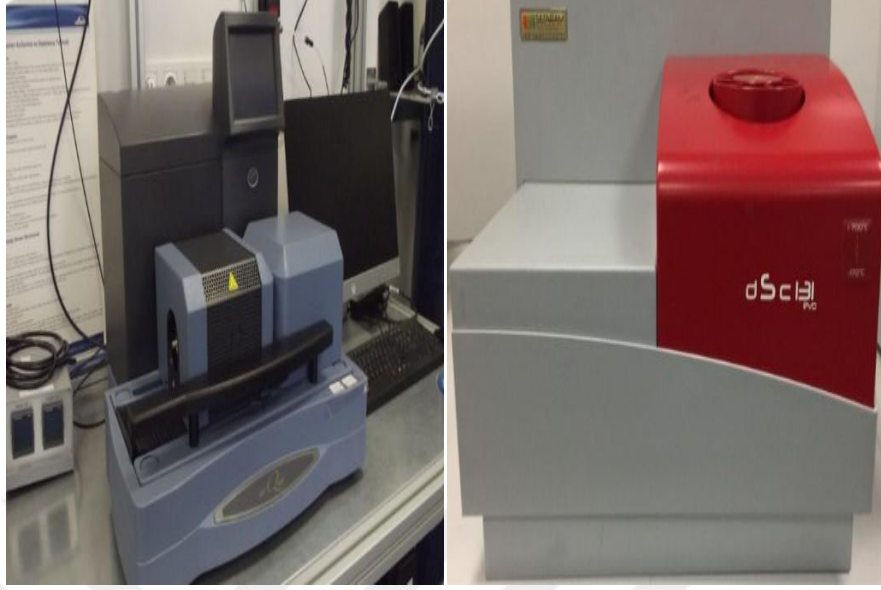
4.3.4. TGA-DSC testleri

Simultane Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ve Termogravimetrik Analiz Cihazı ile malzemelerin ağırlık değişimi ve ısı akışı eş zamanlı olarak sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir.

Tablo 4.1. TGA-DSC Termal Analiz Tekniklerinin Karşılaştırılması [21]

| Ölçülen Özellik | Teknik | Notasyon |
|---------------------------------|----------------------------|----------|
| Kütle/değişimi ($m/\Delta m$) | Termogravimetrik Analiz | TGA |
| Sıcaklık farkı (ΔT) | Diferansiyel Termal Analiz | DTA |

Petrokimya, gıda, elektronik, baskı, imalat, polimer, cevherler, inorganik ve organik katı kimyasal maddeler vb. çok çeşitli endüstriyel alanlarda maddelerin fiziksel ve termodinamik özellik belirleme amaçlı analizler (bozulma sıcaklığı, faz değişimi, kütle kaybı gibi) yapılabilmektedir. Böylece malzemelerin termal kararlılıkları, polimer-polimer veya polimer-katkı maddesi etkileşimleri, malzeme içindeki nem ve uçucu bileşenler ya da katkı maddelerinin oranları belirlenmektedir [22]. Termogravimetrik analiz ile bir numunenin kütesinde artan sıcaklıkla birlikte bozunmalar oluşur. Yüksek sıcaklıklar sayesinde kimyasal ve fiziksel bağlar kopar ve bu sebeple ağırlık değişimi meydana gelir. Bozunmalar sırasında meydana gelen ağırlık değişimlerini sıcaklık ve zamana bağlı olarak gözlemleyebilmek mümkündür [21, 22]. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile numunelerin ısı kapasiteleri ölçülür, sıcaklık ile nasıl değiştiği gözlemlenir. Numune ısıtılır, soğutulur ya da belirli bir sıcaklıkta tutulur ve bu aşamalarda ısı kapasitesindeki değişiklikler ısı akışındaki değişiklikler olarak takip edilir. Isı akışındaki değişiklikler sayesinde faz değişikliği, erime ve cam geçişi gibi değerler belirlenebilir.



Şekil 4.9. TGA (Çankırı Karatekin Üni. Mer. Lab.) ve DSC Test Cihazları

5. KALİTE KONTROL TEST SONUÇLARI

Tablo 5.1. Yoğunluk, Erime Akış İndeksi, Kül Tayini Analiz Sonuçları

| Örnekler | Yoğunluk (g/ cm ³) | MFR (g/ 10 dk) | Kül |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------|------|
| PP Orijinal | 0,905 | 5 | 0 |
| PP Katkısız | 0,89 | 8,31 | 5,95 |
| % 1 Şişirici | 0,94 | 10,26 | 4,58 |
| % 2 Şişirici | 0,92 | 11,43 | 5,67 |
| % 3 Antioksidan | 0,95 | 13,45 | 2,95 |
| % 3 Antistatik | 0,94 | 10,84 | 6,78 |
| % 3 Çilek Kokusu | 0,94 | 10,02 | 2,52 |
| % 3 Mukavemet Artırıcı | 0,93 | 9,56 | 5,98 |
| % 3 UV Stabilizatör | 0,95 | 10,83 | 5,18 |
| % 3 Wax | 0,94 | 13,88 | 3,89 |
| % 6 Antioksidan | 0,93 | 12,56 | 3,64 |
| % 6 Antistatik | 0,95 | 12,25 | 7,12 |
| % 6 Çilek Kokusu | 0,96 | 10,16 | 2,74 |
| % 6 Mukavemet Artırıcı | 0,94 | 9,61 | 6,87 |
| % 6 UV Stabilizatör | 0,95 | 11,45 | 6,15 |
| % 6 Wax | 0,95 | 17,92 | 5,81 |

^a MFI testleri 230 °C sıcaklıkta, 30 s kesme aralığında ve 2,16 kg ağırlıkta gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2. Termal Gravimetrik Analiz Sonuçları

| Örnekler | Td5 ^a (°C) | Td10 ^a (°C) | Td50 ^a (°C) | Yc (700 °C) |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| PP Orjinal | 376 | 394 | 436 | 1.8 |
| PP Katkısız | 392 | 412 | 451 | 3.27 |
| % 1 Şişirici | 393 | 412 | 451 | 2.85 |
| % 2 Şişirici | 398 | 415 | 453 | 6.60 |
| % 3 Antioksidan | 397 | 415 | 452 | 6.20 |
| % 3 Antistatik | 402 | 419 | 452 | 6.23 |
| % 3 Çilek Kokusu | 393 | 413 | 452 | 5.47 |
| % 3 Mukavemet Artırıcı | 393 | 413 | 452 | 4.83 |
| % 3 UV Stabilizatör | 392 | 413 | 452 | 4.05 |
| % 3 Wax | 394 | 413 | 452 | 4.06 |
| % 6 Antioksidan | 390 | 413 | 452 | 5.7 |
| % 6 Antistatik | 398 | 416 | 451 | 6.43 |
| % 6 Çilek Kokusu | 395 | 412 | 453 | 7.39 |
| % 6 Mukavemet Artırıcı | 392 | 413 | 452 | 6.34 |
| % 6 UV Stabilizatör | 389 | 412 | 453 | 7.45 |
| % 6 Wax | 378 | 407 | 451 | 4.35 |

^a TGA termogramının sıcaklık eğrisine karşı ağırlık kaybından hesaplanmıştır.

^b Katı artığın yüzde char (Yc) içeriği, nitrojen atmosferinde 700 °C'de TGA ile analiz edildi.

Tablo 5.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analiz Sonuçları

| Örnekler | T _{m1} ^a (°C) | T _{m2} (°C) |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| PP Orjinal | - | 170 |
| PP Katkısız | 129,8 | 165,3 |
| % 1 Şişirici | 129 | 165 |
| % 2 Şişirici | 129,8 | 166,9 |
| % 3 Antioksidan | 130,5 | 166,1 |
| % 3 Antistatik | 129,8 | 166,1 |
| % 3 Çilek Kokusu | 129,8 | 166,1 |
| % 3 Mukavemet Artırıcı | 129 | 166,1 |
| % 3 UV Stabilizatör | 130,5 | 166,1 |
| % 3 Wax | 130,5 | 166,1 |
| % 6 Antioksidan | 130,5 | 166,1 |
| % 6 Antistatik | 129,8 | 165,3 |
| % 6 Çilek Kokusu | 129,8 | 165,3 |
| % 6 Mukavemet Artırıcı | 129 | 165,3 |
| % 6 UV Stabilizatör | 130,5 | 164,5 |
| % 6 Wax | 128,2 | 165,3 |

^a DSC termogramı sıcaklık eğrisine karşı ısı akışı değişiminden hesaplanmıştır. Sıcaklık artış hızı 10 °C/dk olup, ölçümler inert atmosferde (N₂) gerçekleştirildi.

6. BULGULAR VE TARIŞMA

6.1. Yoğunluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen tüm katkılı ve katkısız hammaddelerin yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Yapılan testler sonucunda elde edilen verilere göre katkılı hammaddeler arasında $0,92 \text{ g/cm}^3$ ile orijinal PP hammaddeye en yakın değer %2 şişirici katkılı geri dönüşüm hammadde olarak belirlenmiştir. Katkısız geri dönüşümden elde edilen PP granül'e ait değer $0,89 \text{ g/cm}^3$ olmasından dolayı %2 şişirici katkılı geri dönüşüm hammadde ile arada büyük farklar olmadığı ve üretim esnasında yoğunluk bakımından büyük değişiklikler olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Katkısız geri dönüşüm hammadde yoğunluğuna göre eklendikten sonra en büyük değişim gösteren katkı maddeleri $0,95 \text{ g/cm}^3$ ile %3 antioksidan, $0,95 \text{ g/cm}^3$ ile %3 UV stabilizatör, $0,95 \text{ g/cm}^3$ ile %6 antistatik, $0,95 \text{ g/cm}^3$ ile %6 UV stabilizatör, $0,95 \text{ g/cm}^3$ ile %6 wax, $0,96 \text{ g/cm}^3$ ile %6 çilek kokusu olmuştur. İçeriğinde bulunan yabancı madde miktarını belirten bu testler sayesinde üretimde ve son ürün kullanımında meydana gelebilecek durumlar kısmen belirlenebilmektedir. Orijinal hammadde yoğunluğundan yani polipropilen için $0,905 \text{ g/cm}^3$ 'den oldukça uzaklaşan değerler vardır ve bu değere sahip katkılı polipropilen hammaddenin üretimi ile son ürün kullanımı belli başlı sıkıntılara sebep olacaktır.

6.2. MFR Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Erime akış özellikleri incelendiğinde katkısız geri dönüşüm hammaddenin (MFR: $8,31 \text{ g/10 dk}$) orijinal hammadde (MFR: 5 g/10 dk) özelliğine daha yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum katkısız geri dönüşüm hammaddelerde çeşitlilik gösterecektir, yani bu durumun her katkısız geri dönüşüm hammadde de aynı özelliği sergileme durumu kesin olarak değerlendirilmemelidir. Katkılı geri dönüşüm hammaddeler arasında en düşük MFR değerlerine sahip hammaddeler %3'lük ve %6'lık mukavemet artırıcılarla sağlanmıştır. Yine katkılı geri dönüşüm hammaddeler arasında en yüksek MFR değerlerine sahip hammaddeler %3'lük ve %6'lık wax katkıları ile sağlanmıştır.

Katkısız geri dönüşüm hammaddeye ait erime akış hızının orijinal hammadde akış hızına yakın değerlere sahiptir fakat, katkı eklenildiğinde orijinal hammadde

değerlerinden uzaklaşmaktadır. Bu durum katkı maddelerinin erime akış hızlarına yüksek oranda etki ettiğini göstermekte ve akış hızlarını artırdığı gözlemlenmektedir.

Hazırlanan katkılı polipropilen numunelerin, orijinal polipropilen malzemeye göre üstün erime akış hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Üretimi kolaylaştırmak için her ne kadar zaman zaman MFI arttırıcı denilen katkıları kullanılsa da teste sokulan ve katkısız halinin erime akış hızının orijinal hammadde akış hızından yüksek değerlere sahip olan polipropilen hammadde için böylesi bir ihtiyaç söz konusu değildir. Molekül ağırlığı düşük olan ve erime akış hızı çok yüksek olan malzemelerde üretim kolaylaşır fakat bununla birlikte degradasyon meydana gelir. Üretilen ürün özelliklerinde, degradasyon sonucu yüksek sıcaklıkta gevreklik ve kırılabilirlik durumu artar.

6.3. Kül Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hammadde içeriğinde dolgu maddesi olup olmadığını belirlemek için malzemelerin tabii tutulduğu kül testi sonuçları ele alındığında; katkısız PP geri dönüşüm hammaddeye göre artış ve azalışlar gözlemlenmiştir. Katkısız PP geri dönüşüm hammaddenin kül miktarı %5,95 olarak hesaplanmıştır ve orijinal hammadde de kül miktarı %0 olduğundan içeriğinde dolgu olduğu söylenebilmektedir.

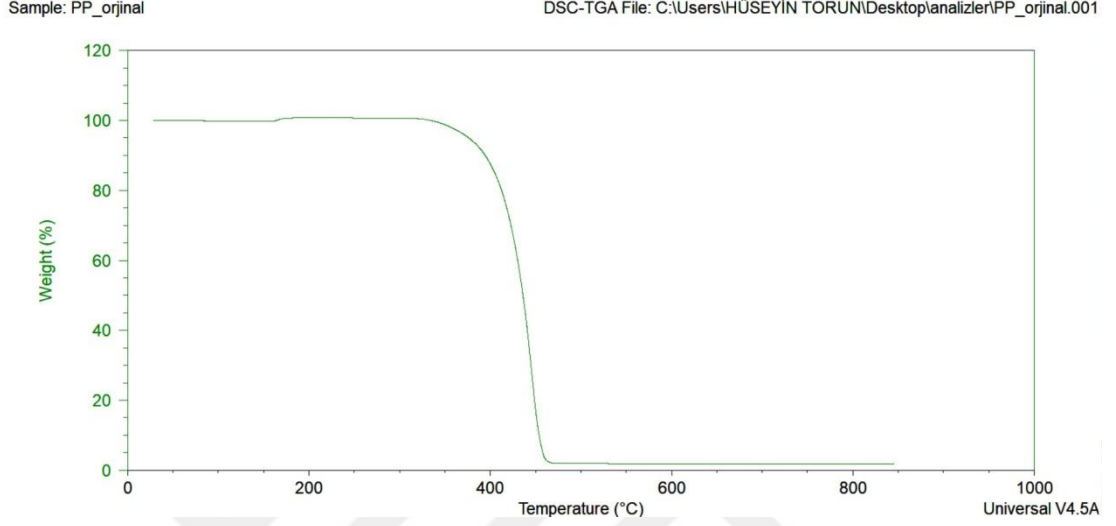
Minimum dolgu yüzdesine sahip katkı %3 çilek kokusu olurken (Kül yüzdesi: %2,52), maksimum dolgu yüzdesine sahip katkı %6 antistatik (Kül yüzdesi: %7,12) olmuştur. Kül miktarının fazla olması sektörde hoş karşılanmayan ve tercih edilmeyen durumlardandır. Kül miktarı arttıkça hammadde kalitesinin düştüğü ifade edilmektedir. Diğer katkılardan en yüksek kül miktarları ise sırasıyla %6 mukavemet arttırıcı (Kül yüzdesi: %6,87), %3 antistatik (Kül yüzdesi: %6,78), %6 UV stabilizatör (Kül yüzdesi: %6,15)' de olduğu belirlenmiştir.

Isıl işlemde kalan yüzdeler kül miktarına göre malzeme içeriğindeki dolgu maddesi miktarı belirlenmiştir ve katkıları hakkındaki dolgu miktarı kıyaslamaları bu test sonuçlarına değerlendirilmiştir.

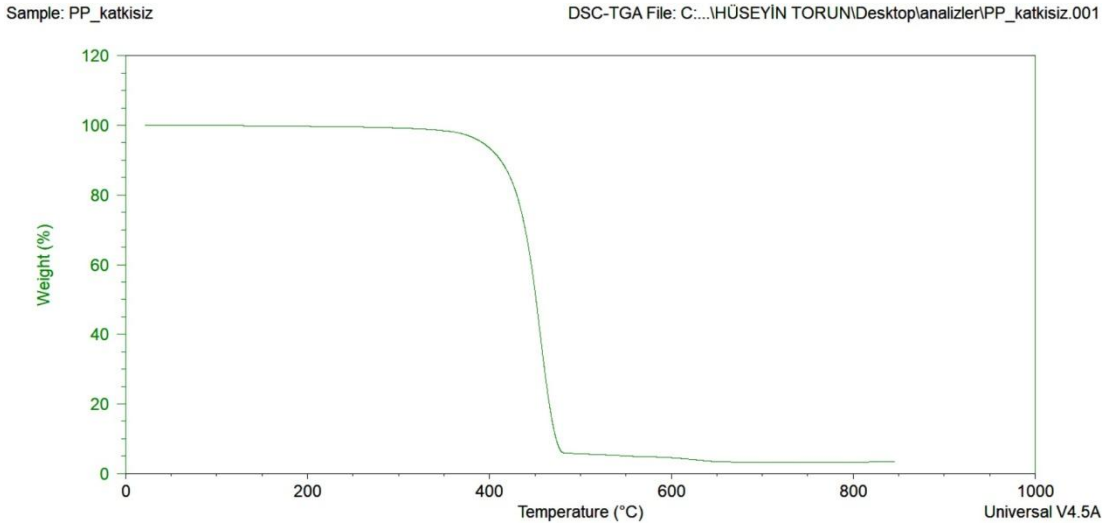
Yoğunluk, Melt Flow Index ve Kül Testleri Modalife Plastik Polipropilen Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

6.4. TGA-DSC Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Katkıların ağırlık değişimi ve ısı akışı eş zamanlı olarak gözlemleyebilmek için simultane diferansiyel taramalı kalorimetre ve termogravimetrik analiz cihazı ile sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür [20,21].



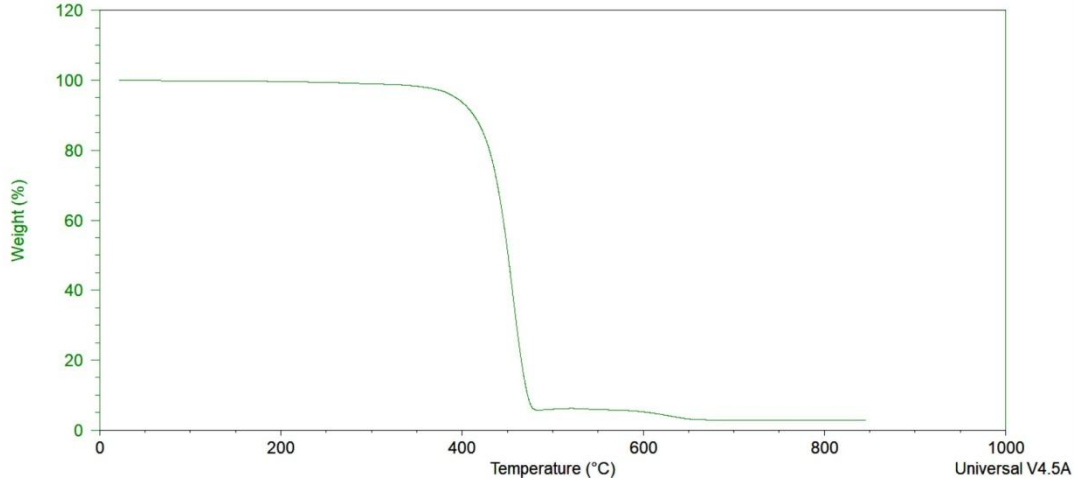
Şekil 6.1. Orijinal PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi



Şekil 6.2. Katkısız Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %1Şişirici

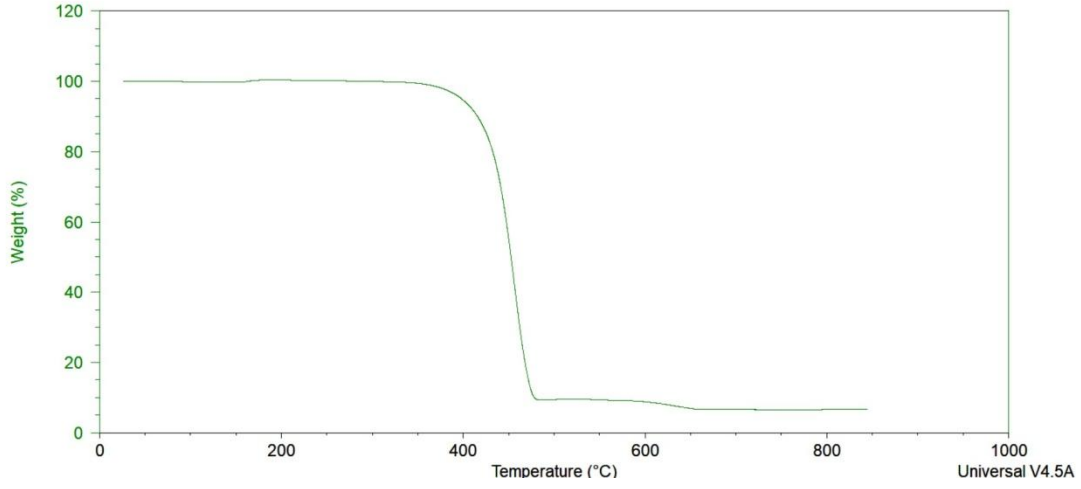
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%1Şişirici.001



Şekil 6.3. %1 Şişirici Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %2Şişirici

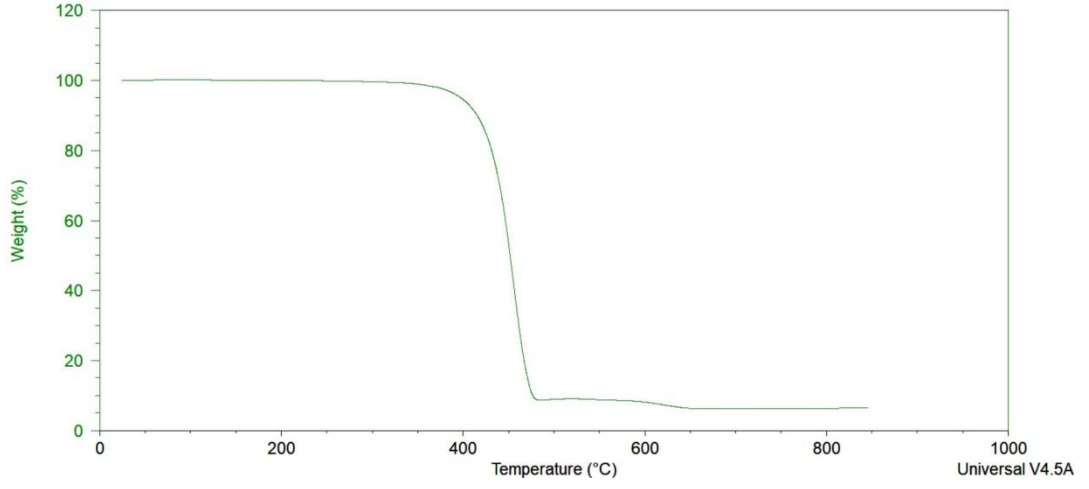
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%2Şişirici.001



Şekil 6.4. %2 Şişirici Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %3Antioksidan

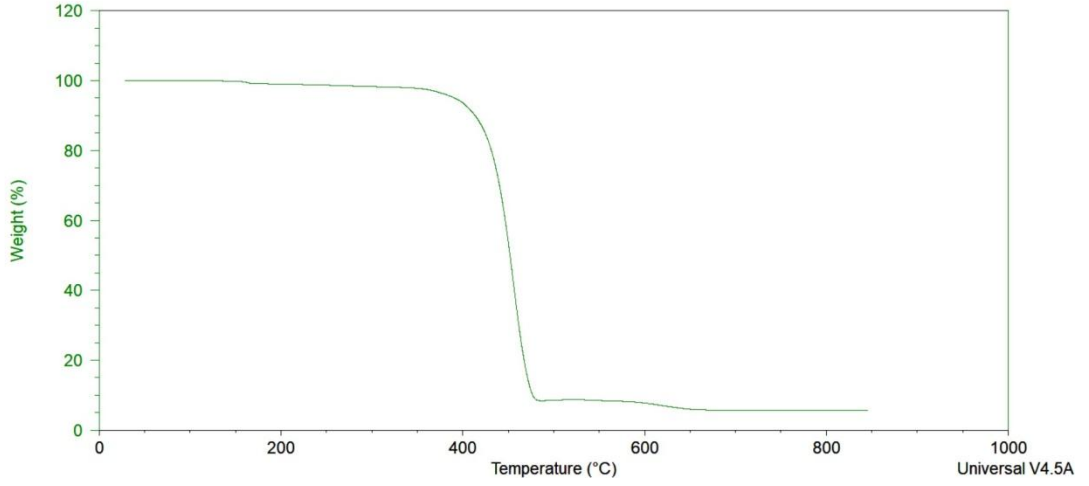
DSC-TGA File: C:\...\\Desktoplanalizler\\%3Antioksidan.001



Şekil 6.5. %3 Antioksidan Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %6Antioksidan

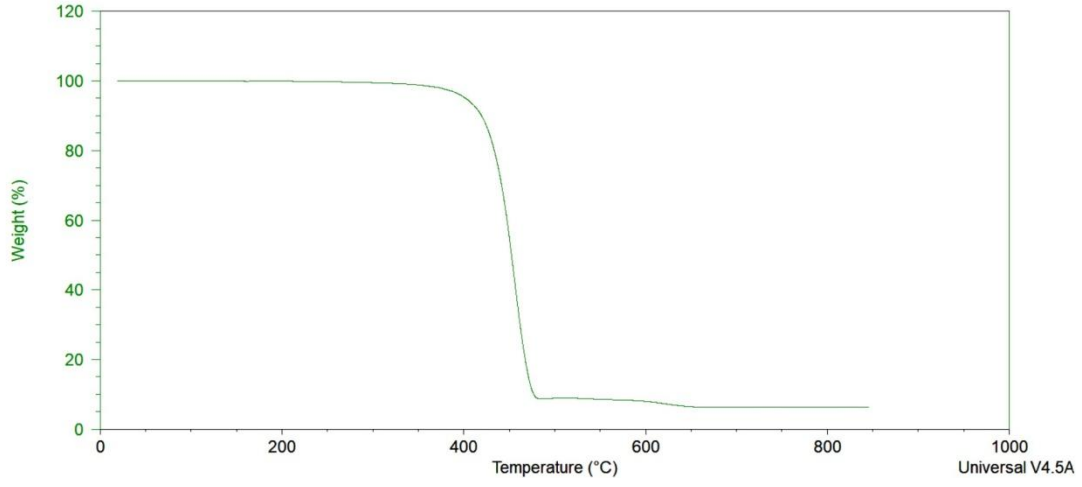
DSC-TGA File: C:\...\\Desktoplanalizler\\%6Antioksidan.001



Şekil 6.6. %6 Antioksidan Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %3Antistatik

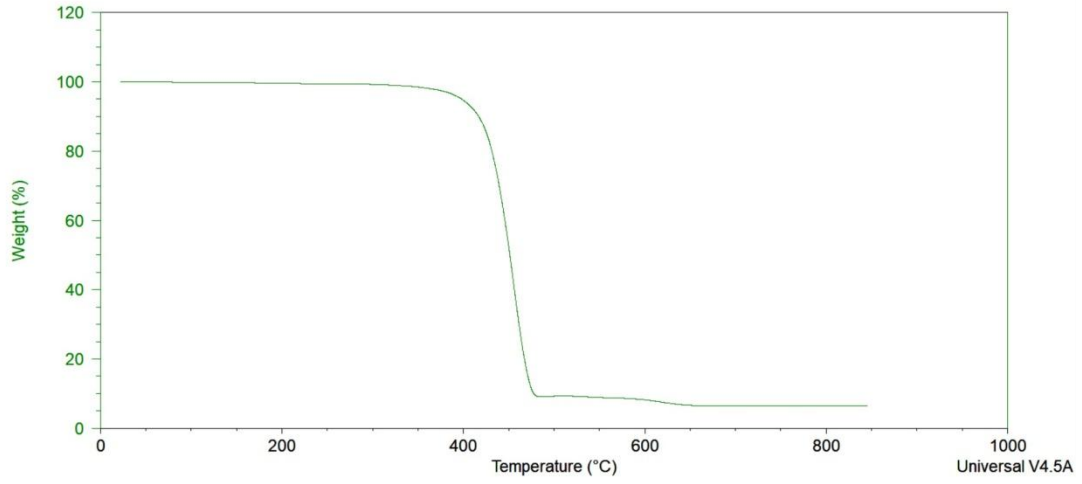
DSC-TGA File: C:\...\\Desktoptanalizler\\%3Antistatik.001



Şekil 6.7. %3 Antistatik Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %6Antistatik

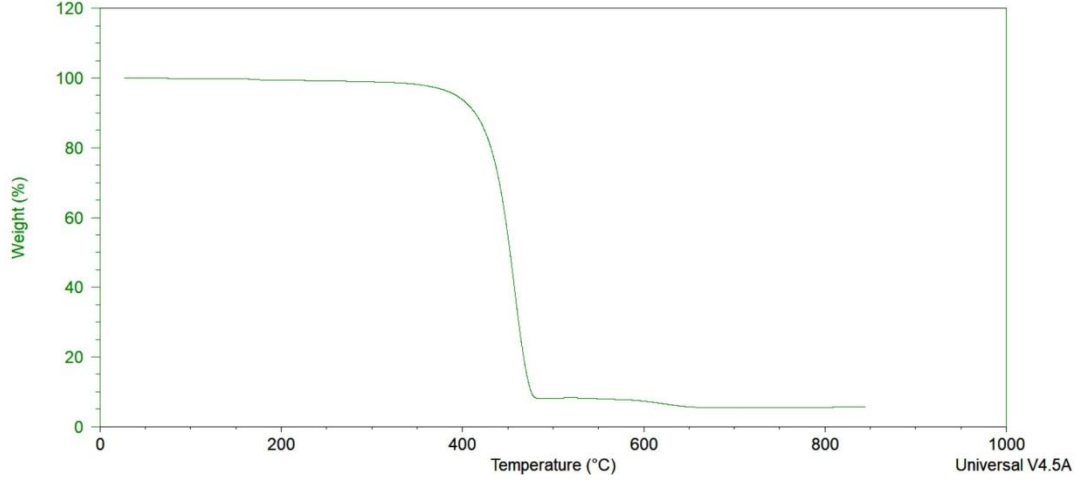
DSC-TGA File: C:\...\\Desktoptanalizler\\%6Antistatik.001



Şekil 6.8. %6 Antistatik Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %3Çilek

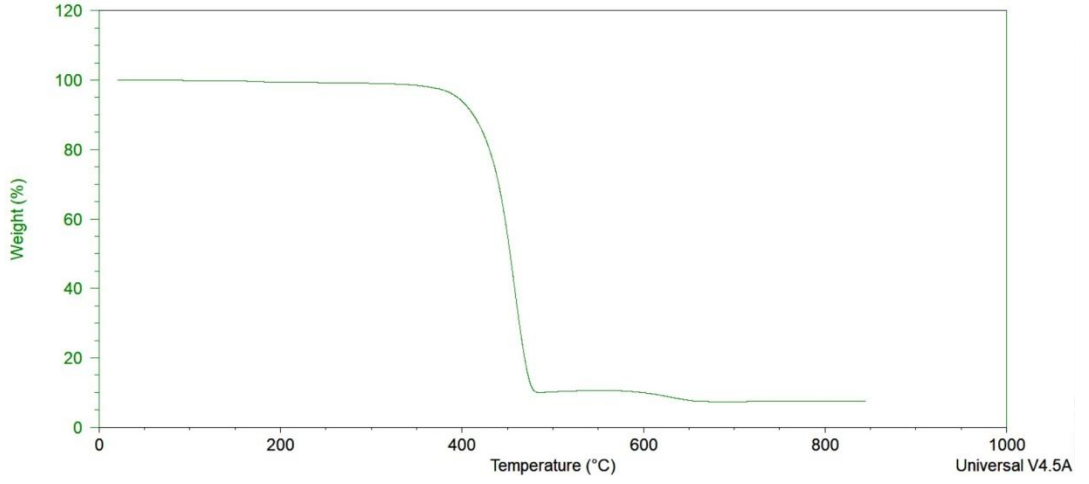
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%3Çilek.001



Şekil 6.9. %3 Çilek Kokusu Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %6Çilek

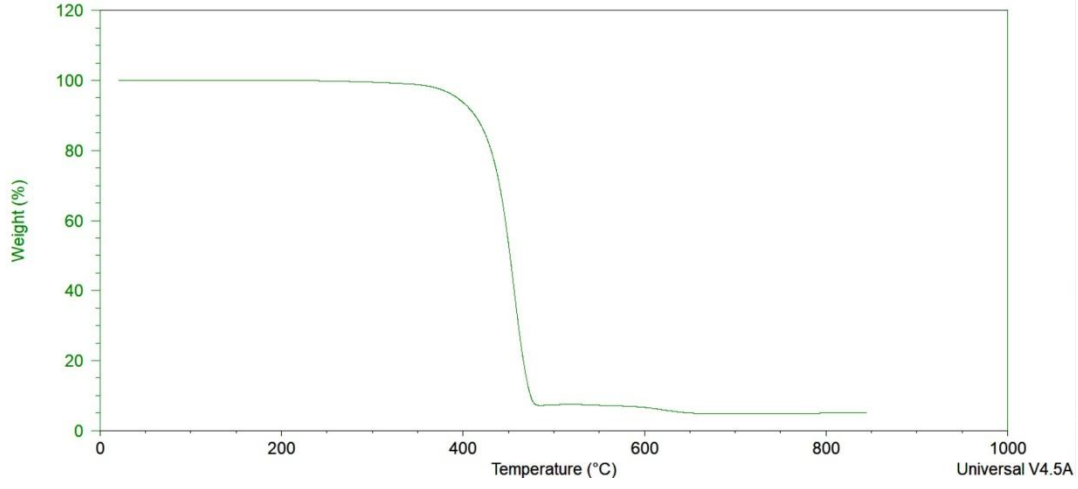
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%6Çilek.001



Şekil 6.10. %6 Çilek Kokusu Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %3Mukavemet_artirici

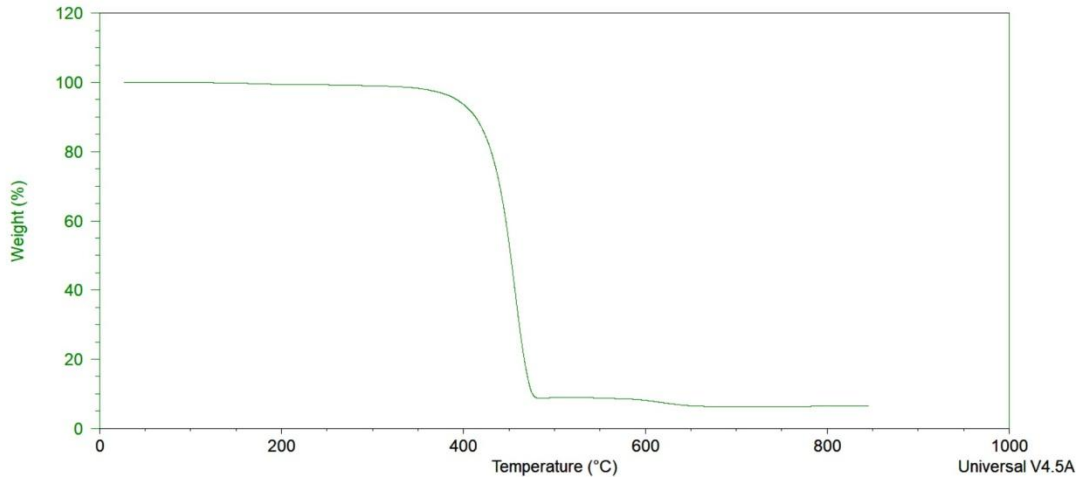
DSC-TGA File: C:...lanalizler\%3Mukavemet_artirici.001



Şekil 6.11. %3 Mukavemet Artırıcı Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %6Mukavemet_artirici

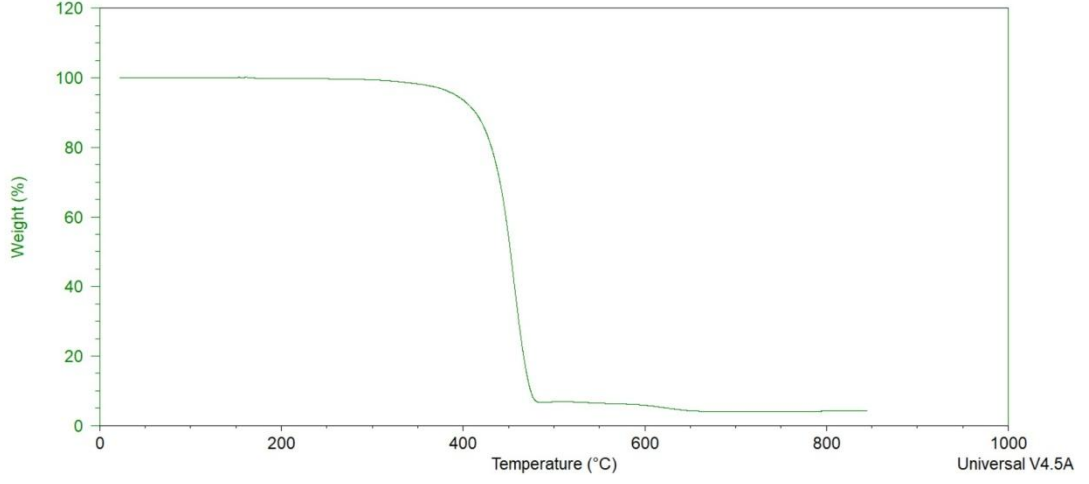
DSC-TGA File: C:...lanalizler\%6Mukavemet_artirici.001



Şekil 6.12. %6 Mukavemet Artırıcı Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %3UV

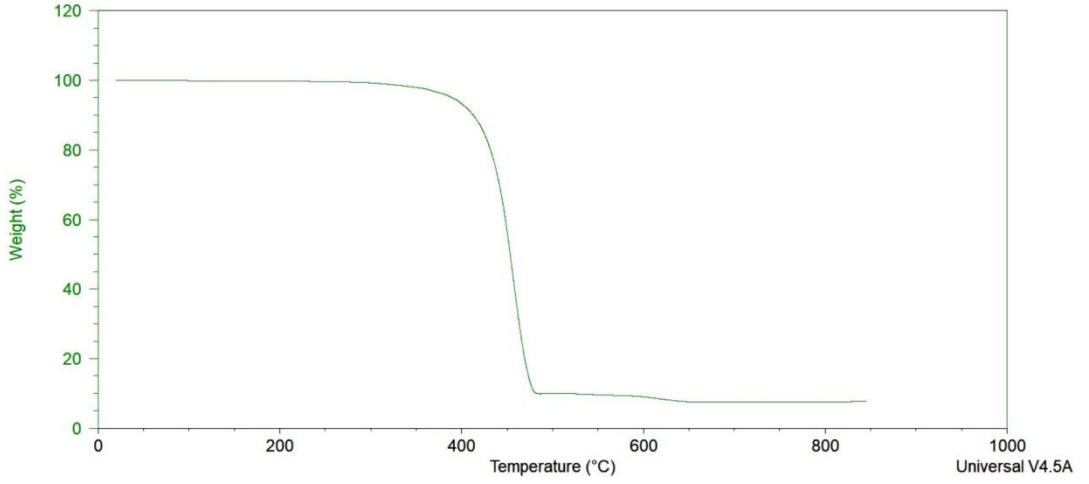
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%3UV.001



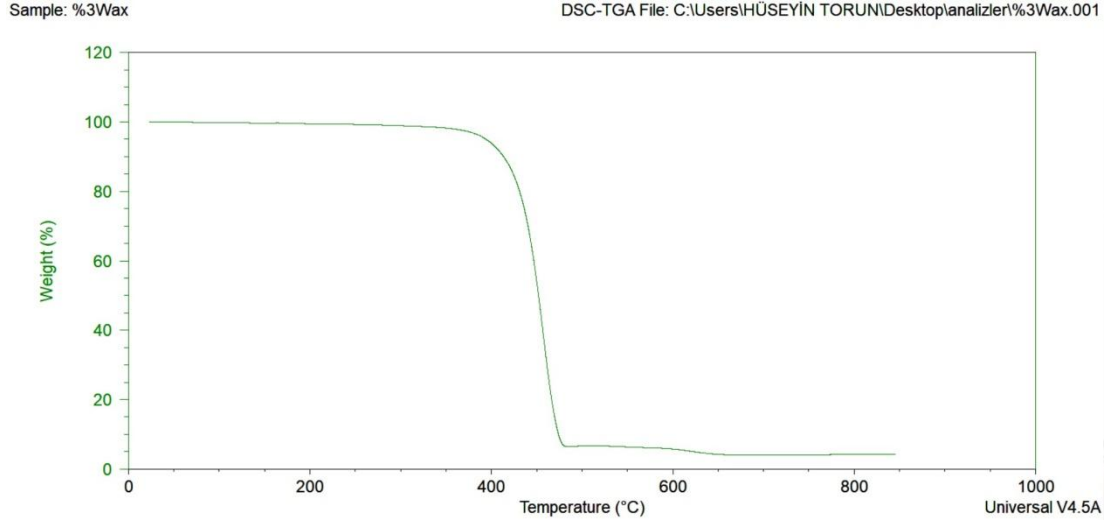
Şekil 6.13. %3 UV Stabilizatör Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Sample: %6UV

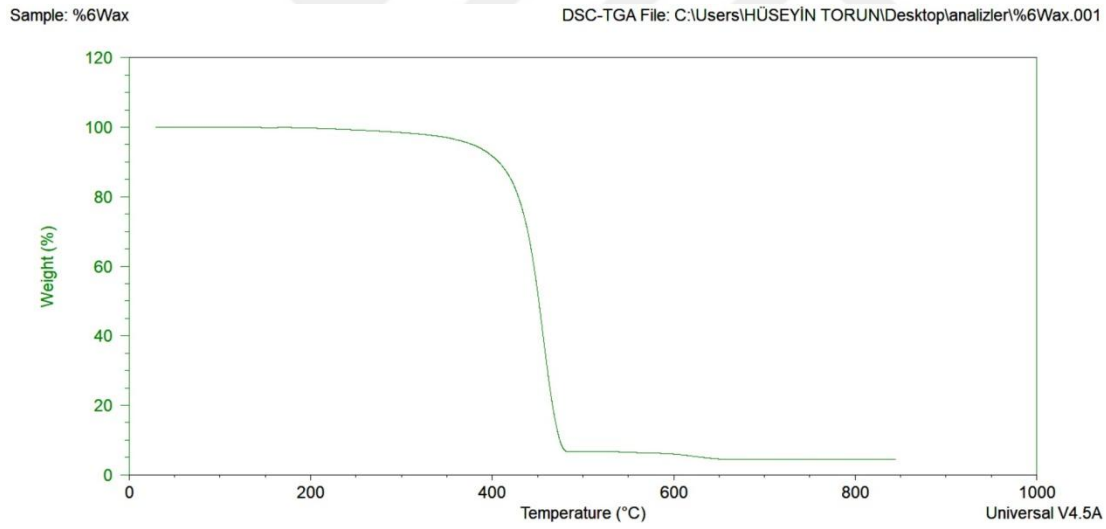
DSC-TGA File: C:\Users\HÜSEYİN TORUN\Desktop\analizler\%6UV.001



Şekil 6.14.%6 UV Stabilizatör Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi



Şekil 6.15. %3 Wax Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi



Şekil 6.16. %6 Wax Katkılı Geri Dönüşüm PP Hammadde TGA-DSC Eğrisi

Yapılan TGA-DSC testlerinde sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen ağırlık değişimlerinde ve ısı akışı değişimlerinde katkıli hammaddelerin katkısız hammaddeye göre küçük oranlarda iyileşme gösterdiği söylenebilmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, plastik malzeme üretiminde, harcanan enerji miktarı ve artan üretim maliyetlerinden dolayı, endüstriyel çevrelerin geri dönüştürülmüş plastiklere yönelmeleri üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda polipropilen geri dönüşümünde kullanılabilir katkı maddeleri ile orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilmesi üzerine çalışma yapılmıştır.

Çalışmada tek tip geri dönüşümlü polipropilen kullanılarak katkılar ile sergilediği özellikler değerlendirilmiştir. Şişirici, antioksidan, antistatik, çilek kokusu, mukavemet artırıcı, UV stabilizatör, wax çalışma kapsamında kullanılan katkılardır ve katkı yüzdeleri değiştirilerek numuneler alınmıştır. Geri dönüşümlü polipropilen, orijinal polipropilen ve üretim sonucunda elde edilen diğer numuneler yoğunluk, eriyik akış indeksi, kül ve TGA-DSC testlerine tabi tutularak incelenmiştir.

Hammadde ve hazırlanan karışımlarda;

Katkısız geri dönüşüm polipropilen yoğunluk değeri $0,89 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Orijinal hammadde yoğunluk değerine en yakın katkılı hammadde $0,92 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değeri ile %2 şişiricili geri dönüşüm polipropilen olurken, orijinal hammadde yoğunluk değerine en uzak katkılı hammadde $0,96 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değeri ile %2 çilek kokulu geri dönüşüm polipropilen olmuştur.

Kullanılan katkı maddelerinden dolayı erime akış hızı değerlerinde gelişmeler olmuştur. Katkısız geri dönüşüm polipropilen MFR değeri $8,31 \text{ g/10 dk}$ 'dır. Orijinal hammadde MFR değerine en yakın katkılı hammadde $9,56 \text{ g/10 dk}$ MFR değeri ile %3 mukavemet artırıcılı geri dönüşüm polipropilen olurken, orijinal hammadde MFR değerine en uzak katkılı hammadde $17,92 \text{ g/10 dk}$ MFR değeri ile %6 wax katkılı geri dönüşüm polipropilen olmuştur.

Katkısız geri dönüşüm polipropilen kül miktarı % 5,95'dir. Orijinal hammadde kül miktarına en yakın katkılı hammadde % 2,52 kül değeri ile %3 çilek kokulu geri dönüşüm polipropilen olurken, orijinal hammadde kül miktarına en uzak katkılı hammadde % 7,12 kül değeri ile %6 antistatik katkılı geri dönüşüm polipropilen olmuştur.

Farklı oranlarda katkı maddeleri içeren geri dönüşüm polipropilen malzemelerin ısı özellikleri termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiştir. TGA

termogramlarından elde edilen verilere göre polimerlerin ağırlığının %5, %10 ve %50'sini kaybettiği sıcaklık değerleri (T_{d5} , T_{d10} ve T_{d50}) belirlenmiştir. Katkısız ve katkılı tüm geri dönüşüm polipropilen T_{d5} , T_{d10} ve T_{d50} değerlerinin , orijinal hammadde T_{d5} , T_{d10} ve T_{d50} değerlerinden yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Katkıların polimer ile kuvvetli etkileşimler oluşturmasıyla birlikte polimer zincirlerinin hareket alanı daralır, termal bozunma ile meydana gelen ürünlerinin ayrılması engellenir ve bu durumlar degradasyon sıcaklığının artmasına sebep olur [23, 24]. Elde edilen verilere göre polimerlerin ağırlığının %50'sini kaybettiği sıcaklık değeri (T_{d50}) en yüksek olan katkıların %2 şişirici katkılı, %6 çilek kokusu katkılı, %6 UV stabilizatör katkılı geri dönüşüm polipropilen hammaddelerin oldukları görülmüştür.

Farklı oranlarda katkı maddeleri içeren geri dönüşüm polipropilen malzemelerin ısı akışının zamanla nasıl değiştiği diferansiyel taramalı kalorimetre analiz cihazı ile (DSC) ile belirlenmiştir. Isıl geçişleri ifade eden T_m (erime sıcaklığı) değerleri tabloda ve grafiklerde gösterilmiştir. Katkısız geri dönüşüm polipropilen ile katkılı geri dönüşüm polipropilenlerin tamamında T_{m1} ve T_{m2} olmak üzere ikişer adet erime sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Katkısız geri dönüşüm polipropilen ile katkılı geri dönüşüm polipropilenlere ait pikler arasında büyük farklar olmadığı belirlenmiştir. Katkısız geri dönüşüm polipropilen T_{m1} değeri 129,8 °C iken, orijinal polipropilen hammadde değerine (T_{m1} : 170 °C) en çok yaklaşan hammaddeler sırasıyla 130,5 °C ile %3 antioksidan katkılı, %3 UV stabilizatör katkılı, %3 wax katkılı, %6 antioksidan katkılı, %6 UV stabilizatör katkılı geri dönüşüm polipropilenler olmuştur. Bu değerlere bakıldığında katkıların etkisi küçük oranlarda da olsa gözlemlenebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] D. Çökeliler, “Polimer Kimyası,” presented at Başkent Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara, Türkiye, 2009-10.
- [2] A. Y. Alobaidı, “PP-G-MA’nın PP/TPU polimer karışımlarının mekanik ve tribolojik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2017, 476159.
- [3] S. Koç, Polimer Kimyasının Tarihçesi, Bilim İletişimi Platformu, <https://gelecekbilimde.net/polimer-kimyasinin-tarihcesi/>, (Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024).
- [4] A. D. Malzemeleri, Polimerler ve Polimerizasyon, Ankara Üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=10631.word>, (Erişim Tarihi: 10 Aralık 2023).
- [5] U. Küçükler, “Farklı tip nükleasyon katkılarının polipropilenin kristallenme kinetiğine etkilerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 480593.
- [6] A. Davulcu, “Dokuma kumaşların fonksiyonelliğinin bitim işlemleri ile artırılması üzerine bir araştırma,” Yüksek Lisans Tezi Sonuç Raporu, Erciyes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Kayseri, 2015, FBY-10-3338.
- [7] B. Plastik, Plastik Tarihi, Bayre Plastik, <https://www.bayreplastik.com.tr/plastik-tarihi/>, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [8] M. E. Bakanlığı, Kimya Teknolojisi Propilen Türevleri ve Prosesleri. 1, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 2013.
- [9] E. Taşkiran, “Polimer esaslı malzemelerde dolgu maddelerinin sıcak plaka kaynağı mukavemetine etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014, 373994.
- [10] Ç. K. Ajansı, Petrokimya ve Kimya Sektörü Araştırma Çalışması. 1, *Çukurova Kalkınma Ajansı*, Adana, 2021.
- [11] S. G. Erzenin, “Polimer Sentezi ve Verim Hesabı,” Kimya Mühendisliği Laboratuvarı II, Süleyman Demirel Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta, 2015-2016, KMM 410.
- [12] P. S. T. D. Chemieuro, Polipropilen Kopolimer (PPC), Polimer Kataloğu, <https://www.chemieuro.com/tr/polimer-katalogu/poliolefinler/polipropilen-kopolimer-ppc/>, (Erişim Tarihi: 04 Ocak 2024).

- [13] A. Teknik, PP Levha Ekstrüzyon Hattı, Anka Teknik, <https://www.ankateknik.com/urunler/pp-levha-ekstruzyon-hatti/1054>, (Erişim Tarihi: 17 Aralık 2023).
- [14] S. Chem, The Material Selection Platform, Special Chem, <https://polymer-additives.specialchem.com/>, (Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2023).
- [15] H.R.E. Machinery, Plastik Granül Karıştırıcı Makinesi Plastik Renk Karıştırıcı İle Dikey Plastik Silosu Mikser, Alibaba, <https://turkish.alibaba.com/product-detail/plastic-granulate-mixer-machine-for-plastic-62064492782.html>, (Erişim Tarihi: 10 Aralık 2023).
- [16] M. T. Merkezi, Plastik Enjeksiyon Nedir? Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?, Maktoloji.com, <https://www.maktoloji.com/2018/09/plastik-enjeksiyon-nedir-avantajlar-ve.html>, (Erişim Tarihi: 11 Aralık 2023).
- [17] M. Toledo, Laboratuvar Terazisi ile Yoğunluk Ölçümü, Mettler Toledo, https://www.mt.com/tr/tr/home/applications/Laboratory_weighing/density-measurement.html, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [18] E. L. Services, Özel Test Laboratuvarı Hizmetleri Kül Testi, Eurolab, <https://www.laboratuvar.org/testler/ozel-testler/kul-testi/>, (Erişim Tarihi: 18 Şubat 2024).
- [19] E. L. Services, Özel Test Laboratuvarı Hizmetleri MFI ve MVR Testleri, Eurolab, [https://www.eurolab.net/testler/malzeme-testleri/mfi-ve-mvr-\(erime-akisi-indeksi-ve-erime-hacim-orani\)-testleri/](https://www.eurolab.net/testler/malzeme-testleri/mfi-ve-mvr-(erime-akisi-indeksi-ve-erime-hacim-orani)-testleri/), (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2024).
- [20] A.G.A.Y.T. Sistemleri, MFI Eriyik Akış Ölçüm Testi Nedir?, Alarge, <https://www.alarge.com.tr/bilgi/mfi-eriyik-akisi-olcum-testi-nedir/>, (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2024).
- [21] H. Oğuz, Termal Analizler (TA), Hüseyin Oğuz, https://huseyinoguz.net/mysite/TERMALANALIZLERv3_17-02-07.pdf, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [22] Ç. K. Üniversitesi, Termogravimetrik Analiz Cihazı (TGA/DSC), Çankırı Karatekin Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, <https://cankam.karatekin.edu.tr/tr/termogravimetrik-analiz-cihazı-tgadsc-22779-sayfasi.karatekin>, (Erişim Tarihi: 13 Aralık 2023).
- [23] Z. Türkoğlu, H. H. Mert, E. H. Mert, M. S. Mert “Preparation of emulsion templated porous polymer composites containing cellulose nanofibril and latent thermal energy storage applications,” *BSEU Journal of Science*, vol. 8 (2), pp. 855-867, August 2021.
- [24] İ. A. İšoğlu “The preparation and characterization of electrospun pcl/phbv membranes as wound dressing material,” *BEU Journal of Science*, vol. 8 (3), pp. 1029-1044, July 2019.

- [25] A. D. Malzemeleri, Polimerler ve Kompozit Malzemeler, Ankara Üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=138834&forceview=1.pdf>, (Erişim Tarihi: 17 Aralık 2023).
- [26] A. D. Malzemeleri, Enstrümental Analiz Termal Analizler, Ankara Üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=2102.powerpoint>, (Erişim Tarihi: 14 Aralık 2023).
- [27] G. Taşçı, “Metal katkılı polimer matrisli hibrit kompozitler,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017, 474088.
- [28] B. P. Federation, Plastic Additives, British Plastic Federation, <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/additives/Default.aspx>, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [29] J. Qu, Z. Huang, Z. Yang, G. Zhang, X. Yin, Y. Feng, H.O, Ç. Jin, T. Wu, G.O, X. Cao “Industrial-scale polypropylene-polyethylene physical alloying toward recycling,” *ScienceDirect*, vol. 9, pp. 95-100, February 2021.
- [30] K. Shirvanimoghaddam, K.V. Balaji, R. Yadav, O. Zabihi, M. Ahmadi, P. Adetunji, M. Naebe, *Composites Part B: Engineering*, QENOS Company, Australia, 2021.
- [31] P. Ahmetzade, K. Demirelli, T. Günay, F. Biryani, O. Alqudah “Effects of waste polypropylene additive on the properties of bituminous binder,” *ScienceDirect*, vol. 2, pp. 165-170, October 2015.
- [32] R. M. Grigorescu, P. Ghioca, L. Iancu, M. E. David, E. R. Andrei, M. I. Flipescu, R. M. Ion, Z. Vuluga, I. Anghel, I. E. Sofran, C. A. Nicolae, A. R. Gabor, A. Gheboianu, I. A. Bucurica “Development of thermoplastic composites based on recycled polypropylene and waste printed circuit boards,” *ScienceDirect*, vol. 118, pp. 391-401, December 2020.
- [33] H. Plas, Plastik Katkı Maddeleri, Hiba Plas, <https://hibaplast.com/hizmetlerimiz/plastik-katki-maddeleri/> (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [34] E.Serhatlı, B. T. Erbay, Plastik Ambalajlarda Kullanılan Katkı Maddeleri, Turkchem Kimya Sanayi Haber Portalı, <https://www.turkchem.net/plastik-ambalajlarda-kullanilan-katki-maddeleri.html/>, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [35] M. E. Ocak, Plastik Geri Dönüşümünü Kolaylaştıran Katkı Maddesi, Bilim Genç, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/plastiklerin-geri-donusumunu-kolaylastiran-katki-maddesi>, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).
- [36] P. K. Maddeleri, Endüstriyel Plastik ve Geri Dönüşüm Katkı Maddeleri, Plastik Katkı Maddeleri, <https://plastikkatkimaddeleri.com/tag/polipropilen-pp/>, (Erişim Tarihi: 18 Aralık 2023).



ÖZGEÇMİŞ

İlk, Orta ve Lise eğitimini Kırıkkale’de tamamladı. 2014 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Polimer Mühendisliği Bölümü’nden 2020 yılında Polimer Mühendisi olarak mezun oldu. Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine devam etmekte ve aynı zamanda Makine ve Kimya Endüstrisi Anonim Şirketi’nde çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Hüseyin YILDIRIM, Hüseyin TORUN, Polipropilen Geri Dönüşümünde Kullanılabilecek Katkı Maddeleri İle Orijinal Hammadde Özelliklerinde Geri Dönüşümlü Polipropilenin Elde Edilmesi, I. Bilsel International Korykos Scientific Researches and Innovation Congress, Proceeding Book, page. 644, 27-28 Ocak 2024, Mersin, Türkiye