



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İKİ BİLEŞENLİ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN / ETİLEN
PROPİLEN DİEN MONOMER ESASLI OTOMOTİV PARÇALARININ
ÖZELLİKLERİNE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Büşra AL MENEN
195101002

Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ

EYLÜL 2021



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İKİ BİLEŞENLİ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN / ETİLEN
PROPİLEN DİEN MONOMER ESASLI OTOMOTİV PARÇALARININ
ÖZELLİKLERİNE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Büşra AL MENEN
195101002

Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof Dr. Mustafa ÖKSÜZ

EYLÜL 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca, tez çalışmamın başından sonuna dek, ve iş hayatımda da önümü açacak değerli fikirleri, bilgisi, birikimleri ve tecrübeleri ile yol göstererek araştırma azmimi hep canlı tutan, yardımlarını ve yakınlığını her zaman hissettiğim, değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ'e,

Beni yüksek lisansa başlamaya teşvik eden, o günden beri kıymetli zamanını benden hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşmaktan çekinmeyen, tezim süresince de desteğini hep üzerimde hissettiğim, bana her zaman yardımcı olan Öğr. Gör. Aysun EKİNCİ'ye,

Bu çalışmaya 2020/YL/0018 nolu proje ile destek verdiği için Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine,

Tez sürecim boyunca yapılan malzeme denemeleri ve testlerinin gerçekleştirildiği her aşamada destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta A-Plas Ar-Ge ekibi olmak üzere, yapılan çalışmaları firma kapsamında da desteklediği için A-Plas Genel Otomotiv Mamulleri San. Ve Tic. A.Ş.'ye,

Hayatımın bütün aşamasında her daim sevgi ve desteklerini esirgemeyen, hiçbir fedakarlıktan ve yardımdan kaçınmayan, bütün kararlarımın arkasında olup varlıklarından güç aldığım sevgili babam, annem ve kardeşlerime,

Son olarak hayatımın en güzel ve en sıkıntılı anlarında yanımda her zaman olup bunları benimle birlikte paylaşan; sonsuz sevgisini, güvenini ve desteğini yanımda hissettirerek beni her daim güçlü kılan sevgili eşim Ahmet MENEN'e

sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Eylül 2021

Büşra AL MENEN
(Polimer Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xixix
ABSTRACT.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Otomotiv Plastikleri	2
1.1.1 Plastiklerin Otomotiv Endüstrisindeki Yeri.....	2
1.1.2 Plastiklerin Araç İmalatında Başlıca Kullanım Alanları.....	4
1.2 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Başlıca Malzemeler	6
1.2.1 Diğer Malzemelere Göre Plastiklerin Avantajları.....	9
1.3 Otomotivde Yaygın Kullanılan Plastikler.....	10
1.3.1 Polikarbonat (PC).....	12
1.3.2 Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS).....	12
1.3.3 Poliamid (PA)	13
1.3.4 Polivinil Klorür (PVC).....	14
1.3.5 Poliüretan (PU)	14
1.3.6 Polistiren (PS)	15
1.3.7 Polietilen (PE).....	16
1.3.8 Polioksimetilen (POM)	16
1.3.9 Polimetilmetakrilat (PMMA).....	17
1.3.10 Polibütilen Tereftalat (PBT).....	17
1.3.11 Polietilen Tereftalat (PET)	18
1.3.12 Akrilonitril Stiren Akrilat (ASA).....	18
1.3.13 Polipropilen (PP).....	20
1.4 Talk Dolgulu Polipropilen İle Yapılan Çalışmalar	21



1.5 Otomotiv Sektöründe Plastiklerin Geri Dönüşümü	23
1.5.1 Araçlardaki Geri Dönüştürülmüş Plastik İhtiyacı	23
1.5.2 Ömrünü Tamamlamış Araçlardan (ÖTA) Plastik Geri Dönüşümü	24
1.5.3 Otomotivde Geri Dönüşümün Önemi	25
1.5.4 Çeşitli Geri Dönüşüm Teknikleri	26
1.5.4.1 Birincil geri dönüşüm.....	27
1.5.4.2 İkincil geri dönüşüm	28
1.5.4.3 Üçüncül geri dönüşüm	29
1.5.4.4 Dördüncül geri dönüşüm.....	30
1.6 Otomotiv Plastiklerinin Üretim Yöntemleri	30
1.6.1 Termoplastiklerin İşlenmesi.....	31
1.6.2 Enjeksiyon Kalıplama	33
1.6.2.1 Enjeksiyon makinesi bileşenleri.....	34
1.6.2.2 Enjeksiyon kalıplama prosesi.....	38
1.6.2.3 Enjeksiyon kalıplama prosesi basamakları	38
1.6.2.4 Enjeksiyon parametreleri	39
1.6.2.5 Enjeksiyon kalıplama avantajları	40
1.7 Çok Bileşenli Enjeksiyon Kalıplama	41
1.7.1 İki Bileşenli Enjeksiyon Kalıplama (2K Enjeksiyon).....	43
1.7.2 İki Bileşenli Enjeksiyonun Tek Bileşenli Enjeksiyondan Farkı	45
1.7.3 İki Bileşenli Enjeksiyonun Avantajları	46
1.7.4 İki Bileşenli Enjeksiyonda (2K Enjeksiyon) Proses Parametresi ve Adezyon .	47
1.8 Polimer-Polimer Yapışması	48
1.8.1 2K ile Kalıplanmış Polimerlerin Yapışmasına İlişkin Hipotezler.....	50
2. MATERYAL VE METOD	53
2.1 Materyal	53
2.1.1 Polipropilen.....	53
2.1.2 Etilen Propilen Dien Monomeri	53
2.1.3 Maleik Anhidrit Aşılınmış Polipropilen (PP-g-MA).....	54



2.1.4. Geri Dönüştürülmüş Polipropilen	54
2.2 Method	54
2.2.1 İki Bileşenli Otomotiv Parçalarının Hazırlanması	54
2.2.2 İki bileşenli Otomotiv Parçalarının Yaşlandırılması.....	59
2.2.3 Karakterizasyon.....	60
2.2.3.1 Koordinat ölçüm makinesi (CMM).....	60
2.2.3.2 Çekme testi.....	61
2.2.3.3 Erime akış indisi (MFI) testi	62
2.2.3.4 Shore-A ve Shore-D sertlik testi	63
2.2.3.5 Yoğunluk testi	64
2.2.3.6 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	64
2.2.3.7 Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX Analizi).....	65
3. TARTIŞMA VE SONUÇ	67
3.1 Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM) Sonuçları	67
3.2 Çekme Testi Test Sonuçları	74
3.3 Eriyik Akış İndisi (MFI) Test Sonuçları	81
3.4 Shore-A ve Shore-D Sertlik Testi Sonuçları.....	83
3.5 Yoğunluk Testi Sonuçları	84
3.6 DSC Testi Sonuçları.....	84
3.7 SEM-EDX Analizi	89
4. TARTIŞMA	99
KAYNAKLAR	103



KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASA	: Akrilonitril Stiren Akrilat
CAGR	: Bileşik Yıllık Büyüme Oranı
CMM	: Koordinat Ölçme Makinesi
CO₂	: Karbondioksit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EPDM	: Etilen Propilen Dien Monomer
GHG	: Sera Gazı Emisyonu
MFI	: Eriyik akış indisi
mm	: Milimetre
ÖTA	: Ömrünü Tamamlamış Araç
PA	: Poliamid
PBT	: Polibütilen teraftalat
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen teraftalat
PMMA	: Polimetilmetakrilat
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PP-g-MA	: Polipropilen Aşılınmış Maleik Anhidrit
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T_c	: Kristalizasyon Sıcaklığı
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
TPE	: Termoplastik Elastomer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1 Araç üretiminde kullanılan malzemelerin yüzde değişikliği	7
Çizelge 1.2 Araç üretiminde kullanılan başlıca malzemelerin oranlarındaki değişiklik (%)	8
Çizelge 1.3 Türkiye otomotiv sektöründe başlıca malzemelerin tüketimi (Montaj+Yenileme) (1000 Ton)	8
Çizelge 1.4 Otomotivde kullanılan parçaların malzemeleri ve ortalama ağırlıkları .	20
Çizelge 2.1 Polipropilen homopolimer teknik özellikleri.	53
Çizelge 2.2 Etilen propilen dien monomerin teknik özellikleri.	53
Çizelge 2.3 Formülasyon İçeriği ve Proses Parametreleri.	57
Çizelge 3.1 Yaşlandırılmamış parçaların ölçüm sonuçları.	72
Çizelge 3.2 Yaşlandırılmış parçaların ölçüm sonuçları.	73
Çizelge 3.3 Akışa dikey ve paralel yönlü parçaların çekme testi sonuçları.	76
Çizelge 3.4 PP/EPDM bağlantı noktası çekme testi sonuçları.	80
Çizelge 3.5 Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış parçaların MFI sonuçları.	82
Çizelge 3.6 Shore A ve Shore D Sertlik Sonuçları.	83
Çizelge 3.7 Yoğunluk Test Sonuçları.	84
Çizelge 3.8 Yaşlandırılmamış parçaların DSC sonuçları.	85
Çizelge 3.9 Yaşlandırılmış parçaların DSC sonuçları.	88



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 1970’den 2020’ye taşıt bileşimlerindeki değişimi.....	10
Şekil 1.2 Polikarbonat tekrarlanan birimi	12
Şekil 1.3 Akrilonitril Bütadien Stiren tekrarlanan birimi.....	13
Şekil 1.4 Poliamid tekrarlanan birimi	13
Şekil 1.5 Polivinil klorür tekrarlanan birimi	14
Şekil 1.6 Poliüretan tekrarlanan birimi	15
Şekil 1.7 Polistiren tekrarlanan birimi	15
Şekil 1.8 Polietilen tekrarlanan birimi	16
Şekil 1.9 Polioksimetilen tekrarlanan birimi.....	17
Şekil 1.10 Polimetilmetakrilat tekrarlanan birimi.....	17
Şekil 1.11 Polibütilen teraftalat tekrarlanan birimi	18
Şekil 1.12 Polietilen tereftalat tekrarlanan birimi	18
Şekil 1.13 Akrilonitril Stiren Akrilat tekrarlanan birimi.....	19
Şekil 1.14 Polipropilen tekrarlanan birimi	21
Şekil 1.15 Geri dönüşüm için çeşitli yaklaşımlar.....	26
Şekil 1.16 Geri dönüşüm türleri	27
Şekil 1.17 Plastik geri dönüşüm özeti	27
Şekil 1.18 Termoplastiklerin işlenme döngüsü.....	29
Şekil 1.19 Termoplastik işlemede fonksiyonel sistem.....	32
Şekil 1.20 Enjeksiyon kalıp makinesi	33
Şekil 1.21 Enjeksiyon makinesi ana bölümleri	34
Şekil 1.22 Vida şematik görünümü	35
Şekil 1.23 Enjeksiyon kalıplama makinesi bileşenleri.....	35
Şekil 1.24 Enjeksiyon kalıbı 3 boyutlu görünümü.....	37
Şekil 1.25 Enjeksiyon kalıplama aşamaları	39
Şekil 1.26 İki bileşenli deflektör parçası.....	42
Şekil 1.27 İki bileşenli benzin depo kapağı	42
Şekil 1.28 İki bileşenli enjeksiyon makinesi temsili.....	44



Şekil 1.29 İki bileşenli enjeksiyonla üretilmiş ürün.....	44
Şekil 1.30 Gert-Jan Bex ve arkadaşlarının çalışmasındaki üretim parametreleri için ana etkiler	48
Şekil 1.31 İki polimerin moleküler dolanması.....	50
Şekil 1.32 Alt katman yüzey enerjisinin polimer-polimer yapışması üzerindeki etkisi	51
Şekil 1.33 İki bileşenli polimer eriyiklerinin yüzey gerilimlerinin polimer-polimer yapışması üzerindeki etkisi.....	51
Şekil 2.1 Eksik Enjeksiyon Sonucu Üretilen Plastik Parça.....	54
Şekil 2.2 Üretim Başında Deformasyon Hatası	55
Şekil 2.3 Kullanılan kırma makinesi.....	55
Şekil 2.4 Kırılmış polipropilen parçalar	56
Şekil 2.5 Kullanılan WELLTEC F2 Model Enjeksiyon Makinesi	58
Şekil 2.6 Kullanılan Enjeksiyon Kalıbı.....	58
Şekil 2.7 Test numuneleri olarak üretilen iki bileşenli deflektör parçası.....	59
Şekil 2.8 Klimatik Test Kabini.....	59
Şekil 2.9 Yaşlandırma testine girmiş parçalar.....	60
Şekil 2.10 Üç boyutlu Ölçümü Yapılan Parça	61
Şekil 2.11 Çekme testi cihazı	62
Şekil 2.12 Çekme testi numuneleri	62
Şekil 2.13 MFI Test Cihazı	63
Şekil 2.14 Sertlik Test Cihazı	63
Şekil 2.15 EPDM malzemeye uygulanan sertlik testi	64
Şekil 2.16 Yoğunluk Test Cihazı	64
Şekil 2.17 SEM Analiz Cihazı	65
Şekil 3.1 Plastik parçanın teknik resmi üzerinde ölçüm yapılan noktalar	67
Şekil 3.2 Kontrol ekseni 1'e göre ölçüm grafiği	68
Şekil 3.3 Kontrol ekseni 2'ye göre ölçüm grafiği	68
Şekil 3.4 Kontrol ekseni 3'e göre ölçüm grafiği	69
Şekil 3.5 Yaşlandırılmamış parçaların boyutsal sapma grafikleri	69



Şekil 3.6 Yaşlandırılmış parçaların boyutsal sapma grafikleri	70
Şekil 3.7 Yaşlandırılmamış parçaların akışa dikey yönde çekme mukavemetleri.....	77
Şekil 3.8 Yaşlandırılmış parçaların akışa dikey yönde çekme mukavemetleri.....	77
Şekil 3.9 Yaşlandırılmış parçaların akışa paralel yönde çekme mukavemetleri.....	78
Şekil 3.10 Yaşlandırılmamış PP/EPDM bölgelerin çekme mukavemetleri.....	81
Şekil 3.11 Yaşlandırılmış PP/EPDM bölgelerin çekme mukavemetleri.....	81
Şekil 3.12 Yaşlandırılmamış parçaların erime sıcaklıklarına ait DSC diyagramı	87
Şekil 3.13 Yaşlandırılmamış parçaların kristalizasyon sıcaklıklarına ait DSC diyagramı	87
Şekil 3.14 Yaşlandırılmış parçaların erime sıcaklıklarına ait DSC diyagramı	89
Şekil 3.15 Yaşlandırılmış parçaların kristalizasyon sıcaklıklarına ait DSC diyagramı	89
Şekil 3.16 % 0 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C.....	92
Şekil 3.17 % 10 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C	92
Şekil 3.18 % 20 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C	93
Şekil 3.19 280°C'de geri dönüşümlü yaşlandırılmamış PP-g-MA parçalar a) %0, b) %10 ve c) %20.....	93
Şekil 3.20 % 0 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C	94
Şekil 3.21 % 10 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C.....	94
Şekil 3.22 % 20 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C	95
Şekil 3.23 280°C'de geri dönüşümlü yaşlandırılmış PP-g-MA parçalar a) %0, b) %10 ve c) %20	95
Şekil 3.24 %100 PP parçanın EDX analizi	96
Şekil 3.25 % 20 PP parçanın EDX analizi	97



İKİ BİLEŞENLİ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİPROPİLEN / ETİLEN PROPİLEN DİEN MONOMER ESASLI OTOMOTİV PARÇALARININ ÖZELLİKLERİNE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Günümüzde araçlarda iki bileşenli (2K) enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen pek çok parça bulunmaktadır. Bu çalışmada 2K kalıplama ile üretilen deflektör parçası kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, 2K enjeksiyon ile üretilen geri dönüştürülmüş polipropilen/etilen propilen dien monomerinden oluşan (PP/EPDM) otomotiv parçalarının özelliklerine üretim parametrelerinin etkisi incelenerek optimizasyon çalışmalarının yapılmasıdır. Çalışmada; PP ve EPDM'in proses parametreleri dikkate alınarak geri dönüşümlü malzeme oranları % 0, % 10 ve % 20 olarak belirlendi. Hazırlanan malzemeler 2K enjeksiyon kalıplama yöntemi ile optimum proses parametrelerinde şekillendirildi. Üretilmiş parçada geri dönüşümün ve proses parametrelerinin ölçüsel değişime etkisini belirlemek amacıyla optimizasyon çalışması gerçekleştirildi. Geri dönüştürülmüş PP/EPDM parçalar mekanik ve mikroyapı analiz yöntemleri ile karakterize edildi. Bu amaçla yaşlandırma testleri de yapıldı. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçalar kıyaslanarak geri dönüşümün malzemenin özellikleri üzerine etkileri de araştırıldı. Bununla birlikte PP/EPDM arasındaki adezyon da proses parametreleri ve geri dönüşüm oranları kıyaslanarak incelendi.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen; Etilen Propilen Dien Monomer; Üretim Parametresi; İki Bileşenli Enjeksiyon Kalıplama; Geri Dönüşüm



THE EFFECT OF PRODUCTION PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF TWO-COMPONENT RECYCLED POLYPROPYLENE / ETHYLENE PROPYLENE DIENE MONOMER BASED AUTOMOTIVE PARTS

ABSTRACT

Nowadays, there are many parts produced by the two-component (2K) injection molding method in vehicles. In this study, the deflector part produced with 2K molding was used. The aim of the study is carried out optimization studies by investigate the effect of production parameters on the properties of automotive parts consisting of recycled polypropylene/ethylene propylene diene monomer (PP/EPDM) produced by 2K injection. In the study; considering the process parameters of PP and EPDM, the recycled material rates were determined as 0%, 10% and 20%. The prepared materials were shaped with 2K injection molding method in optimum process parameters. The optimization study was carried out in order to determine the effect of recycling and process parameters on the dimensional change in the manufactured part. Recycled PP/EPDM parts were characterized by mechanical and microstructural analysis methods. For this purpose, aging tests were also carried out. The effects of recycling on the properties of the material were also investigated by comparing aged and unaged parts. In addition, the adhesion between PP/EPDM was also examined by comparing process parameters and recycling rates.

Keywords: Polypropylene; Ethylene Propylene Diene Monomer; Production Parameter; Two-Component Injection; Recycling



1. GİRİŞ

Son yıllarda oldukça fazla önem kazanan geri dönüşümlü ürünlerin kullanımı otomotiv sektöründe de gerek ekonomik gerekse çevresel etkenlerden dolayı sürekli talep edilmektedir. Polipropilen düşük maliyet, kolay işlenebilirlik ve geri dönüşüm açısından birçok polimer malzemeye göre ekstra avantajlara sahiptir. Otomotiv sektörü başta olmak üzere ambalaj, beyaz eşya ve elektrik-elektronik gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Polipropilen esaslı malzemelerde hem üretim maliyetini düşürmek, hem de kaliteyi arttırmak adına üretimin asıl başladığı noktayı yani kalıbı geliştirmek için oluşturulan 2K teknolojisiyle hedeflenen “ekonomik” ve “verimli” üretim sağlanmaktadır [2]. Polipropilen esaslı araç dış aksam parçalarının üretiminde son yıllarda düşük maliyet, tasarım esnekliği ve üretim sonrası ek montaj gereksinimi olmaması gibi avantajları sayesinde iki bileşenli (2K) enjeksiyon kalıplama yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Proses koşullarının ve geometrik faktörlerin iki bileşenli polimer parçaların ara yüzey mukavemeti üzerindeki etkileri iki polimer arasındaki bağlanmayı (yapışmayı) etkili bir şekilde kontrol edebilecek faktörlerdir. Enjeksiyonla kalıplama parametreleri arasında; kalıp ve eriyik sıcaklığının, iki bileşenli kalıplanmış parçaların ara yüzey mukavemeti için en önemli parametrelerdendir [3].

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; 2K enjeksiyon teknolojisi ile geri dönüştürülmüş PP ve EPDM kalıplanması için, malzeme ve proses parametreleri göz önüne alınmıştır. 2K enjeksiyon teknolojisi ile üretilen PP/EPDM parçaların üretim atıkları geri dönüştürülmüştür. Belirlenen üretim parametreleri ile geri dönüşümlü PP/EPDM parçaların optimizasyonu ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçlara yönelik yapılan literatür araştırmalarında; 2K teknolojisi ile geri dönüşümlü plastik bir parçanın mekanik, ısı ve yapısal özelliklerinin karakterizasyonu, 3 boyutlu ölçümü ve optimizasyon çalışmalarına rastlanmamıştır. Bu kapsamda iki farklı polimerden parça imalatında literatürden farklı olarak çevreci ve ekonomik bir yaklaşım benimsenerek geri dönüşümlü malzemeden elde edilen orijinal ve yaşlandırılmış numuneler mekanik ve mikroyapı yapı analiz yöntemleri ile detaylı olarak incelenmiştir.

1.1 Otomotiv Plastikleri

Plastiğin otomotiv araçlarının tasarımında ve üretiminde rolü, katı düzenlemeler ve değişen tüketici alışkanlıklarının daha uygun fiyatlı, hafif ve yakıt açısından verimli araçlara olan talebi artırmasıyla daha fazla önem kazanmıştır. Yakıt verimliliği, artan yakıt fiyatları ve daha katı çevre düzenlemeleri nedeniyle otomotiv araç tasarımında en önemli özelliklerden biri haline gelmiştir. Bu, otomotiv araçlarına olan yüksek talebin yanı sıra gelişmekte olan ekonomilerde artan ihtiyaçlar ile birleştiğinde, otomotiv endüstrisindeki plastik talebini artırmaya devam edecektir. Bununla birlikte, bazı malzemeler otomotiv endüstrisindeki son değişikliklerden olumlu etkilenecek ve bazı plastik üreticileri için de ciddi sonuçlar doğacaktır.

Şu anda bir araçta yaklaşık 30.000 parça bulunmaktadır ve bunların 1/3'ü plastikten yapılmıştır. Toplamda, bir otomobil yapmak için yaklaşık 39 farklı temel plastik ve polimer türü kullanılmaktadır. Otomobillerde kullanılan plastiğin % 70'inden fazlası dört polimerden oluşmaktadır: polipropilen, poliüretan, poliamidler ve PVC. Plastik, son yıllarda otomobillerin yapısı, performansı ve güvenliği için gerekli temel malzemelerden biri haline geldi; plastik tüketimindeki artış, yakıt verimliliği için hafif ağırlık eğilimleri ve dolayısıyla daha düşük sera gazı emisyonları tarafından yönlendirilmektedir. Plastiklerin yüksek absorpsiyon özellikleri, aracın daha sıkı güvenlik standartlarını karşılamasına izin verirken, mühendislik plastiklerinin kullanılması, metallere kıyasla daha fazla tasarım özgürlüğü sundukları için araçlarda kullanılan parçaların kütlesinin en aza indirilmesine izin vermektedir [4].

1.1.1 Plastiklerin Otomotiv Endüstrisindeki Yeri

Günümüzde otomotiv endüstrisinde her geçen gün artan talepler bu sektörde rekabeti de beraberinde getirmiştir. Otomotiv sektörü bir devrimin eşiğindedir ve plastik endüstrisi burada büyük bir rol oynamaktadır. Plastikler talepleri her zamankinden daha fazla olan bir endüstrinin zorluklarını karşılamaktadır. Sürücüler daha fazla konfor, güvenlik, yakıt verimliliği, stil ve daha düşük fiyatlarla yüksek performanslı otomobiller isterken, toplum daha düşük kirlilik seviyeleri ve kullanım ömrü sonunda daha fazla iyileşme talep etmektedir. Sürekli yenilik, otomobillerde plastik kullanımındaki temel bir özelliktir. Plastikler düşük maliyetle dayanıklılık, korozyon direnci, tokluk, tasarım esnekliği, esneklik ve yüksek performans sağlamakla birlikte

ağırlığı azaltarak otomobillerde daha çok enerji verimliliğini sağlamak için kullanılmaktadırlar.

Otomotiv endüstrisindeki gerçek plastik devrimi, 1950'de termoplastik ABS'den başlayıp çeşitli polimerlerin alaşımları ve karışımlarının tanıtılmasıyla birlikte poliamid, poliasetal ve polikarbonatla devam etmesiyle başladı. Gelişmiş yüksek performanslı polimerlerin devam eden gelişimi, kullanımlarını önemli ölçüde artırmıştır. Başlangıçta plastikler, kendi kendini renklendirme olasılığı dahil olmak üzere mükemmel görünümle birlikte iyi mekanik özellikler sundukları için kullanılmaya devam etti. Tasarımcılar ve mühendislerin yenilik yapmalarına ve otomobil performansını daha da ileriye taşımalarına yardımcı olmak için plastiklerin kullanılıp özelliklerinin geliştirilmesi önümüzdeki on yılda da devam edecektir.

Otomotiv sektörünün desteklenmesinde plastik sektörü çok önemlidir. Otomobil mühendisleri, enjeksiyon ve üflemleri kalıplanmış parçaları entegre ederek, pahalı montaj işleri olmadan daha iyi bir ürün sunmak için diğer sistemleri optimize etmek için çalışmaktadırlar. Plastikler de arabaların yapısal tasarımında yer almaktadır (en karmaşık tasarım sorunu, tank yakıt sisteminin plastikler sayesinde çözülmesidir). Otomotivde plastiklerle yüksek öncelikli araştırma ve geliştirme gerektiren dört alan vardır. Bunlar:

• İç mekan

Yolcu bölmesinde güvenliği iyileştirme öncelikleri arasında yenilikçi tasarım ve daha verimli üretim yetenekleri yoluyla güvenlik ilerlemelerini ekonomik hale getirmek, artan araç uyumluluğu için tasarım yapmak, azaltılmış paket alanında daha fazla güvenlik özelliği dahil olmak üzere yaşanan sürücü nüfusunu barındırmak ve emniyet kemerini geliştirmek yer almaktadır.

• Gövde ve Dış

Tamponlardan gövde panellerine, lamine emniyet camından arka park asistanlarına kadar araştırma faaliyetleri, güvenlik performansından ödün vermeden aracın izinsiz girişine direnen, tavanın ezilmesini engelleyen ve gövde ve dış ağırlığı azaltan enerji yönetimi teknolojilerini içermelidir.

• Güç aktarma sistemi ve Şasi

- Hafifletme

1.1.2 Plastiklerin Araç İmalatında Başlıca Kullanım Alanları

4

Termoplastiklerin yoğun şekilde geliştirilmesi ile, otomotiv sanayi tarafından kullanılan boya fırınlarının yüksek ısılarına dayanabilmeleri amacıyla tek karoser panellerinin enjeksiyon kalıplamayla üretilmesinin ve elektrostatik boyama için elektriksel olarak iletken gratların imal edilmesinin yolu açılmıştır. Entegre ön taraf modülleri gibi yapısal parçalar da plastikten ve özellikle metal ve plastik kombinasyonlarından geliştirilmektedir. Bu son gelişme, her birinin en iyi performansını elde etmek için malzemeleri birleştirmek suretiyle gelecekte gidilecek olan yolu göstermektedir. Bir başka önemli gelişme alanı da yakıt sistemleridir. Bu konu da, yakıt tasarrufu yapmak ve emisyonları en alt seviyeye indirmek amacıyla yasamanın odak noktasındadır. On yıldan daha uzun bir süredir, ultra-yüksek moleküler ağırlıklı yüksek yoğunluklu polietilenin şişirmeli kalıplamasıyla tamamen plastikten yakıt depoları imal edilmektedir. Ek yeri bulunmayan bu tek parça depolar metal mukabillerine oranla çok daha hafiftir ve aynı zamanda, iyi şekilde kalıplanabildiklerinden, depoların zor yerlere yerleştirilmesi konusunda daha fazla tasarım özgürlüğü sağlamaktadırlar. Üretilen yeni otomobillerin % 90'ının plastik depoları olduğu tahmin edilmektedir. Yakıt depolarının geliştirilmesi plastiklerin potansiyeli konusunda önemli bir göstergesi temsil etmektedir. Başlangıçta, polietilenin geçirgenliğinin azaltılması amacıyla depoların iç yüzeyi işleme tabi tutulurken, özellikle ABD başta olmak üzere daha sıkı emisyon şartlarına uyabilmek amacıyla, artık yüksek bariyerli bir polimer katmanı ve bunu iç ve dış katmanlara bağlamak için bağlantı katmanlarını içeren çok katmanlı depolar şişirmeli kalıplama yoluyla imal edilmektedir. İmalat esnasında ortaya çıkan atıkların yeniden kullanılabilmesi amacıyla ekseriya altıncı bir katman ilave edilmektedir. Çok-katmanlı ekstrüzyon teknolojisi, geçirgenliğin neredeyse sıfıra indirilmesi ve gereken yerlerde, elektriksel iletkenlik sağlanması amacıyla plastik yakıt tüplerinin imalatında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bir sonraki etap, komple bir ünite olarak tasarlanacak olan toplam yakıt sisteminin entegrasyonu olacaktır. Sıcakla sertleşen takviyeli reçinelerin oynayacak önemli bir rolü vardır. Karoser imalatında cam elyafı takviyeli reçinelerin kullanımı konusunda neredeyse elli yıllık bir deneyim mevcut olsa da, bu kullanım malzemenin düşük-hacimli imalatı gerektiren doğası yüzünden (spor arabalar ve “özel” yapımlarla) sınırlı olmuştur. Ancak yakın zamanlarda elyaf takviyeli polyesterlerin ve poliüretanların pratik seri imalat seviyelerinde kalıplanması için proseslerin geliştirilmesi konusunda büyük adımlar

atılmış olup sıcakla sertleşen bu malzemelerden imal edilen dış karoser panelleri ve tampon sistemlerinin hacmi giderek artmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ve imalat sistemleri, bir projenin tüm katılımcıları tarafından “eşzamanlı tasarım” yapılmasını sağlamaktadır. Sürücü ve yolcu “kokpit” modülleri, komple kapılar, hava kontrol sistemleri ve yakıt sistemleri şu anda bile dev firmalar tarafından geliştirilmektedir. Plastiklerin çok yönlülüğü ve plastik teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, bir otomobilin güvenliğinden, konforundan veya sağlamlığından taviz vermeksizin ileri seviyede şekillerin ve biçimlerin kullanılması mümkün olmaktadır. Bu nedenle plastikler tasarımcılar için çok çekici malzemeler haline gelmektedir. Bu malzemelerin kuvveti ve dayanıklılığı da bir otomobilin ortalama ömrünü, korozyona karşı daha iyi koruma sağlamak suretiyle, 12 yıldan fazla uzatmaktadır. Kuvvetleri ve darbe direnci özellikleri sayesinde, plastikler tamponlar için şok emmeden hava yastıklarına, yan darbe korumasına ve emniyet kemerlerine kadar temel güvenlik özelliklerini temin etmektedir. Pencerelemler ve far camlarının yerini alan plastikler cama göre 250 kat daha fazla güç sağlamaktadır. Plastikler klape gövdelerinde geleneksel malzemelerin yerini almaya başlamış ve bazı şirketler artık alüminyum eşdeğerinden yüzde 40 daha hafif olan ve yüzde 40 daha az maliyetli polieterimidin klape yuvalarının gelişimine öncülük etmeye başlamıştır. Araç üreticileri plastik kullanmak suretiyle araç montaj sürelerini ve maliyetlerini azaltabilmektedir. Geçmişte, pek çok parçanın imal edilmesini ve bu parçaların montajını gerektiren geleneksel malzemelerden yapılan tamponlar, çamurluklar ve kontrol panelleri artık tek parça halinde şekillendirilebilmektedir. Teknolojik yenilikler modern araçlarda giderek artan sayıda, daha hafif, daha ince ancak daha güçlü plastik parçaların kullanıldığı manasına gelmektedir [6].

1.2 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Başlıca Malzemeler

Dünya taşıt araçları üretiminde 2010 – 2016 yılları arasında, yıllar itibariyle değişmekle beraber, kullanılan başlıca malzemelerin yüzde oranı aşağıdaki tabloda verilmiş olup, 2016 yılı itibariyle bir araç net ağırlığının ortalama % 53,3’ünü çelikler, % 17’sini çelik dışındaki metaller oluşturmuştur. 2010 yılında bir araç üretiminde % 9,9 olan plastik payının 2016 yılında % 12,2’ye kauçuk’un payının % 5,4’den % 6,9’a çıktığı tahmin edilmektedir.

Çizelge 1.1 Araç üretiminde kullanılan malzemelerin yüzde değişikliği

Başlıca Malzemeler	2010	2016	CAGR (%)
Çelik	54,2	53,1	-0,3
Demir Döküm	5,2	3,1	-8,4
Alüminyum	8,4	9,2	1,5
Magnezyum	0,3	0,3	0,0
Bakır ve Pirinç	1,6	1,4	-2,3
Kurşun	1,2	1,7	5,7
Çinko Döküm	0,2	0,2	0,0
Çelik Dışındaki Metaller	18,0	16,9	-1,1
Plastikler	9,9	12,2	3,6
Kauçuk	5,4	6,9	4,2
Kaplama	0,8	1,0	3,2
Tekstil	1,3	1,3	1,0

2010 – 2016 yılları arasında bir taşıt aracının toplam ağırlığı içinde çelik payı % 1 çelik dışı metaller payı % 1,1 azalırken, plastik’in payı % 2,3, kauçuk’un payı % 1,5, plastik ve kauçuk toplamının payı da % 3,8 artmıştır. Araçlarda ortalama malzeme kullanım oranı ile üretilen araçların toplam net ağırlıkları baz alınarak Türkiye’de araçların montajında ve parçaların yenilenmesinde (yenileme talebinin toplam talebin % 25’i olacağı varsayılmıştır) 2010 – 2016 yıllarında kullanılan başlıca malzemelerin miktar bazında aşağıdaki tabloda görüldüğü biçimde geliştiği görülmektedir. Türkiye’de taşıt araçları üretiminde ve parktaki araçların yenileme talebinde, 2016 yılında 2010 yılına kıyasla toplam malzeme ağırlığı içinde kullanılan plastik miktarında % 27, kauçuk miktarında ise % 31 artış sağlanmıştır. Bu artış sonucu, taşıt araçları üretiminde 2010 yılında 275 bin ton plastik tüketilirken, 2016 yılında tüketimin 419 bin toplam kauçuk tüketiminin de 150 bin tondan 236 bin tona yükseldiği görülmektedir [6].

Çizelge 1.2 Araç üretiminde kullanılan başlıca malzemelerin oranlarındaki değişiklik (%) [6].

Malzemeler	2010	2016	Fark (%)
Çelik	54,2	53,1	-1,0
Çelik Dışındaki Metaller	18,0	16,9	-1,1
Plastikler	9,9	12,2	2,3
Kauçuk	5,4	6,9	1,5
Plastik+Kauçuk	15,3	19,1	3,8

Çizelge 1.3 Türkiye otomotiv sektöründe başlıca malzemelerin tüketimi (Montaj+Yenileme) (1000 Ton) [6].

Başlıca Malzemeler	2010	2016	% Artış
Çelik	1504	1819	5
Demir Döküm	145	105	-31
Alüminyum	234	315	15
Magnezyum	8	10	6
Bakır ve Pirinç	45	48	-5
Kurşun	33	57	40
Çinko Döküm	6	7	6
Çelik Dışındaki Metaller	500	580	2
Plastikler	275	419	27
Kauçuk	150	236	31
Kaplama	23	34	25
Tekstil	35	46	12

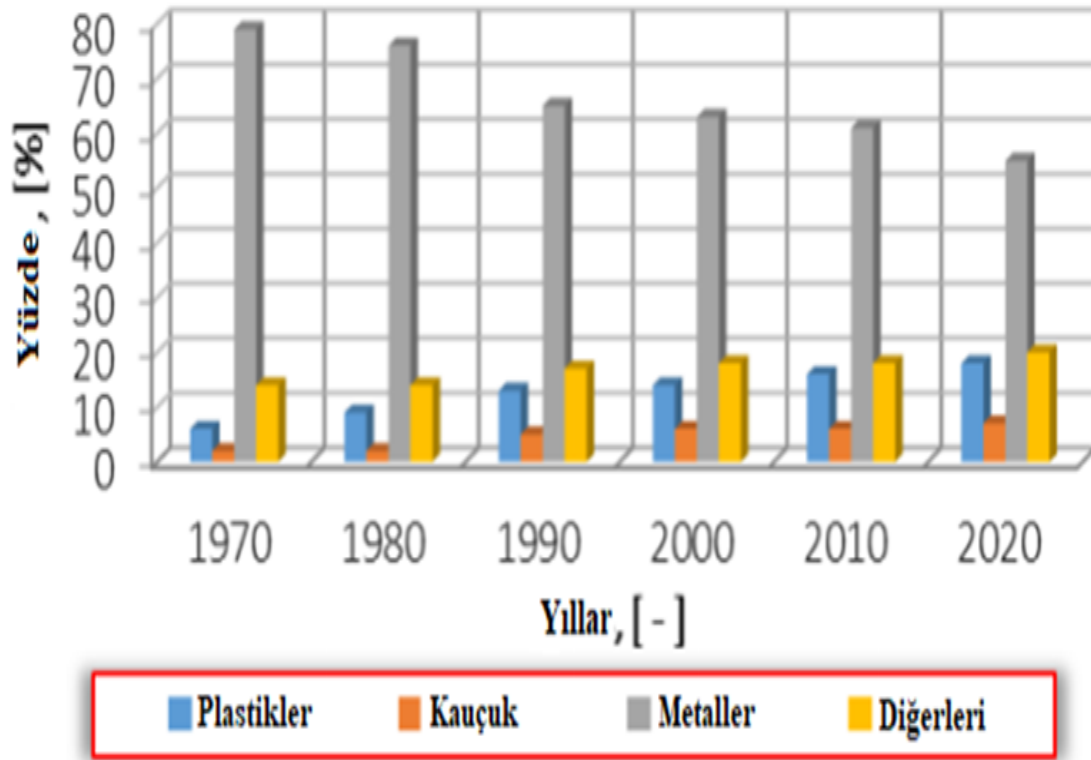
1.2.1 Diğer Malzemelere Göre Plastiklerin Avantajları

Otomotiv endüstrisinde daha hafif, yakıtı verimli kullanan araçlara yönelik yasal ve tüketici talepleri nedeniyle, hafif plastik ve kompozit malzemelerin kullanımı son yıllarda artmaktadır. Ortalama bir arabanın 1.300 kg ağırlığında olduğu ve plastik içeriğinin kütlesinin % 12-15'ini (araba hacminin % 50'si) temsil ettiği varsayıldığında, bu araç başına 150-200 kg plastik demektir. Yüksek performanslı, hafif ve yakıt açısından verimli, güvenli araçlar için pazardan artan talep nedeniyle önümüzdeki yıllarda bu oranın artması beklenmektedir [7]. Bazı durumlarda tüketicinin konforu için plastikler ve kompozitler daha ağır olan demir gibi malzemelerin yerine kullanılmaktadır. Hafif olmalarının yanı sıra, bu malzemeler aynı zamanda dayanıklıdır ve kolayca kalıplanabilmektedirler. Daha ağır malzemeleri plastiklerle ikame etmek, genel bir ağırlık azalmasına yol açmaktadır. Ortalama bir araçta kütlece plastik yüzdesi 1970'te % 6'dan 2010'da % 16'ya çıkıp, 2020'de % 18'e ulaşmıştır [9]. Mevcut ekonomik ve çevresel kaygılar, daha yakıt tasarruflu araçların oluşturulmasını otomotiv endüstrisinde en önemli öncelik haline getirmektedir. Parça kütlesinin en aza indirilmesi, yüksek performanslı plastik malzemelerin tercih edilmesinin ana nedeni olsa da, bunların kullanımının gelecekteki artışı; otomobillerde konfor, güvenlik ve parça entegrasyon olasılığı ile ilgili yeni uygulamalara neden olacaktır. Yüksek performanslı plastik malzemelerin uygulanması, tasarımda daha fazla özgürlüğe izin verir ve çoğu durumda yalnızca bu malzemeler, parçaların yapımı için güvenli geometrik veya ekonomik çözüme izin verebilir. Nakliye araçlarında artan plastik malzeme uygulamalarının diğer bazı avantajları şunlardır:

- Minimum korozyon, daha uzun araç ömrü
- Gelişmiş yaratıcılık ve yeniliğe izin veren önemli tasarım özgürlüğü
- Bileşenleri entegre etmede esneklik
- Güvenlik, konfor ve ekonomi
- Geri dönüştürülebilirlik sağlamalarıdır [8].

Plastikler, metallerden sonra araçlarda en çok kullanılan ikinci malzemelerdir. Modern otomobiller birkaç plastik parça ve bileşen içerir. (gösterge panelleri, tamponlar, kulplar, düğmeler, kasalar, tavan kumaşı, koltuklar, emniyet kemerleri,

hava yastıkları, halılar vb.) Otomobil imalat endüstrisinde plastik kullanımı, daha düşük yakıt tüketimine ve Sera Gazı (GHG) emisyonlarında azalmaya yol açan araç kütlesinin azaltılması gibi çeşitli avantajlar sunar. Örneğin, bir aracın toplam ağırlığını 10 kg düşürmek, 1 g/km CO₂ emisyonunu, yani kullanım ömrü boyunca 480 kg CO₂'yi azaltabilir (480.000 km'ye kadar maksimum yaşam beklentisi dikkate alındığında). Ayrıca, plastik parçaların darbe dayanımı, ısı yalıtımı, gürültü azaltma ve korozyon direnci gibi araçlarda kullanılmak üzere en uygun malzeme olmasını sağlayan çeşitli teknik özellikleri vardır.



Şekil 1.1 1970’den 2020’ye taşıt bileşimlerindeki değişimi [9]

1.3 Otomotivde Yaygın Kullanılan Plastikler

Son yıllarda, otomobillerdeki yüksek performanslı plastik malzemelerin uygulamaları daha fazla büyüme eğilimi ile artmaktadır. Polimerler, temel olarak hafifliği ve nispeten daha iyi özellikleri nedeniyle uygulamaların çoğunda yer almaktadır. Araçlarda çok çeşitli plastikler kullanılmaktadır. Araçlarda yüksek performanslı plastik malzemelerin bu kadar geniş kullanımının temel işlevleri; otomobillerin görünümünü, işlevselliğini, ekonomisini ve düşük yakıt tüketimini

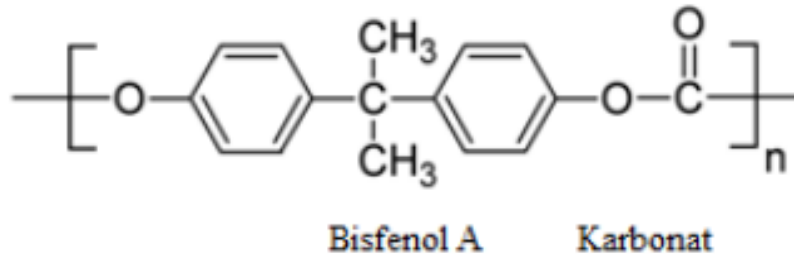
belirler. Polimerik malzemelerin uygulanması, tasarımda daha fazla özgürlük sağlar ve ortalama bir aracın ağırlığının yaklaşık yüzde 82'si geri dönüştürülür. Yüksek performanslı plastik uygulamaları bugünlerde otomotiv endüstrisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu uygulamalar sürekli artmakta ve bu eğilimin devam etmesi beklenmektedir. Otomobillerde kullanılan diğer malzemelerle ilişkili olarak yüksek performanslı plastik malzemelerin seçiminde ana husus; otomobillerin tasarımı, işlevselliği ve daha ekonomik üretimi ile azaltılmış yakıt tüketimidir. Araç ağırlığındaki her % 10'luk azalmanın, yakıt kullanımında % 5 ila % 7'lik bir azalma ile sonuçlandığı tahmin edilmektedir.

Otomobillerde çok çeşitli termoplastikler kullanılmaktadır. Modül ve mukavemeti artırmak, ısıl sapma sıcaklığını artırmak, termal genleşmeyi kontrol etmek ve kalıp büzülmesini azaltmak için genellikle termoplastikler, mineral dolgular veya kısa liflerle birleştirilirler. Ayrıca bazıları işleme özelliklerini iyileştirmek, bazıları fiziksel veya termal özelliklerini değiştirmek ve bazıları bir veya daha fazla mekanik özelliği iyileştirmek için; ısı stabilizatörleri, antioksidanlar, alev geciktiriciler, plastikleştiriciler, darbe modifiye ediciler ve renklendiriciler gibi çeşitli katkı maddeleri de içerebilirler. Termoplastikler yarı kristal ve amorf olarak sınıflandırılırlar. Genel olarak, yarı kristal polimerler, amorf polimerlerden daha yüksek kimyasal dirence, daha yüksek ısıl genleşme katsayısına ve daha yüksek kalıp büzülmesine sahiptir. Yarı kristalin polimerlerdeki kristallik miktarı, büyük ölçüde işleme koşullarına bağlıdır. Genel olarak, kristallik miktarı ne kadar yüksekse; modül, akma mukavemeti, gerilme mukavemeti, çözücülere ve kimyasallara direnç o kadar yüksek olur, ancak bozulmaya karşı uzama ve çatlak yayılmasına karşı direnç o kadar düşük olur. Hem amorf hem de yarı kristal polimerler, bir camsı geçiş sıcaklığı (T_g) sergiler. T_g'nin altındaki sıcaklıklarda, birçok amorf polimer bir cam gibi davranırlar. Bunlar sert, kırılğan ve düşük darbe mukavemetine sahiptir. T_g'nin üzerinde; yumuşak, sünek, kauçuk benzeri katı maddeler haline gelirler. Çok daha yüksek bir sıcaklıkta, amorf polimerler katıdan sıvıya geçer, ancak kristalin malzemelerin aksine, herhangi bir erime noktası göstermezler. Yarı kristalli polimerler için, modülde T_g'nin üzerindeki azalma, amorf polimerler kadar büyük değildir. Ayrıca, polimerin katı bir materyalden sıvı bir materyale dönüştüğü kristalin bir erime noktası (T_m) sergilerler. Daha yüksek sıcaklıklarda, hem amorf hem de yarı kristal termoplastikler geri döndürülemez bir şekilde bozunmaya başlarlar.

Otomobillerin üretilmesinde kullanılan plastikler yaklaşık % 66'lık kısmı kapsamaktadır. Polipropilen (PP) (% 32) (Tamponlar, kablo yalıtım halı lifleri vb.), Poliüretan (PU) (% 17) (köpük koltuklar, yalıtım panelleri, süspansiyon burçları, yastıklar, elektrik bileşenleri vb.) ve polivinil klorür (PVC) (% 16)). Mühendislik plastikleri dahil olmak üzere çeşitli plastikler ve polimerler de diğer otomotiv parçaları için kullanılıp birleştirilmektedir. Örneğin; akrilonitril bütadien stiren (ABS), poliamidler (PA), polistiren (PS), polietilen (PE), polioksimetilen (POM) , polikarbonat (PC), akrilik (PMMA) bunlardan yaygın olanlarıdır.

1.3.1 Polikarbonat (PC)

Polikarbonatlar genellikle otomotiv endüstrisindeki uygulamalar için kullanılmaktadır. Esas olarak güçlendirilmemiş durumda kullanılırlar. Amorf polikarbonat az bir sertlik ve tokluk kombinasyonu sunar. Neredeyse akrilik kadar iyi şeffaflık seviyeleri ile mükemmel hava koşullarına, sürünmeye, darbeye, optik, elektriksel, termal özelliklere ve UV direncine sahiptir. Polikarbonatın uygulamaları; tamponlar, far lensleri, güvenlik ekranları, uçak panelleri, gözlük lensleri, far lensleri, kasklar ve kurşun geçirmez cam yelekleridir [8, 10]. PC'nin tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.



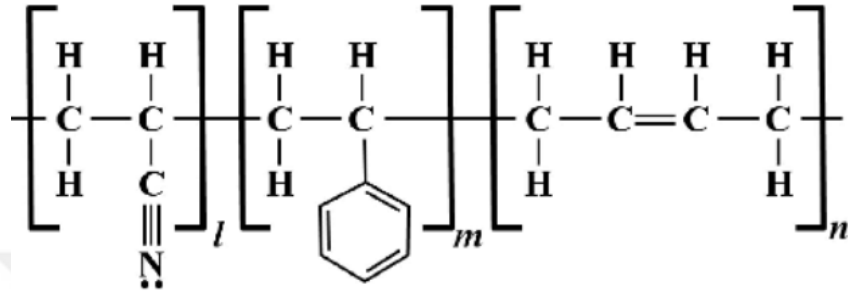
Şekil 1.2 Polikarbonat tekrarlanan birimi [10]

PC, tek başına ABS'de bulunmayan bir darbe mukavemeti, modül ve ısıl sapma sıcaklığı kombinasyonu üretmek için ABS ile harmanlanmıştır. ABS/PC karışımı; gösterge paneli yapılarında, konsollarda, ayna muhafazalarında ve kaporta paneli ızgaralarında kullanılır.

1.3.2 Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)

Akrilonitril Bütadien Stiren dayanıklı bir termoplastiktir. Polibütadien varlığında stiren ve akrilonitrilin polimerize edilmesiyle oluşturulmuş bir kopolimerdir. Stiren

plastığe parlak bir yüzey verir. Kauçuksu bir madde olan bütadien, düşük sıcaklıklarda bile esneklik sağlar. Darbe direncini, tokluğu, ısı direncini, hava şartlarını ve bazı kimyasallara direnci iyileştirmek için çeşitli modifikasyonlar yapılabilir. Otomotiv gövde parçaları, gösterge panelleri, jant kapakları, muhafazaların imalatı, kapaklar ve astarlarda uygulama alanı bulurlar [8,11]. ABS'in tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.

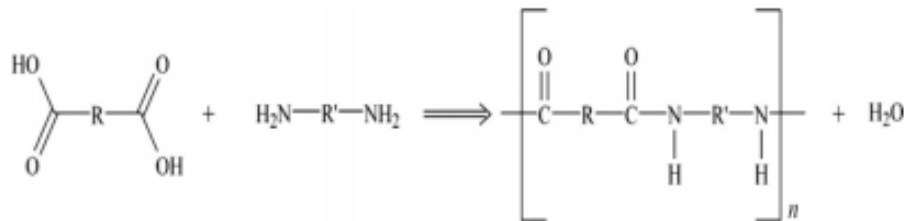


Şekil 1.3 Akrilonitril Bütadien Stiren tekrarlanan birimi [12]

1.3.3 Poliamid (PA)

Poliamid genellikle, naylon 6,6 veya naylon 6 olarak bilinmektedir. Hem kalıplanabilen hem de ekstrüde edilebilen genel amaçlı bir polimerdir. Naylon 6,6 iyi mekanik özelliklere ve aşınma direncine sahiptir. Düşük maliyetli, yüksek mekanik mukavemetli, sert ve stabil bir malzeme olan poliamidler gerektiğinde sıklıkla kullanılırlar. Ayrıca suyu kolayca emerler ve ıslak veya nemli koşullarda bileşenler genişleyerek boyutsal stabilitenin gerekli olduğu uygulamalarda kullanımları engellenir.

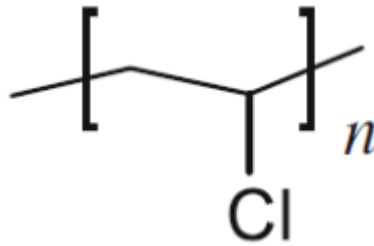
Poliamidin ana uygulaması, motor kaputu altında bulunan parçaların, esas olarak cam elyafı ile güçlendirilmiş poliamid (PA) türleri kullanılarak üretilmesidir [8, 13]. Diğer uygulama alanları ise; dişliler, burçlar, kamlar, yataklar, hava koşullarına dayanıklı kaplamalardır. PA'nın tekrarlanan birimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.4 Poliamid tekrarlanan birimi [13]

1.3.4 Polivinil Klorür (PVC)

Otomotiv endüstrisinde, arabada alt kat koruma imalatında, araç içerisindeki elektrik kablolarının iç kaplamasında kullanılan bir malzemedir. Polivinil klorür kalıplama bileşikler, kullanılan plastikleştiricilerin miktarına ve türüne bağlı olarak sert veya esnek çok çeşitli ürünler oluşturmak için ekstrüde edilebilir, enjeksiyonla kalıplanabilir, sıkıştırarak kalıplanabilir, kalenderlenebilir ve üflemlerle kalıplanabilirler. Kimyasal ve solvent saldırılarına karşı direnci iyidir. Vinil içeriği malzemeye iyi bir gerilme mukavemeti sağlar ve bazı sınıfları esnektir. Renkli veya berrak malzeme olarak mevcuttur. PVC iyi bir esnekliğe sahiptir, alev geciktiricidir ve iyi termal stabiliteye, yüksek parlaklığa ve düşük (veya hiç) kurşun içeriğine sahiptir. Otomobil panelleri, elektrik kablolarının kılıfı, borular, kapılar, su geçirmez giysiler ve kimyasal tanklarda kullanılırlar [8,14]. PVC'nin tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.

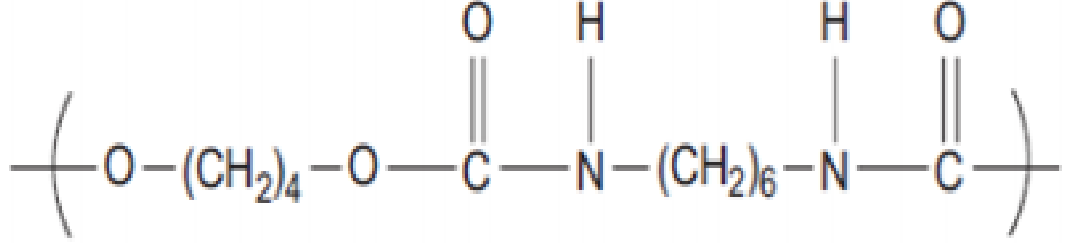


Şekil 1.5 Polivinil klorür tekrarlanan birimi [15]

1.3.5 Poliüretan (PU)

Poliüretanlar, çok çeşitli özelliklere sahip geniş bir polimer ailesidir ve bir hidroksil grubu içeren bileşiklerle organik bir izosiyanatın reaksiyon ürününe dayalı olarak sentezlenir. Poliüretanlar ısıyla sertleşen, büyük özellik farklılıklarına sahip termoplastik, sert, esnek ve hücresel olabilirler. Başlıca uygulamaları kaplamalar, elastomerler ve köpüklerdir. Poliüretan mükemmel aşınma direncine ancak yüksek histerezise sahiptir. Sert poliüretan köpükler, düşük ısı transferi ve iyi maliyet etkinliği kombinasyonlarından dolayı yalıtım malzemeleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Poliüretanlar, doğrudan güneş ışığında veya çoğu organik çözücü ile temas halinde hayatta kalamazlar. Poliester ve polieter bazlı olmak üzere iki tip poliüretan yaygındır. Bu iskelet yapıları bir poliüretan reçinenin önemli bir bölümünü içerir. Esnek köpük, köpük yalıtım panelleri, elastomerik tekerlekler ve

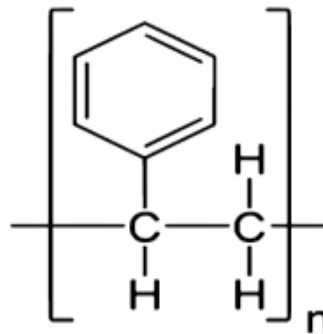
lastikler, otomotiv süspansiyon burçları, minderler, elektrikli çömlekçilik bileşikleri, sert plastik parçalarda kullanılırlar [8]. PU'ın tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.6 Poliüretan tekrarlanan birimi [16]

1.3.6 Polistiren (PS)

Polistiren, genellikle sert ve nispeten ucuz olan amorf, camsı bir polimerdir. Genellikle kristal PS veya genel amaçlı polistiren (GPPS) olarak anılır. Yüksek darbeli polistiren sınıfları (HIPS), polimerin tokluğunu ve darbe mukavemetini artıran kauçuk veya bütadien kopolimer eklenerek üretilir. Polistirenler, bozulma aralıklarının altındaki sıcaklıklarda güvenli bir şekilde iyi akış özelliklerine sahiptir ve kolaylıkla ekstrüde edilebilir, enjeksiyonla kalıplanabilir veya kompresyonla kalıplanabilirler. Bu polimer; bilinen köpüklü polistiren ürünlerle sonuçlanan, uygun bir şişirme maddesi içeren ısıyla genleşebilen boncuklar şeklinde üretilir. Doğal olarak berrak olan polistiren, mükemmel kimyasal ve elektrik direnci gösterir. Özel yüksek parlaklık ve yüksek etkili kaliteye sahiptirler. Üretimi kolay olan bu plastik, UV ışığına karşı zayıf bir dirence sahiptir. Ekipman muhafazaları, düğmeler, araba donanımları, ekran tabanlarında kullanılırlar [8]. PS'in tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.

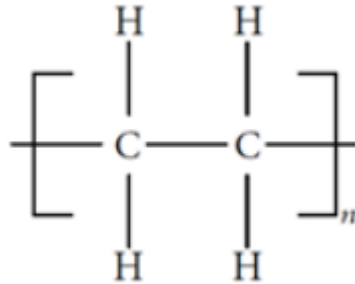


Şekil 1.7 Polistiren tekrarlanan birimi [17]

Polistiren, işlenmesini iyileştirmek için polifenilen oksit (PPO) ile karıştırılır. PPO/PS, gösterge paneli yapılarında, elektrik konektörlerinde ve jant kapaklarında kullanılır. PPO, sünme ve ısı direncini artırmak için poliamid-6,6 (PA-6,6) ile karıştırılır. PA-6,6 / PPO karışımı dış gövde panellerinde kullanılır [18].

1.3.7 Polietilen (PE)

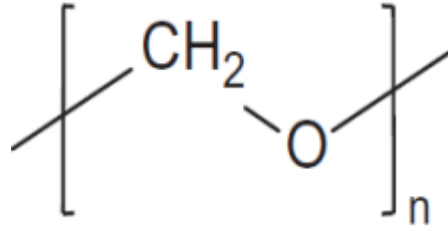
Polietilen, $H_2C = CH_2$ etilen gazının polimerleştirilmesiyle elde edilen önemli poliolefin reçineleri ailesinin bir üyesidir ve açık ara en büyük hacimli ticari polimerdir. Dünyada en çok kullanılan plastiktir. Bu termoplastik, üretim sürecine bağlı olarak bir dizi esneklikte ve diğer özelliklerde mevcuttur. Polietilen, çok çeşitli termoplastik işleme yöntemleriyle oluşturulabilir. Özellikle nem direncinin ve düşük maliyetin gerekli olduğu yerlerde kullanışlıdır. Düşük yoğunluklu polietilen tipik olarak 0,91 ila 0,925 g/cm³ arasında değişen bir yoğunluk değerine sahiptir, doğrusal düşük yoğunluklu polietilen 0,918 ila 0,94 g/cm³ aralığında, yüksek yoğunluklu polietilen ise 0,935 ila 0,96 g/cm³ ve üzeri aralığındadır. Araba gövdeleri (cam takviyeli) ve elektrik yalıtım malzemeleri uygulama alanlarından bazılarıdır [8].



Şekil 1.8 Polietilen tekrarlanan birimi [19]

1.3.8 Polioksümetilen (POM)

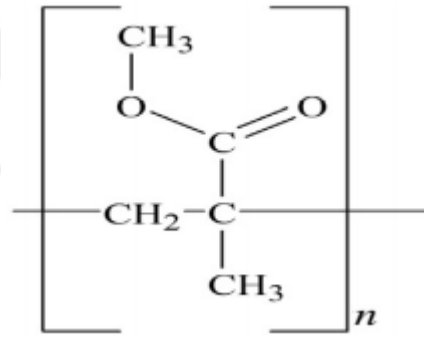
Asetal, Poliasetal ve Poliformaldehit olarak da bilinen POM (Polioksümetilen), yüksek performanslı bir mühendislik polimeridir. Yüksek sertlik, düşük sürtünme ve mükemmel boyutsal kararlılık gerektiren hassas parçalarda kullanılır. Bu özellikler düşük sıcaklıklarda kararlıdır. POM ayrıca kimyasallara ve yakıta dayanıklıdır. İç ve dış kaplamalar, yakıt sistemleri, küçük dişliler, pencere kılavuzları, hoparlör ızgaraları, fermuarlar, çakmaklar, aerosol valfleri, bağlantı elemanları ve mobilya bileşenleri uygulama alanlarındandır [8]. POM'in tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.9 Polioksimetilen tekrarlanan birimi [20]

1.3.9 Polimetilmetakrilat (PMMA)

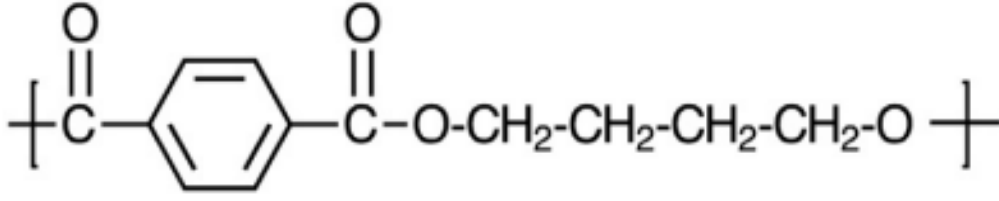
PMMA (Polimetilmetakrilat) şeffaf bir termoplastiktir; genellikle hafif veya kırılmaya karşı dirençli olduğu için cama alternatif olarak kullanılır. UV ve hava koşullarına karşı iyi direnç, yüksek optik kalite ve geniş bir renk aralığı ile yüzey kaplaması olarak kullanılır. PC'den daha ucuzdur, ancak aynı zamanda çizilmeye ve parçalanmaya daha yatkındır. Pencere ve ekranlarda uygulama alanları vardır [8]. PMMA'nın tekrarlanan birimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.10 Polimetilmetakrilat tekrarlanan birimi [21]

1.3.10 Polibütilen Tereftalat (PBT)

Polibütilen tereftalat; iyi kimyasal dirence ve elektriksel özelliklere sahip, sert, dinamik gerilime karşı çok iyi dirence, termal ve boyutsal kararlılığa sahiptir. Hızlı kristalleşme ve hızlı soğuma sayesinde imalatı kolaydır. Sis lambası muhafazaları ve çerçeveleri, açılır tavan ön parçaları, kilitleme sistemi muhafazaları, kapı kolları, tamponlar, karbüratör bileşenleri gibi parçalarda kullanılırlar [8]. PBT'nin tekrarlanan birimi aşağıdaki gibidir.

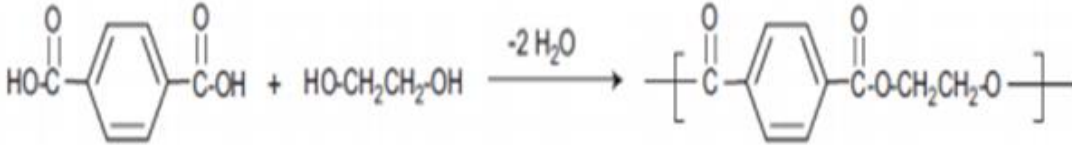


Şekil 1.11 Polibütilen tereftalat tekrarlanan birimi [22]

Otomotiv uygulamalarında kullanılan çok çeşitli polimer karışımları da vardır. Polibütilen tereftalat (PBT), kimyasal direncini artırmak için polikarbonat (PC) ile karıştırılır. Bu PC/PBT karışımı, tampon kirişleri yapmak için kullanılır.

1.3.11 Polietilen Tereftalat (PET)

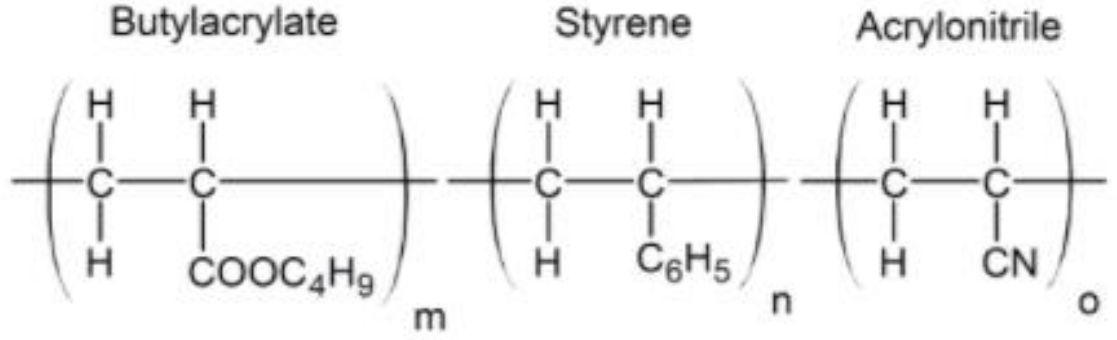
Polietilen tereftalat; PBT ile benzer koşullara, iyi termal kararlılığa, iyi elektriksel özelliklere, çok düşük su emme ve mükemmel yüzey özelliklerine sahiptir. Çoğunlukla sentetik elyaf ve plastik şişeler oluşturmak için kullanılır. Bunlar giysi etiketlerinde "polyester" adı altında bilinmektedirler. Silecek kolu ve dişli muhafazaları, far tutucusu, motor kapağı, konektör muhafazaları gibi alanlarda kullanılırlar [8]. PET'in tekrarlanan birimi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.12 Polietilen tereftalat tekrarlanan birimi [23]

1.3.12 Akrilonitril Stiren Akrilat (ASA)

Akrilonitril Stiren Akrilat (ASA) malzemesi büyük bir tokluğa ve sertliğe, iyi bir kimyasal dirence ve termal stabiliteye, hava koşullarına, yaşlanmaya ve sararmaya karşı olağanüstü bir dirence ve yüksek parlaklığa sahiptir. Bu malzeme yandığı zaman zehirli bir dumana neden olur. Gövdeler, profiller, iç parçalar ve dış mekanlarda uygulamaları vardır [8]. ASA'nın tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.13 Akrilonitril Stiren Akrilat tekrarlanan birimi [24]

Otomotiv tasarımında plastikler; güvenlik, performans ve yakıt verimliliğinde çok sayıda yeniliğe katkıda bulunmuştur; ancak bitmeyen araştırma ve iyileştirme gerektirir. Önde gelen uzmanlar, bir aracın enerji tüketimini ve emisyonlarını azaltmanın en kolay ve en ucuz yolunun aracın ağırlığını azaltmak olduğunu söylemektedirler. Çizelge 1.4’de otomotivde kullanılan parçaların malzemeleri ve ortalama ağırlıkları verilmiştir. Araç ağırlığındaki her % 10 azalmanın % 5 ila % 7 yakıt tasarrufu sağladığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, her kilogram araç ağırlığı azaltımı için, karbondioksit emisyonlarını 20 kg azaltma potansiyeli vardır. Otomobillere hafif malzemelerin dahil edilmesi bir gereklilik ve ortak ihtiyacımızdır. [8]

Çizelge 1.4 Otomotivde kullanılan parçaların malzemeleri ve ortalama ağırlıkları [8].

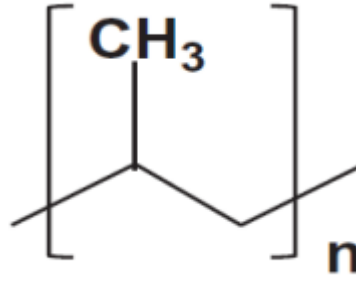
Bileşen	Başlıca plastik türleri	Arabada ortalama ağırlık (kg)
Tampon	PP, ABS, PC/PBT	10
Koltuk	PU, PP, PVC, ABS, PA	13
Gösterge paneli	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7
Yakıt sistemi	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6
Gövde (panelleride içerir)	PP, PPE, UP	6
Kaput altı bileşenleri	PA, PP, PBT	9
İç mekan (koltuk, zemin)	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Elektrikli bileşenler	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Dış aksam	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4
Aydınlatma	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5
Döşeme	PVC, PU, PP, PE	8
Sıvı deposu	PP, PE, PA	1
Toplam		105

1.3.13 Polipropilen (PP)

Genel olarak polipropilen; polietilene göre gelişmiş mukavemet, sertlik ve daha yüksek sıcaklık kabiliyetinde belirli avantajlar göstermiştir. Polipropilen, iyi özgül mukavemeti nedeniyle liflerin biçimlendirilmesinde çok başarılı bir şekilde uygulanmıştır, bu nedenle polipropilenin tek en büyük kullanımıdır. Polipropilen ayrıca 0,905 g/cm² yoğunluğa sahip mevcut en hafif plastiklerden biridir. Bu poliolefin, propilenin uygun katalizörlerle, genellikle alüminyum alkil ve titanyum

tetraklorür ile polimerize edilmesiyle kolayca oluşturulur. Polipropilenin özellikleri; moleküler ağırlığa, üretim yöntemine ve ilgili kopolimerlere göre değişir. Kimyasal olarak son derece dayanıklıdır ve neredeyse tamamen su geçirmezdir. Siyah, en iyi UV direncine sahiptir ve inşaat endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Polipropilen (PP), iyi kapsamlı mekanik özellikleri, olağanüstü sıcaklık ve kimyasal dirençleri, düşük yoğunluğu, kolay işlenmesi ve düşük maliyeti nedeniyle plastik endüstrisinde en yaygın kullanılan polimerlerden biridir [25, 26]. Research and Markets'tan yeni bir rapora göre, 2016 yılında 56,44 milyon ton olan küresel PP üretiminin 2022 yılına kadar 75,72 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, plastik malzeme ve fosil kaynak tüketimini azaltmak için PP ürünlerin hafif olması büyük önem taşımaktadır [27]. Otomotiv tamponları, kimyasal tanklar, kablo izolasyonu, akü kutuları, şişeler, benzin kutuları, iç ve dış mekan halıları, halı elyaflarında kullanım alanları vardır. [8] PP'in tekrarlanan birimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.14 Polipropilen tekrarlanan birimi [28]

1.4 Talk Dolgulu Polipropilen İle Yapılan Çalışmalar

Polipropilen (PP) gibi poliolefinler güçlü mekanik özellikleri, kolay işlenebilirlikleri ve düşük yoğunlukları nedeniyle mühendislik polimerleri arasında önemli bir paya sahiptir. Poliolefinler genellikle katkı maddesi olmadan kullanıldıklarında düşük fiziksel, mekanik ve termal özelliklere sahiptir. Dahası, nispeten ucuz değillerdir. Bu nedenle, poliolefinler çoğunlukla fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini geliştiren daha ucuz katkı maddeleriyle üretilir [29]. Bununla birlikte, bu kompozit malzeme üretiminde kritik bir parametre, gerekli iyileştirmeyi ve gelişmiş mekanik özellikleri elde etmek için iyi bir arayüzey yapışması ile fiber-matris arayüzünü kontrol etmektir [30]. Poliolefin malzeme üreticileri arasında son zamanlarda artan eğilim; benzer fiziksel, mekanik ve termal özelliklere sahip daha az yoğun malzemelerin daha düşük

ekleme oranlarında üretilmesidir. Bu malzemelerin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi için farklı proses parametrelerinin veya farklı katkı maddelerinin nihai ürün üzerindeki etkisinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır [31]. Otomotiv endüstrisi, son elli yılda önemli ölçüde büyüyen poliolefinler için önemli bir pazardır. Ortalama bir hafif araç, yaklaşık 150 kg plastik ve polimer kompozitten oluşur; bu toplam araç ağırlığının ağırlıkça % 8.4'ü, ancak polimerlerin düşük yoğunluğu nedeniyle toplam araç hacminin yaklaşık % 50'si anlamına gelir. Tipik hafif araç 1000'den fazla plastik parça içerebilir. PP, bileşiklerinin ve kompozitlerinin bağımsız kullanımının yanı sıra termoplastik poliolefin (TPO) elastomerlerinde de kullanılmaktadır. Ortalama TPO kullanımı şu anda araç başına 15 kg'ın üzerindedir. Plastik ve kompozitlerin kullanıldığı bir otomobilde üç ana kategori vardır:

Dış plastik parçalar; tamponlar ve çamurluk, ışık muhafazası ve lensler, jant kapağı ve trim olabilir. İç kısımlar; gösterge paneli, kapı panelleri, sütun kapakları ve koltuklar olarak sıralanabilir. Yakıt sistemi ve manifold da kaputun altında plastiklerin kullanılabileceği olası parçalardır [32].

Otomotiv endüstrisinde önemli olan enjeksiyon kalıplama gibi işleme teknolojileri kullanılarak çeşitli araç parçaları için yeni polimerik sistemlerin nasıl geliştirilebileceği çeşitli çalışmalarla araştırılmıştır. Uzun fiber kompozitlerin (LFC'ler) enjeksiyonla kalıplanması üzerine çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, pratik olarak enjeksiyonla kalıplama, karmaşık geometrilere sahip LFC parçaları üretmek için kolay bir işlem değildir. Choi ve Kim; [33, 34] PP / talk kompozitlerinin morfolojik davranışını ve özellikle kristallerin morfolojisini araştırmışlardır. PP, talk yüzeyinde trans-kristalize edilebilmiş ve PP kristalleri, talk yüzeyine dik olarak yönlendirilmiştir. Enjeksiyonla kalıplanmış numunenin deri katmanında, talk parçacıkları akış yönüne paralel olarak yönlendirilmiş ve bu nedenle kristal oryantasyonu daha yüksek değer göstermiştir. Bununla birlikte, çekirdek tabakada talk, rastgele ya da akış yönüne dik olarak yönlendirilmiş; böylece kristal oryantasyon derecesi daha düşük bir değer ortaya çıkarmıştır. Sıcaklığın ve talk içeriğinin PP'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi de araştırılmıştır [35]. Sonuçlar, sıcaklık artışının PP / talk kompozitlerinin mekanik mukavemetini önemli ölçüde bastırdığını, ancak talkın dahil edilmesinin bu baskılamayı telafi edebildiğini ortaya koymuştur. Talk içeriği ve sıcaklığın etkisi Saqan ve arkadaşları tarafından da

araştırılmıştır [36]. Sıcaklık artışı ile modülün azaldığı; ancak, kompozitlerin darbe dayanımı hem talk hem de sıcaklık ile artmıştır. Guerrica Echevarrı'a ve arkadaşları da [37] farklı enjeksiyon kalıplama proses parametreleri ile farklı talk oranlarına (ağırlıkça % 10, %20 ve % 40) sahip PP kompozitleri incelemişlerdir. Hem PP'nin kristal özelliklerinin hem de talkın çekirdeklenme etkisinin işleme koşullarına ve talk içeriğine bağlı olmadığını göstermişlerdir. Talk içeriği modülü arttırmış ve sünekliği düşürmüştür. Vida dönüş hızları ve enjeksiyon hızları, nihai özelliklerde önemli değişiklikler göstermemiştir. Bununla birlikte, daha yüksek kalıp sıcaklıkları, PP fazının yoğunlaşmasına neden olmuş, modül artmış ve süneklik azalmıştır. Düşük erime sıcaklıklarında, dolgulu PP daha düşük süneklik ortaya çıkarmıştır. Wang ve arkadaşları; ayrıca yeniden ekstrüzyon ve farklı talk içeriklerinin (ağırlıkça % 0, 10 ve 20) PP/talk kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırdı [38]. Altı defaya kadar seri ekstrüzyon yapmışlar ve ardından farklı numuneler hazırlamak için enjekte etmişlerdir. Yeniden ekstrüzyonun, önemli oksidasyon olmaksızın zincir kopmasıyla termomekanik bozulmaya neden olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda talk boyutunda kayda değer bir azalma ve en-boy oranında artış görülmüştür. Başka bir çalışmada, PP-talk, PP-mika ve PP-talk/mika hibrit kompozitler hazırlanmıştır [39]. Sonuçlar dolgu maddesi partikül boyutu, türü ve içeriğinin kompozitlerin mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ağırlıkça %20 talk içeren PP-talk kompozitlerinin gerilme modülü yaklaşık %103 oranında önemli ölçüde artarken, bu artışlar sırasıyla yaklaşık % 93 ve % 81 olan PP-talk/mika hibrit ve PP-mika kompozitlerinde daha az olmuştur.

Talk içeren polipropilen (PP) reçinesi, otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır [40]. Talk dolgulu PP, nispeten iyi mekanik performans ve düşük maliyet nedeniyle çok yönlü bir kompozittir ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Talk, PP kristalleşmesini teşvik etmek için iyi bir çekirdekletirici ajandır ve bu nedenle nispeten yüksek mukavemet ve sertlik sunar [41, 42].

1.5 Otomotiv Sektöründe Plastiklerin Geri Dönüşümü

1.5.1 Araçlardaki Geri Dönüştürülmüş Plastik İhtiyacı

Dünya çapında yaklaşık 300 milyon ton plastik üretilmekte ve bunun % 10'undan azı geri dönüştürülmektedir [43]. Otomotiv endüstrisi, başta iç ve aktarma organları bileşenleri olmak üzere yeni otomobillerin çeşitli parçaları için tüketici sonrası ve

endüstri sonrası geri dönüştürülmüş plastikleri tedarik etmektedirler. Örneğin; büyük bir Fransız otomobil üreticisi, Avrupa'da üretilen arabalarda 50 kg'dan fazla geri dönüştürülmüş plastiğe dönüşen % 20'ye kadar geri dönüştürülmüş plastik kullanmaktadır [44]. Aynı şirket, polipropilen kalkanlar için bir geri dönüşüm planı hazırladı. Sonuç olarak, otomotiv geri dönüşüm sektöründen yedi kaliteye sahip polipropilen hali hazırda onaylanmıştır; bunların üçü seri uygulamalar için, özellikle tekerlek davlumbazları için kullanılırken, diğerleri araç projelerinde onaylanmaktadır [45]. Bozulmaları nedeniyle artık benzer uygulamalar için uygun olmayan endüstriyel veya evsel atıklardan elde edilen plastikler, yeni otomobil parçaları yapmak için dayanıklı plastiklere dönüştürülmektedir. Örneğin, diğer otomobil üreticileri, amiral gemisi modellerinden birinin koltuk minderlerinde geri dönüştürülmüş poliüretan köpük plastik kullanıyor ve başka bir modelin tekerlek kaplamaları % 64 geri dönüştürülmüş plastikten üretiliyor [46]. Bir İskandinav otomotiv üreticisi, 2025 yılına kadar geri dönüştürülmüş plastiğin % 25'ini arabalara entegre etmeyi hedeflemektedir [47].

Teknik plastik geri dönüştürücüler, Ömrünü Tamamlamış Araçlarda (ÖTA) en yaygın kullanılan polimer türlerini (PP, PE, PP, PS, ABS) geri dönüştürme teknolojisinin, petrol fiyatları önemli ölçüde düşerse otomobil endüstrisinin gerektirdiği kaliteyi rekabetçi bir fiyata sunacak kadar yettiğini son on yılda kanıtlamıştır. Yine de, ÖTA plastiklerinin büyük çoğunluğu geri dönüştürülmüyor. Bu nedenle, kullanılmayan potansiyel plastikler son derece önemlidir ve araçlarda bulunan plastiklerin daha da artması beklendiğinden kesinlikle büyümeye devam edecektir. Tahminen, 500.000 birim ÖTA'dan geri dönüştürülen plastiklerin potansiyel olarak yaklaşık $7.11E + 07$ kg CO₂'den kaçınabileceğini, aksi takdirde gömülecek veya yakılacak olduğunu göstermektedir; bu nedenle, yalnızca döngüsellik açısından değil, aynı zamanda iklim değişiklikleriyle mücadele açısından da büyük çevresel faydalar sağlar [48].

1.5.2 Ömrünü Tamamlamış Araçlardan (ÖTA) Plastik Geri Dönüşümü

Otomotiv, dünya çapında yıllık 40 milyon ÖTA tahmini ile dünya çapında önemli bir endüstriyel ve ekonomik güçtür [49]. ÖTA direktifine uygun olarak ÖTA'ların doğru yönetimi, Döngüsel Ekonomi Eylem Planında (CEAP) tanımlandığı gibi daha döngüsel bir ekonomiye doğru ilerlemek için büyük önem taşımaktadır.

Avrupa'da yılda 6 ila 7 milyon ÖTA, ÖTA Direktifine uygun olarak muamele edilirken; yaklaşık 4 milyon araç, Avrupa'da her yıl bilinmeyen yerlere düşmektedir [50]. 2017'de işlenen 6,6 milyon ÖTA, sekiz milyon tondan fazla atık üretiyor ve bunlardan bir milyon tondan fazlası plastiğe karşılık gelmektedir [51]. ÖTA'lardaki plastiklerin, yeni arabalarda kullanımlarını sağlamak için plastik parçaların uygun şekilde geri dönüştürülmesi sağlanmalıdır [52].

Avrupa Birliği'nde (AB) otomotiv parçalayıcı kalıntısından plastiklerin mekanik ve termal geri dönüşümünün geliştirilmesi, doğrudan malzeme geri kazanımının % 85'i ve enerji geri kazanımının %10'u gibi yüksek ağırlığa dayalı geri kazanım hedeflerini empoze eden ÖTA direktifinden kaynaklanmaktadır. En son işlem sonrası teknolojiler ÖTA plastiklerinin fraksiyonlarının geri kazanılmasını sağlar, bunlar daha sonra yüzer havuz tankları (yoğunluk ayırma) veya kullanılan lazer ve kızılötesi sistemler gibi farklı ayırma teknolojileri kullanılarak plastikleri renge göre ayırmak için polimer başına ayrılır. Nihai geri dönüşüm adımları, parçalama ve ekstrüzyondan oluşur; bu, yeni arabalara yeniden yerleştirilmeleri için endüstri spesifikasyonlarını karşılayan polimer türleri tarafından post-endüstriyel peletlerin üretilmesiyle sonuçlanır. Ek olarak, yeniden kullanıma uygun yüksek kaliteli yeniden granülat üretmek için iyice çıkarılması gereken uçucu ve katı kirleticiler içeren polimerler, özel vakumlu gaz giderme ekstrüder modülleri ile yeniden işlenir. Çok malzemeli araç tasarımının artan karmaşıklığı, araç geri dönüşümü için çeşitli zorluklar yaratmıştır. Örneğin, otomobillerde kullanılan çok çeşitli plastikler (çok sayıda reçine, farklı katkı maddeleri vb.) veya zor olan güçlendirilmiş plastiklerin (cam elyafı, karbon elyafı ve cam boncuklar gibi dolgu maddeleri içeren) geri dönüşümü zorlaşabilmektedir. Esas olarak, bu zorluklar ve otomotiv sektöründe geri dönüştürülmüş plastik talebinin artmasını teşvik edecek teşviklerin bulunmaması nedeniyle, şu anda yalnızca daha yüksek miktarlarda bulunan polimerler (örneğin, PP, ABS, PS) geri dönüştürülmektedir [7].

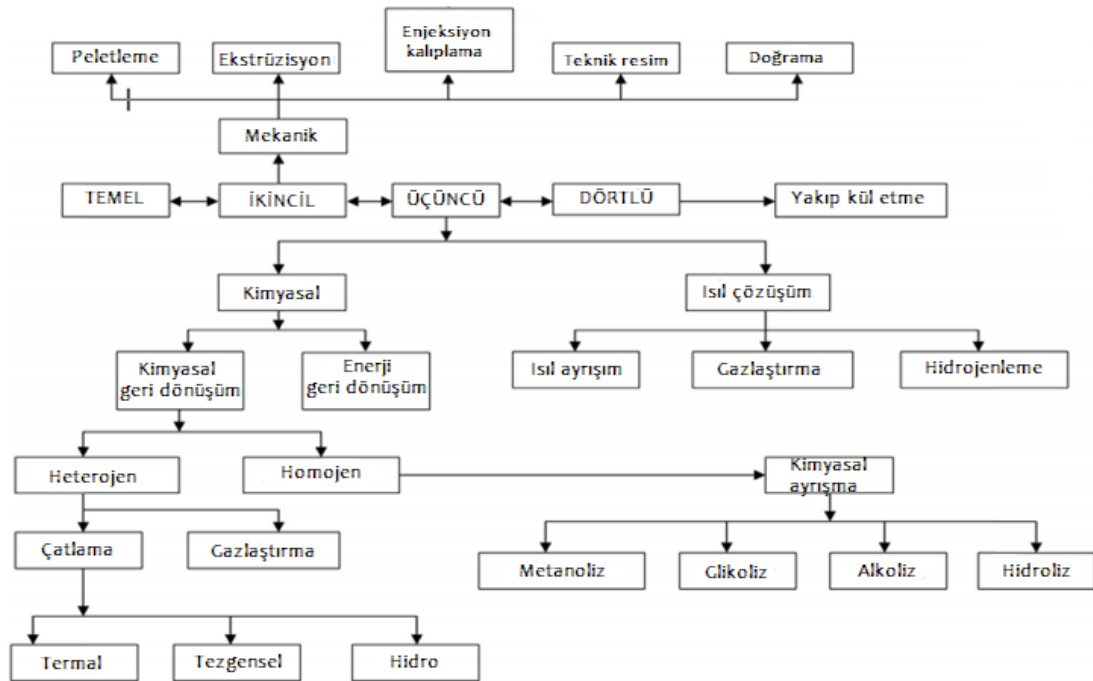
1.5.3 Otomotivde Geri Dönüşümün Önemi

Otomobillerde plastikler için geri dönüştürülmüş içerik hedeflerini bağlamak, otomotiv sektöründe plastik döngüsellliğini artırmak için yararlıdır. Gerçek anlamda döngüsel bir ekonomi elde etmek ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için; geri dönüştürülmüş içeriğe olan talebi çekmek, yüksek geri dönüşüm hedeflerini son

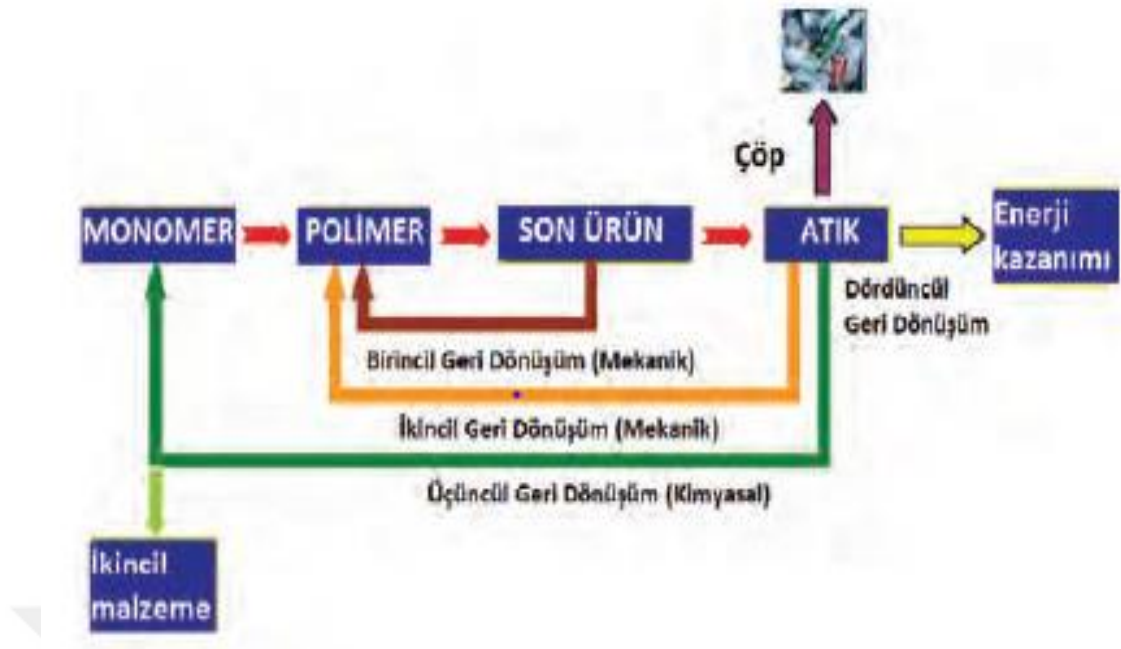
pazarlar için uygun tasarımıyla birleştirmek için çok önemlidir. Otomotiv sektörünün teknik plastik geri dönüştürücüler ve öncüler, geri dönüştürülmüş plastiklerin payını yeni arabalara kademeli olarak aktarmanın mümkün olduğunu son yıllarda kanıtlamışlardır [7].

1.5.4 Çeşitli Geri Dönüşüm Teknikleri

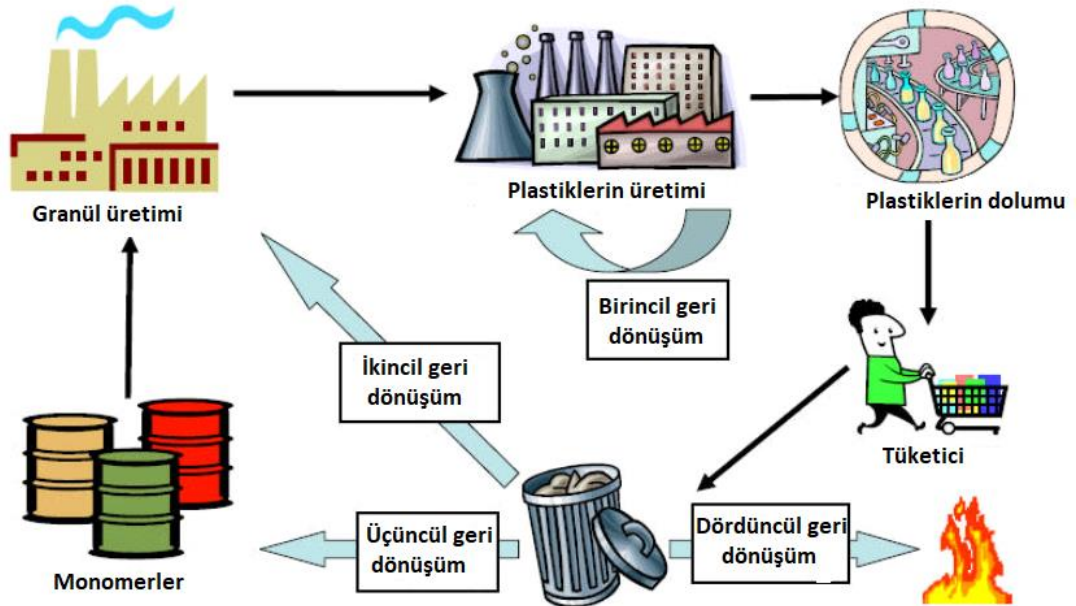
Plastik Katı Atık geri dönüşümü için birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül geri dönüşüm olarak dört ana yaklaşım vardır. Şekil. Polimerin geri dönüşüm tekniği, yeni polimer oluşumunda önemli bir rol oynar. Her tekniğin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. Malzeme bir geri dönüşüm sürecinden geçtiğinde gerilme mukavemeti, aşınma özellikleri ve boyutsal doğruluk açısından bazı özelliklerini kaybetmeye başlar. Ayrıca geri dönüşüm tekniklerinden bazıları aşağıda ayrıntılı olarak Şekil 1.15 ve Şekil 1.16’da açıklanmıştır [52].



Şekil 1.15 Geri dönüşüm için çeşitli yaklaşımlar [52]



Şekil 1.16 Geri dönüşüm türleri [53]



Şekil 1.17 Plastik geri dönüşüm özeti [54]

1.5.4.1 Birincil geri dönüşüm

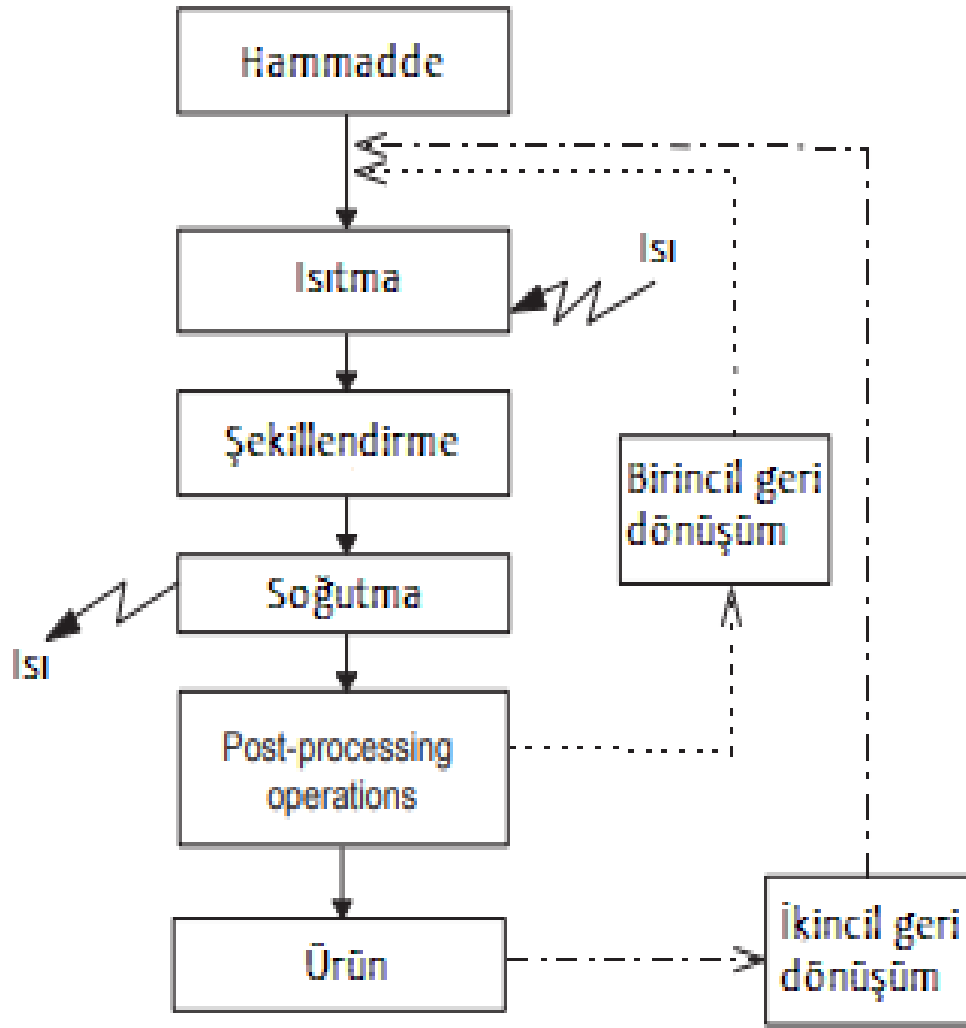
Genellikle yeniden ekstrüzyon [55] veya kapalı döngü işlemi [56] olarak bilinen birincil geri dönüşüm, işlenmemiş malzemeye yakın özelliklere sahip kirlenmemiş, tek tip polimerin geri dönüştürülmesidir [57]. Bu işlem, orijinal ürünlerle benzer özelliklere sahip hurda plastikleri kullanır [55]. Kirlenmiş parçalar başarılı bir şekilde

ayıklandıktan sonra ancak temiz veya yarı temiz hurda ile yapılabilen geri dönüşüm türüdür. Fazla atık nedeniyle genellikle kentsel katı atık birincil geri dönüşüm için uygun değildir [58]. İşlenmemiş malzemeye kıyasla daha iyi özellikler elde etmek için bir süre sonra, toplanan atıklara saf malzeme eklenmektedir [59]. Bu tekniğin kullanımı kolaydır ve plastik atığın orijinal kaliteli ürüne dönüştürülmesi nedeniyle üreticilerde popülerdir [60]. Enjeksiyon kalıplama ve diğer mekanik geri dönüşüm tekniklerini içerir. Farkı, malzemenin kalitesiyle ilgilidir [60].

1.5.4.2 İkincil geri dönüşüm

Birincil ve ikincil geri dönüşüm teknikleri, iyi kurulmuş ve yaygın olarak uygulanan tekniklerdir [61]. Bunların her ikisi de plastiğin mekanik geri dönüşümü ile bağlantılıdır [62]. İkincil geri dönüşüm, malzemenin daha az talep edilen ürünler için mekanik yolla dönüştürülmesidir. [59] İkincil geri dönüşümle ilgili adımlar genellikle [63] Kesme / parçalama, kirletici ayırma, yüzdürme ile pul ayırma şeklinde aşamalar içerir. Bu aşamalardan sonra, tek polimer plastik malzeme işlenir ve granüle form oluşturmak için birlikte öğütülür. Daha sonra her türlü tutkal partikülünün giderilmesi için ön yıkama ve ardından kurutma yapılır. Tutkalın çıkarılması için bir süre kostik soda kullanılarak kimyasal yıkama yapılır. Daha sonra ürün, pigment ve katkı maddelerinin eklenmesinden sonra toplanır, depolanır ve satılır.

Polimer atığın geri dönüşümü için ihtiyaca göre paletler yapılarak daha fazla plastik şerit ekstrüzyonu yapılır. Daha sonra nihai ürünler üretilir [55, 59]. Bu geri dönüşüm tekniği için iki yaklaşımdan birincisi; plastiği kirleticilerinden ayırıp onu jenerik forma ayırmak ve daha sonra onu işlenmemiş malzemeden üretilen ürünlere dönüştürmektir. Diğer yaklaşım ise, kirleticilerden ayrıldıktan sonra ve ayrıştırılmadan yeniden eritilmesidir. İkincil geri dönüşüm, çeşitli geri dönüşüm yöntemlerini içermektedir (vidalı ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, şişirmeli kalıplama vb.). Genellikle vidalı ekstrüzyon tercih edilir.



Şekil 1.18 Termoplastiklerin işleme döngüsü [65]

1.5.4.3 Üçüncül geri dönüşüm

Birincil ve ikincil geri dönüşüm teknikleri, malzemenin çeşitli yöntemlerle tanımlanmasını ve sınıflandırılmasını içerdiğinden, işlenmesi zor görünmektedir. Birincil geri dönüşümde, polimer atık kirliliklerinin kaldırılması zor bir iştir, çünkü monomer atık kirlilikleri çoğu heterojen bileşenlerin bir koleksiyonudur. Özellikle ikincil geri dönüşümde, kentsel katı atığın homojen olması, geri dönüştürülmesini çok zorlaştırır [56]. Polimerin petrol bazlı ürünlerden oluştuğu bilinen bir gerçektir [58]. Birincil ve ikincil tekniğin her ikisi de enerji sürdürülebilirliği ilkesine katkıda bulunmaz. Öte yandan, üçüncül geri dönüşüm, enerjinin sürdürülebilirliği ilkesine olan katkısını kanıtlamaktadır. Çünkü plastiklerin orijinal olarak yapıldığı

hammadelerin üretilmesine yol açarak geri dönüşümcülerin dikkatini çekmektedir. Piroliz, kraking, gazlaştırma ve kemoliz dahil olmak üzere çeşitli geri dönüşüm yöntemlerini içerir. Temel olarak monomerlerin depolimerizasyon işleminden plastik katı atıktan geri kazanılması, üçüncül geri dönüşüm olarak adlandırılır. Kimyasal ve termal geri dönüşüm, mevcut üçüncül geri dönüşüm tekniklerinin başlıca türleridir. Plastik katı atığın kimyasal yollarla ve ısı ile depolimerizasyonuna sırasıyla solvoliz ve termoliz denir. Havasız ortamda yapılması işlemine ise piroliz denir. Kontrollü ortamlarda yapılırsa gazlaştırma denir. Polimerlerin, dietilen veya glikol etilen glikol gibi glikol varlığında bozunması, glikoliz olarak bilinir ve metanol varlığındaki polimerler metanoliz olarak bilinir. Bu aynı zamanda bir transesterifikasyon örneğidir [59].

1.5.4.4 Dördüncül geri dönüşüm

Birincil, ikincil ve üçüncül tekniklerle plastik katı atığın bir dizi geri dönüşüm döngüsünden sonra malzeme özelliklerini kaybetmeye başlar. Atıkları atmanın tek yolu toprakla doldurmaktır. Ancak malzemenin toprakla doldurulması, dünya yüzeyinin kirlenmesine yol açar. Atık bertaraf etmenin daha etkili yolları, malzeme veya atığın dördüncül geri dönüştürülmesinden geçer. Yeni yakma fırınlarının verimliliğindeki artış nedeniyle, yakma yoluyla monomer katı atığın imhası artmaktadır [64]. Dördüncül geri dönüşümde atık malzeme yakma yoluyla enerji geri kazanımı için işlenir [66]. Bu aynı zamanda atık hacminin azalmasına yol açar ve geri kalanı toprağa doldurulabilir [61].

1.6 Otomotiv Plastiklerinin Üretim Yöntemleri

Plastikler metallere kıyasla, çok az enerji kullanılarak çok kolay bir şekilde işlenebilmektedirler. Sonuçta ortaya çıkan ürünler, düşük özgül ağırlık nedeniyle ince estetiği hafiflikle birleştirirler.

Tasarım Sürecindeki adımlar:

1. Spesifikasyonların veya gereksinimlerin tanımı
2. Bir ön konseptin oluşturulması
3. Kullanılacak malzeme türünün seçimi
4. Malzeme özelliklerine göre mekanik tasarım

5. Uygun olduğu durumlarda malzeme sınıfının seçimi
6. İmalat sürecini kolaylaştırmak için tasarımın ayarlanması
7. Aletlerin tasarımı ve imalatı
8. Üretim

Bir termoplastiğin eriyik olarak işlenmesi, malzemenin erimiş bir duruma getirilmesini ve akmasını gerektirir. Bu işlem sırasında, tek tek moleküller kendilerini malzemenin akışıyla ilişkili yönlerde hizalama eğilimindedir ve bu, plastik ürünlerde potansiyel olarak izotropid eğilme ve muhtemelen tolerans dışına çıkma eğilimi özellik yaratır. Bu zorlukların yanı sıra, plastiklerin mekanik özellikleri ve ısı dirençleri metallere kıyasla zayıftır. Bu zorluklardan bazıları, malzemeyi karbon veya cam elyaf gibi özel takviye veya karbon tüpler veya nanokiller gibi nano dolgular ile birleştirerek en aza indirilir. Elde edilen güçlendirilmiş plastikler, mühendislik uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır [62].

Plastik işleme takımları, parçanın şeklini belirler. Tam bir üç boyutlu plastik parça oluşturmak için bir kalıp kullanılır. Kalıpları kullanan plastik işlemler; sıkıştırmalı kalıplama, enjeksiyonla kalıplama, üfleli kalıplama, ısıyla şekillendirme ve reaksiyon enjeksiyonlu kalıplamadır (RIM) [65].

1.6.1 Termoplastiklerin İşlenmesi

Eriyik işlemeye dayalı çoğu termoplastik işleme tekniği bir işleme yolunu izler, burada malzeme aşağıdaki işlemlerden geçer:

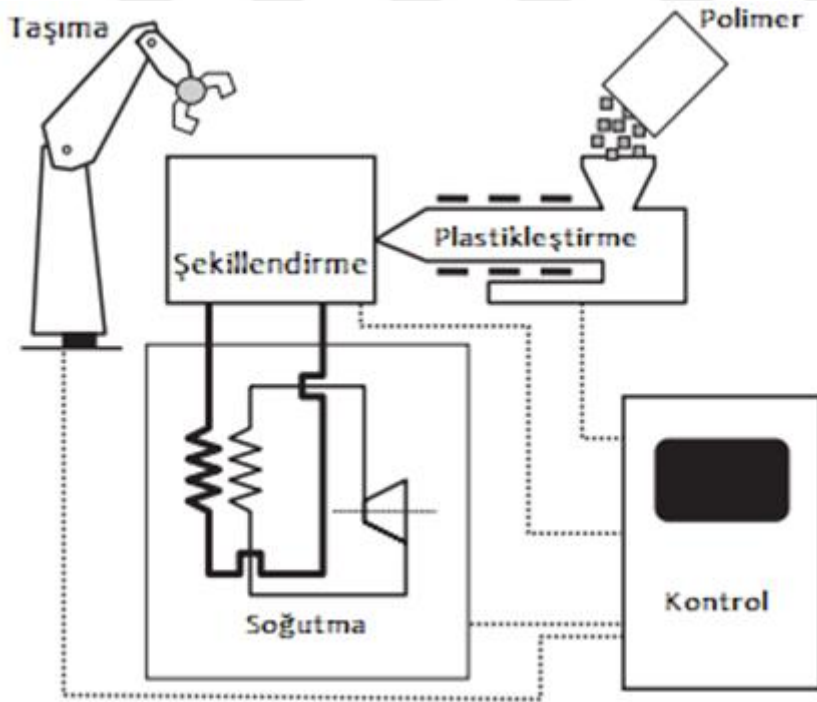
1. istenen viskozite derecesine ulaşılan kadar eritme veya yumuşatma
2. bir kalıpta veya bir ekstrüzyon kalıbında basınç altında akışı içeren şekillendirme
3. Ürünün belli bir dayanıklılığa gelene kadar soğutulması
4. Bitirme, boyama, kalite kontrol, paketlenme ve depolama dahil olmak üzere işlem sonrası adımlardır.

Yukarıda ayrıntıları verilen işlem yolunda, malzemeye basınç altında akışına (eriyik) izin vermek için yeterince viskoz bir durumda iken nesnenin nihai şekli verilir. Sadece yarı kristalli polimerlerin erimeye yatkınlığı olmasına rağmen, "eriyik"

tanımı hem bu malzemeler hem de amorf olanlar için yaygındır. Termoplastik ürünler kontrollü koşullar altında aşağıdaki genel teknikler kullanılarak şekillendirilebilir.

Termoplastik eriyik işleminin ilkeleri belki de en iyi şekilde ekstrüzyon, enjeksiyonla kalıplama, şişirme ve perdahlama işlemlerini gösteren Şekil 1.17'deki temel işleme adımlarıyla gösterilebilir. Sürecin tam potansiyelini gerçekleştirmek için aşağıdaki faktörleri dikkate almak gerekir:

- polimerin erimesini etkileyen termal özellikler
- termal kararlılık
- akış özellikleri
- Polimerin soğumasını etkileyen termal özellikler
- kristalleşme
- oryantasyon



Şekil 1. 19 Termoplastik işlemede fonksiyonel sistem [65]

1.6.2 Enjeksiyon Kalıplama

Termoplastik malzemelerin eritilerek bir kalıp yardımıyla istenilen şekle getirilmesinde kullanılan makinelere plastik enjeksiyon makinesi denir. Mevcut imalat endüstrisinde enjeksiyon kalıplama, plastik parça üretimi için en yaygın işlemlerden biridir. Temel plastik şekillendirme basamağı aşağıdaki adımları kapsar:

1. Ham maddenin erimesine neden olan plastikleştirme
2. Ürün şeklini belirlemek için kalıp veya kalıp ile şekillendirme
3. Ürünün kontrollü soğutulması için soğutma
4. Kalıptan çıkarma
5. Proses değişkenlerinin kontrolü ve izlenmesi (basınç, sıcaklık, hız, zaman).

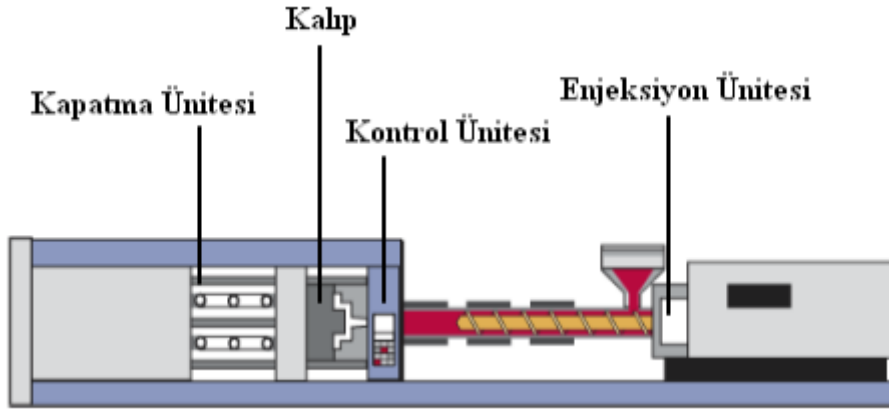
Enjeksiyon kalıplama işleminde basınç altında kalıba akan malzemenin plastikleştirilmesi, erimiş plastiğin kalıp bileşenlerinin sınırları ile istenen nesneler halinde katılaştırılması ve katılaşmış plastik parçayı çıkarmak için kalıbın açılmasıdır. Enjeksiyon kalıplama, günümüzde farklı tipteki polimerleri yeniden işlemek için yaygın olarak kullanılan çok yönlü ve önemli teknolojilerden biridir [67]. Aşağıdaki şekilde bir enjeksiyon makinesinin şekli gösterilmiştir.



Şekil 1.20 Enjeksiyon kalıp makinesi [68]

1.6.2.1 Enjeksiyon makinesi bileşenleri

Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin ana kısımları; enjeksiyon birimi, kontrol birimi, kalıp ve kapatma (mengene) birimlerinden oluşmaktadır. Bunlar Şekil 1.21’de gösterilmiştir [69].



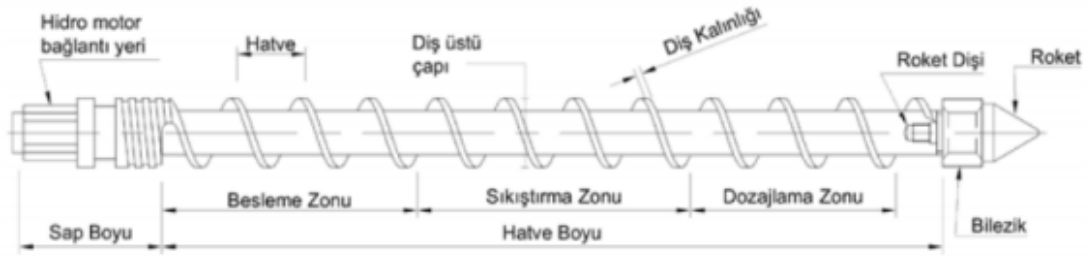
Şekil 1.21 Enjeksiyon makinesi ana bölümleri

Enjeksiyon ünitesi, plastik granüllerin eritildiği ve plastik eriyiğin kalıba basıldığı kısımdır. Enjeksiyon ünitesi, tasarım ve yapım açısından özellikle de bir alaşım kovana ve hareketli bir vidaya sahip olması bakımından bir ekstrüdere çok benzer. Bununla birlikte, bir ekstrüderden farklı olarak, enjeksiyon vidası bir ileri geri hareketle ileri geri hareket edebilir. Bu, pistonlu enjeksiyon kalıplama makinesi ismine yol açmıştır. Enjeksiyon ünitesi aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır:

Huni: Hammadde küçük granüller şeklinde tedarik edilir. Huninin temel amacı bu peletleri tutmaktır. Bu granüller, yerçekimi yardımıyla huni boğazından vidalı kovana beslenir.

Kovan: Kovan vida veya pistonu destekler. Vida ile birlikte plastik malzemelere makasın uygulandığı yatak yüzeyini sağlar. Bu makinelerde kovana dört kademeli ısıtma sağlanmaktadır.

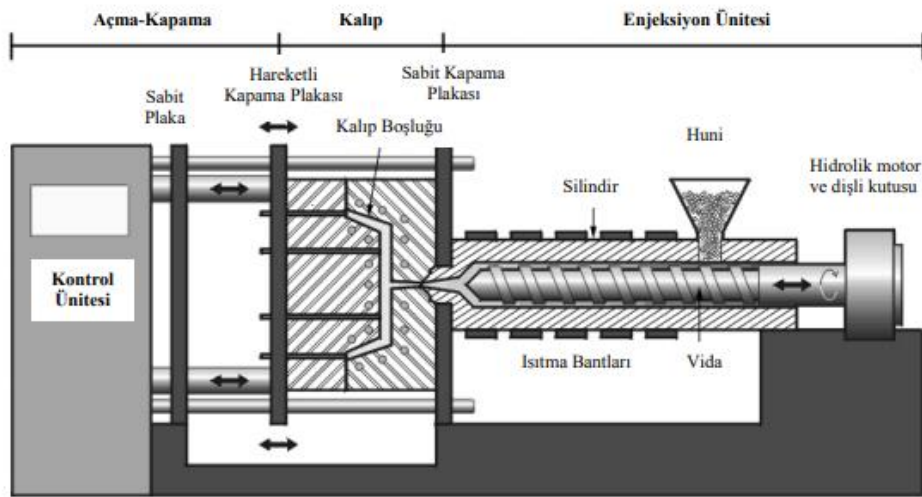
Vida: Vida, hazırlanan erimiş plastiği mekanik olarak işlemek ve ilerletmek için kovan içinde dönen sarmal ve sert çelik mildir. Vida besleme bölgesi, geçiş bölgesi ve ölçüm bölgesi olmak üzere üç bölgeden oluşur. Vidanın dış çapı sabit kalırken, ileri geri hareket eden vida üzerindeki katların derinliği besleme bölgesinden ölçüm bölgesinin başlangıcına kadar azalır.



Şekil 1.22 Vida şematik görünümü [70]

Nozul: Nozul, kovanı kalıbın yolluk burcuna bağlar ve kovan ile kalıp arasında bir sızdırmazlık oluşturur.

Isıtıcılar: Plastik malzeme enjeksiyon ile ısı ve basınç altında şekillendirilir. Polimerin şekillendirilmesi için erime sıcaklığına eritilmesini sağlayan enjeksiyon ünitesi içerisinde ısıtıcılar bulunmaktadır.



Şekil 1.23 Enjeksiyon kalıplama makinesi bileşenleri [70]

Mengene ünitesi enjeksiyon basıncına karşı kalıbı açar, kapatır ve kapalı tutar. Ana bileşenleri, sabit ve hareketli plakalar, bağlantı çubukları ve açma, kapama ve sıkıştırma mekanizmasıdır [69]. Bir enjeksiyon kalıplama makinesinin boyutu, 50 ila 1000 ton arasında değişen mengene ünitesinin kapasitesi ile tanımlanır. Belirli bir mengene ünitesine sahip bir makine, çeşitli enjeksiyon üniteleri ile tedarik edilebilir. Enjeksiyon ünitesi kapasitesi, tek bir döngüde enjekte edilebilen maksimum eriyik hacmi olan atış boyutu ile tanımlanır. Atış boyutu, vidanın çapına ve ileri geri

hareket edecek şekilde tasarlandığı mesafeye göre belirlenir. Atış boyutu genellikle ağırlık veya hacim olarak ifade edilir.

Kontrol ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve mengene ünitesi için güç sağlar. Enjeksiyon kalıplama makineleri genellikle makinenin üretebileceği maksimum mengene kuvvetine göre sınıflandırılır. Bu, kalıptaki plastik eriyiğin iç basıncı nedeniyle kalıbın açılmasını önlemek için iki kalıp yarısını birbirine iten kuvvettir [71].

Temel bir kalıp ise içine erimiş malzemenin enjekte edildiği bir baskı oluşturan iki plakadan oluşur. Kalıp kapandığında bir sızdırmazlık oluşturmak üzere bir araya gelen iki plaka (çekirdek ve boşluk) üzerindeki yüzeyler, ayırma yüzeyleridir. Kalıplanmış parça üzerindeki, kalıptan ayrılma yönleri boyunca çıkmasını engelleyen girintilere veya çıkıntılara alttan kesme denir. Alttan kesme türlerine bağlı olarak, alttan kesmenin temizlenmesine yardımcı olmak için kaydırıcılar ve kaldırııcılar gibi farklı mekanik cihazlar kullanılır. Genel olarak çekirdek, boşluk, sürgüler ve kaldırııcılar, eksiksiz bir enjeksiyon kalıbının temel alt montajını oluşturur.

Bir enjeksiyon kalıbı, her birinin tasarımı diğerlerini etkileyen birkaç parçadan oluşur. Bu nedenle, verimli bir soğutma sisteminin dahil edilebilmesi için kalıp tasarımının metodolojisi anlaşılmalıdır. Bir enjeksiyon kalıbının ana unsurları aşağıdaki gibidir:

Mengene Plakaları: Kalıbın her iki tarafında bir tane bulunur.

Boşluk Plakası: Bu plaka boşluğun sabit tarafını içerir.

Çekirdek Plaka: Bu plaka boşluğun hareketli elemanını içerir.

Destek Plakaları: Bu plakalar, kalıbın hareketli kısmının hareketini yönlendirmek ve desteklemek için kullanılır.

İtici Pimler: Bu pimler, plastik parçayı kalıbın hareketli tarafından uzaklaştırmak için kullanılır.

Ejektör Plakası: Bu plaka, ejektör pimlerini desteklemek ve yönlendirmek için kullanılır.

Düşey Yolluk: Kalıba plastiğin enjekte edildiği kısımdır.

Yolluklar: Plastiğin kanaldan boşluğa aktığı kanallardır.

Girişler: Yolluk ve boşluğu birbirine bağlayan açıklıktır [71].

Bu bileşenlerin düzeni, enjeksiyon kalıbındaki boşlukların sayısına ve bunların yerleşimine bağlıdır. Şekil 1.24’de 3 boyutlu parlatılmış görünümde tam bir enjeksiyon kalıbını göstermektedir.



Şekil 1.24 Enjeksiyon kalıbı 3 boyutlu görünümü [72]

Kalıp, soket başlı vidalarla civatalanmış bir dizi plakadan oluşur. Kalıbı enjeksiyon kalıplama makinesinde tutmak için, üst ve arka kelepçeye bitişik yuvalara parmak kelepçeleri yerleştirilir.

Ardından kalıplama makinesinin sabit ve hareketli plakalarına civatalanır. Genellikle kalıbın merkezinde bulunan bir yerleştirme halkası, kalıbın girişini kalıplama makinesinin nozulüne hizalamak için kalıplama makinesinin sabit plakasındaki bir açıklıkla yakından eşleşir. Yer belirleme halkasının kullanımı en az iki nedenden dolayı gereklidir. İlk olarak, kalıbın döküm kovanındaki eriyiğin kalıba girişi, kalıplama makinesinin nozulünden çıkan eriyik çıkışı ile eşleşmelidir. İkinci olarak, kalıplama makinesinin hareketli plakasının arkasından çalıştırılan ejektör boşaltma çubuğu / çubukları, kalıbın ejektör sistemi ile eşleşmelidir.

Bir enjeksiyon kalıplama makinesi, hidrolik güçle çalıştırılır ve bir elektrik motoru ile donatılmıştır. Enjeksiyon ünitesinin bir mafsallı mekanizması kalıbı açıp kapatır ve enjeksiyon sırasında kalıbı kapalı tutar. Bir hidrolik silindir, vidayı ileri doğru iter ve böylece eriyiğin kalıba enjekte edilmesini sağlar. Ayrı bir hidrolik motor, vidayı plastikleştirmek, homojenleştirmek ve eriyiği basınçlandırmak için döndürür. Bu sistemlerin kontrolü, hidrolik, elektrik ve geçiş mekanizmasının birleşik bir işlevidir. Enjeksiyon kalıplama makinesinde mengene ünitesi solda ve enjeksiyon ünitesi

sağdadır. Mengene biriminin baskı levhaları arasında, kalıbın yarısı sabit levhaya ve diğeri hareketli levhaya tutturulmuş olarak bir kalıp konumundadır. Kalıp açıldığında, hareketli plaka sabit plakadan uzaklaşır ve kalıplanmış parça çıkarılabilir. Parça çıkarıldıktan sonra kalıp, bir sonraki enjeksiyon döngüsüne hazırlık olarak kapatılır [70].

1.6.2.2 Enjeksiyon kalıplama prosesi

Enjeksiyon kalıplama işlemi, granüllerin huniye beslenmesiyle başlar. Bu granüller daha sonra ısıtıldıkları, eritildikleri ve akıtıldıkları vidaya geçirilir. Bu şekilde elde edilen erimiş malzeme yüksek basınçta kalıba enjekte edilir ve burada kalıp boşluğunu doldurup kalıbın şeklini alıp katı halde çıkarılana kadar basınç altında tutulur [73].

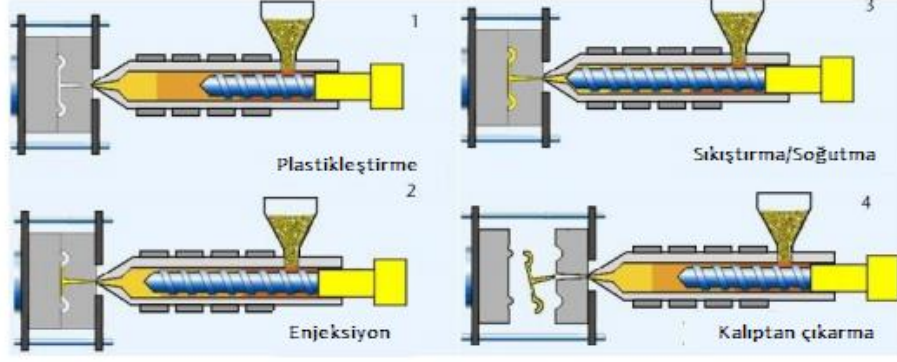
1.6.2.3 Enjeksiyon kalıplama prosesi basamakları

1. Plastikleştirme: Hunideki polimer optimum sıcaklığa kadar ısıtılır ve enjeksiyon içinde akması sağlanır.

2. Enjeksiyon: Kontrollü hacimde erimiş polimer, basınç altında kapalı kalıba vida kovanı yardımıyla verilir. Enjeksiyon işlemi sırasında basıncı, sıcaklığı ve soğutma işlemini kontrol etmek için Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) bulunur. Erimiş malzemenin katılaşması kalıp içinde başlar. Enjekte edilen erimiş polimer, katılaşma sırasında enjekte edilen malzemenin hacimsel büzülmesini ve geri akışını önlemek için belirtilen süre boyunca basınç altında tutulur.

3. Paketleme / Soğutma: Kalıplama makinesinde PLC ile kontrol edilen soğutma kanalları bulunmaktadır. Enjekte edilen parça çıkarılmadan önce yeterince sert olana kadar soğutulur.

4. Kalıptan Çıkarma: Soğutmadan sonra elde edilen enjeksiyonla kalıplanmış parça çıkarılır ve bir sonraki kalıplama döngüsüne başlanabilmesi için kalıp tekrar kapatılır.



Şekil 1.25 Enjeksiyon kalıplama aşamaları [71]

1.6.2.4 Enjeksiyon parametreleri

Enjeksiyonda kalite standartlarına uygun ve hatasız ürün üretmek için sıcaklık, basınç, zaman ve mesafe parametrelerini dikkatle uygulamak önemlidir. Örneğin; enjeksiyon kalıplama çevrim süresi üzerinde büyük bir etkiye sahip olan kalıptaki soğuma süresi; parça kalınlığına, erime sıcaklığına (enjeksiyon sırasında sıvı polimerin sıcaklığı), kalıp duvar sıcaklığına ve kalıptan çıkarma sıcaklığına (ortalama) bağlıdır. Daha kısa soğutma süreleri için, eriyik ve kalıp sıcaklıkları olabildiğince düşük seçilir ve kalıptan çıkarma sıcaklığı, kusur oluşturmada ve enjeksiyonla kalıplanmış parçanın kalitesini etkilemeden mümkün olduğu kadar yüksek seçilir.

Parça tasarımına, kalıp tasarımına ve işleme parametrelerine bağlı olarak, enjeksiyonla kalıplanmış parçalarda çeşitli kalıplama hataları gözlemlenebilir. Bunlar, doldurulmamış boşluk, yüzey kusurları, iç boşluklar, yüksek büzülme, çarpıklık, çökme izleri, kaynak hatları ve artık gerilmeleri içerir. Bu kusurların çoğu, erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı gibi uygun işlem parametreleri seçilerek azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Proses parametreleri aynı zamanda moleküler oryantasyonu, artık gerilmeleri ve kristallliği (yarı kristalin polimerler için) etkiler ve bu da enjeksiyonla kalıplanmış parçaların özelliklerini ve performansını etkiler. Üretilen ürünün kalitesini etkileyen önemli parametrelerden bazıları aşağıda verilmiştir:

1. Enjeksiyon kalıplama ürününün kalıplama döngüsü: Enjeksiyon süresini ve ürün soğutma süresini içerir ve bu sürelerin etkin kontrolü, üretim verimliliği üzerinde derin bir etkiye sahiptir.

2. Kalıp Sıcaklığı: Farklı plastik parçacıkların, kristalleşme sıcaklığı ve hızı farklıdır. Ürünün görünümü, deformasyonu, boyutu, plastik kalıbı vb. farklı gereksinimlere sahiptir, bu da farklı plastik ve ürün kullanılması durumunda enjeksiyon kalıbı sıcaklık kontrolünün farklı olmasını sağlar.

3. Enjeksiyon basıncı: Plastik, enjeksiyon basıncının boyutunu doğrudan enjeksiyon kalıplama ürünlerinin boyutunu, ağırlığını, yoğunluğunu, görünümünü vb. belirleyen kalıp boşluğunu doldurma sürecinde büyük direnç gösterir. Bu faktörlerden herhangi biri etkilenirse, ürün hatalı olur. Bu durum enjeksiyon mühendisinin, ürünün birleşik faktörlerine dayalı olarak enjeksiyon basıncı kontrolünü makul bir şekilde tanımlamasını gerektirir.

4. Enjeksiyon hızı: Enjeksiyon hızı, enjeksiyon kalıplama ürünlerinin nihai görünüm kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Enjeksiyon hızı genellikle birim zamanda enjeksiyon silindirene sağlanan yağ miktarının ayarlanmasıyla elde edilir.

5. Kovan sıcaklığı ve erime sıcaklığı: Eriyik sıcaklığı, eriyiğin akış özelliklerinde önemli bir rol oynar. Plastik belirlir bir erime noktası yoktur. Sözde erime noktası, erimiş haldeki bir sıcaklık aralığıdır. Her iki sıcaklığın kontrolü de enjeksiyon kalıplama ürünlerinin kalitesinde çok önemli bir rol oynar [74].

1.6.2.5 Enjeksiyon kalıplama avantajları

Enjeksiyon kalıplama, aynı plastik ürünleri yüksek hacimlerde üretmenin en yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir. Bununla birlikte her süreçte olduğu gibi; uygun maliyetli, yüksek kaliteli parçaların başarılı bir şekilde üretilmesinin bariz faydalarını kolaylaştırmak için uyulması gereken belirli tasarım kısıtlamalarını anlamak önemlidir. Enjeksiyon kalıplamanın avantajları;

1) Hızlı üretim ve yüksek verimli: Enjeksiyon kalıplama, saatte inanılmaz miktarda parça üretebilir. Hız, döngü süresi başına 15-120 saniye arasında herhangi bir yerde kalıbın karmaşıklığına ve boyutuna bağlıdır.

2) Düşük işçilik maliyetleri: Plastik enjeksiyon kalıplama, işlemin çoğunun tek bir operatörün kontrol edebileceği ve yönetebileceği makineler ve robotikler tarafından gerçekleştirildiği otomatik bir işlemdir. Otomasyon, genel giderler önemli ölçüde azaldığından üretim maliyetlerini düşürmeye yardımcı olur.

3) Tasarım esnekliği: Kalıplar son derece yüksek basınca maruz kalır. Sonuç olarak, kalıpların içindeki plastik daha sert bastırılır ve parçaya büyük miktarda detayın basılmasına ve karmaşık şekillerin üretilmesine izin verir.

4) Yüksek verimli üretim: Aletlerin bakımı gerekmeden önce binlerce parça üretilebilir.

5) Büyük malzeme seçimi: Aralarından seçim yapılabilecek geniş bir polimer yelpazesi vardır. Aynı anda birden fazla plastik malzeme de kullanılabilir; örneğin TPE, PP parçalar üzerine kalıplanabilir.

6) Düşük ıskarta oranları: Enjeksiyon kalıplama, geleneksel üretim süreçlerine kıyasla çok az üretim sonrası hurda üretir. Bununla birlikte, kullanılmayan veya atık plastikler ileride kullanılmak üzere yeniden topraklanabilir ve geri dönüştürülebilir.

7) Eklenti ekleyebilme: Metal veya plastik ekler kalıplanabilir.

8) İyi renk kontrolü: Plastik parçalar; masterbatchler veya karışımlar kullanılarak istenilen renklerde üretilebilir.

9) Ürün tutarlılığı: Enjeksiyon kalıplama tekrarlanabilir bir süreçtir; başka bir deyişle, üretilen ikinci parça birinciyle aynı olacaktır. Bu, yüksek hacimlerde yüksek toleranslar ve parça güvenilirliği üretmeye çalışırken büyük bir avantajdır.

10) Azaltılmış son işlem gereksinimleri: Parçaların çıkarıldığında genellikle iyi bir bitmiş görünümü olduğundan, genellikle çok az post-produksiyon çalışması gerekir.

11) Artırılmış Güç: Plastik enjeksiyon kalıplama yapılırken, kalıplama malzemesinde dolgu maddelerinin kullanılması mümkündür. Bu dolgu maddeleri, kalıplanırken plastiğın yoğunluğunu azaltır ve tamamlanan parçaya daha fazla mukavemet kazandırmaya yardımcı olabilir [75].

1.7 Çok Bileşenli Enjeksiyon Kalıplama

Standart enjeksiyon kalıplamanın pratik imalatla giderek daha fazla yerleşmesiyle birlikte, özel versiyonlar ilgi çekmektedir. Enjeksiyon kalıplama, tüm plastik işleme yöntemlerinin ticari olarak en önemlisidir. Çok çeşitli mamul ürünlerin üretimini karmaşıklık ve incelik yapar. Ayrıca, yüksek üretim oranlarında yüksek hassasiyetli, üç boyutlu parçalara izin verir. Enjeksiyonlu kalıplama işlemi için farklı

tipde polimer malzemeler ticari olarak temin edilebilir. Birçok uygulamada plastik yerine metal, cam, silikon, ahşap gibi geleneksel malzemeler kullanılabilir.

Son zamanlarda, aslında geleneksel tek malzemeli enjeksiyon kalıplama sürecini kullanan hemen hemen her endüstri (örneğin, otomotiv, tüketim malları, oyuncaklar, elektronik ve, elektrikli aletler) çok malzemeli kalıplama işlemlerini kullanmak üzere değiştirildi. Bazı yaygın uygulamalar arasında çok renkli nesneler, dış kaplama düzenlemeleri, kalıp içi monte edilmiş nesneler, yumuşak dokunuşlu bileşenler (sert alt tabaka parçalarıyla) ve seçici uyum nesneleri bulunur [76, 77]. Otomotiv sektöründe uygulanan 2K teknolojisi ile bu tezde üretilen plastik parça Şekil 1.26’da ve benzin depo kapağı olarak 2K teknolojisi ile üretilen plastik parça Şekil 1.27’de verilmiştir [78].



Şekil 1.26 İki bileşenli deflektör parçası



Şekil 1.27 İki bileşenli benzin depo kapağı [78]

Şimdiye kadar makro, mikro ve nano teknoloji uygulamaları için çeşitli malzemeler; silikon, polimerler, bazı metaller ve benzerlerinin hakimiyeti altındaydı. Geçtiğimiz yıllarda, çeşitli çok malzemeli enjeksiyon kalıplama işlemleri, çok malzemeli nesnelerin üretimi için ortaya çıkmıştır. Bu çok malzemeli nesneler, kalıpların içinde gerçekleştirilen imalat ve montaj adımları sayesinde, montaj işlemlerinde ve üretim döngüsü sürelerinde önemli bir azalmaya izin veren farklı bölümlerin farklı malzemelerden yapılmış olmasıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca ürün kalitesi iyileştirilebilir, üretim hatası olasılığı ve toplam üretim maliyetleri azaltılabilir.

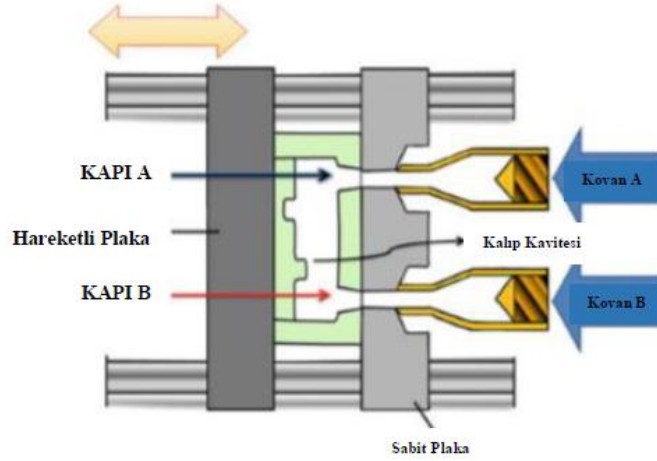
Çok malzemeli enjeksiyon kalıplamada, farklı malzemeler sırayla çok aşamalı bir kalıba enjekte edilir. Bir kalıplama aşamasında doldurulmayan kalıplama gövdesinin bölümleri geçici olarak bloke edilir. İlk enjekte edilen malzemeler düzenlendiğinde ve ardından kalıbın bir veya daha fazla bloke edilmiş kısmı açılır ve sonraki hazırlanan malzemeler enjekte edilir. Bu işlem, çok malzemeli nesneler elde edilene kadar devam eder.

Çok malzemeli enjeksiyon kalıplama, nispeten genç bir üretim teknolojisi olarak kabul edilebilir, temel işlemin birçok değiştirilmiş versiyonu geliştirilmiştir, örneğin, enjeksiyon sıkıştırma, gaz destekli, su enjeksiyonu, co-enjeksiyonu ve üzerine kalıplamadır.

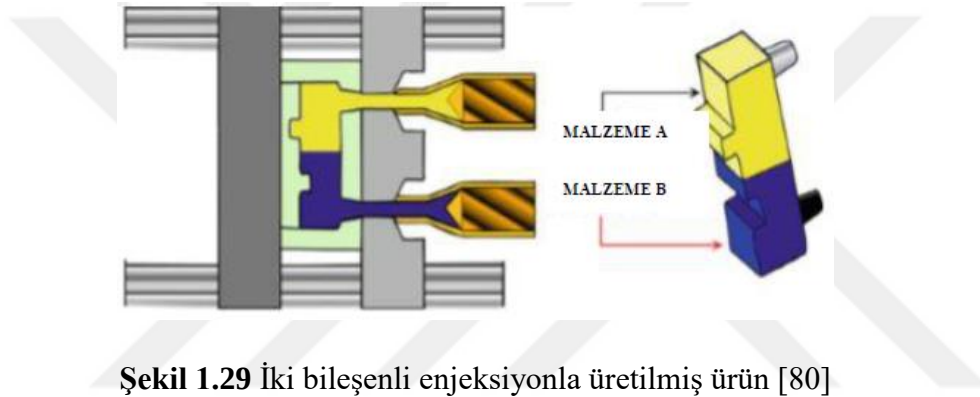
Spesifik süreci net bir şekilde özetlemek için çok malzemeli enjeksiyon kalıplamada çeşitli terminolojiler adlandırılmıştır. Burada temel olarak üç farklı türde çok malzemeli kalıplama işlemi vardır; çok bileşenli, çoklu atış ve üzeri (insert) kalıplamadır.

1.7.1 İki Bileşenli Enjeksiyon Kalıplama (2K Enjeksiyon)

İki bileşenli enjeksiyon kalıplama, iki farklı reçinenin aynı kalıp gövdesi içindeki farklı kapılardan aynı anda enjekte edildiği bir işlemdir. Farklı kapılardan enjekte edilen malzemeler tek parçaya akarken ortak bir arayüzde buluşur ve çapraz bağlanır. Çift enjeksiyonlu kalıplama nispeten basittir ve sadece basit, düşük toleranslı parçalar üretmek için kullanılır [79]. Arayüzler, ayrı reçineler bir araya geldiğinde genellikle çok basit düzlemsel yüzeyler olduğunda doğal olarak oluşturulur. Şekil 1.28 bir çift enjeksiyonlu kalıplama makinesini şematik olarak göstermektedir ve diğer Şekil 1.29 prosesi göstermektedir.



Şekil 1.28 İki bileşenli enjeksiyon makinesi temsili [80]



Şekil 1.29 İki bileşenli enjeksiyonla üretilmiş ürün [80]

İki bileşenli enjeksiyon kalıplama, farklı özelliklere sahip polimerleri tek bir enjeksiyon kalıplama işleminde birleştirmek için bir üretim sürecidir. İşlem tipik olarak, sırasıyla renk farklılıkları veya sert ve yumuşak alanlar oluşturmak için termoplastikleri başka bir termoplastikle veya bir termoplastik elastomerle birleştirmek için kullanılır. Bu ürünler için iki bileşenli enjeksiyon kalıplama tekniğinin uygulanması, daha iyi fazlar arası özellikler, kauçukta tasarruf ve montaj işlemiyle ilgili maliyetlerden kaçınma ile sonuçlanır. Kauçuk ve termoplastiklerin enjeksiyon kalıplamasının temelde farklı olması, teknolojik bir zorluk teşkil etmektedir. Bir kauçuğun enjeksiyonla kalıplanması ısıtılmış bir kalıp (140°C - 180°C) gerektirirken, termoplastik polimerin katılaşması için nispeten daha soğuk bir kalıba (20°C - 100°C) ihtiyaç duyulur. [81]

Çeşitli uygulamalar; sert/yumuşak, iletken/iletken olmayan veya farklı renkler gibi farklı özelliklere sahip parçaların bir kombinasyonunu gerektirir. Gereksinimlerdeki bu çeşitlilik ancak farklı malzemelerin birleştirilmesi ile mümkündür. İki bileşenli

enjeksiyon kalıplama, farklı özelliklere sahip farklı polimerlerin tek bir enjeksiyon kalıplama işleminde birleştirilmesine izin veren bir üretim sürecidir. 2K enjeksiyon kalıplama genellikle birden fazla termoplastik ile renk farklılıklarını birleştirmek için kullanılır. Diş fırçalarında olduğu gibi diğer uygulamalarda, yumuşak kauçuk benzeri bir malzeme ile sert bir malzemenin bir kombinasyonu gereklidir. Bu durumlarda, kauçuk benzeri malzeme termoplastik bir elastomerdir (TPE).

Çok sayıda ürün termoset kauçukları termoplastiklerle birleştirir. Örneğin; tekerlekler, şırıngalar ve contalı diğer ürünler. Şu anda bu ürünler ayrı bileşenlerin bir araya getirilmesiyle yapılmaktadır. Bu ürünler için 2K enjeksiyon kalıplama tekniğinin uygulanması, daha iyi fazlar arası özelliklere ve montaj işlemiyle ilgili maliyetlerin önlenmesine yol açabilir. Ayrıca, yeniden tasarımın kauçuktan tasarruf sağlaması beklenmektedir. Termoplastiklerin ve termoset kauçukların enjeksiyonla kalıplanması temelde farklı işlem parametreleri gerektirdiğinden, bu tür 2K işlemi önemli zorluklar ortaya çıkarır. Termoset kauçuklar, kütleme sürecini başlatmak için ısıtılmış bir kalıba (140°C-200°C) enjekte edilirken, ürünü katılaştırmak için termoplastikler nispeten soğuk bir kalıba (20°C-100°C) enjekte edilir [82]. Poliamid (PA) gibi yüksek kaliteli termoplastikler yüksek sıcaklıklara dayanabilir, bu da termoplastik parçanın tamamen ısıtılmış bir kalıba yerleştirilmesini ve ardından bunun üzerine kauçuk kalıplanmasını mümkün kılar [83, 84]. Bu teknik, termoset kauçuğun enjeksiyon kalıplama işlemi için gerekli yüksek sıcaklıklar ve basınçlar altında, polietilen (PE) veya akrilonitril bütadien stiren (ABS) gibi yaygın termoplastikler ile uygulandığında ise, termoplastik kısmın deforme olması beklenir.

1.7.2 İki Bileşenli Enjeksiyonun Tek Bileşenli Enjeksiyondan Farkı

Enjeksiyon kalıplama, birçok parça ve ürün tasarımı için uygun olduğundan son derece çok yönlü bir üretim seçenekleri yelpazesi sunar. Standart enjeksiyon kalıplama işleminin ötesinde, iki bileşenli enjeksiyon kalıplama ile daha da fazla çok yönlülük ve verimlilik elde edilebilir. Adından da anlaşılacağı gibi, iki bileşenli enjeksiyon kalıplama, bir parçanın kalıplanmasında birden fazla malzemenin kullanılmasını içerir. Bu, bir kalıba yalnızca bir polimer türünün enjekte edildiği daha tipik tek bileşenli enjeksiyon kalıplama işleminden farklıdır. [85]

1.7.3 İki Bileşenli Enjeksiyonun Avantajları

İki bileşenli veya 2K enjeksiyon kalıplama, iki farklı polimerin (veya bir polimerin iki farklı renginin) bir enjeksiyonlu kalıplama işlemi aracılığıyla bir son ürün haline getirilmesinden oluşur. Bu teknoloji, enjeksiyonla kalıplanmış bir ürüne çeşitli işlevlerin entegre edilmesini sağlar [86]. Bu teknolojinin bazı avantajları:

Özel reçine formülasyonları: Bu teknoloji, enjeksiyonla kalıplanmış bir ürüne çeşitli işlevlerin entegre edilmesini sağlar. Kompleks malzeme kalıplama, bir formülasyondaki esnekliği artırabilir.

Estetik hususlar: Bir ürün için belirli bir görünüm gerekiyorsa, iki bileşenli kalıplama, tek bileşenli bir enjeksiyon kalıplı ürünü boyamak veya başka şekilde bitirmek yerine bunu elde etmenin daha hızlı ve daha verimli bir yolu olabilir. İki bileşenli süreç, bu tür senaryolarda da daha yüksek kalite sağlayabilir.

Son derece karmaşık parça tasarımları: 2K kalıplama, tek bir kalıbın maliyeti engelleyici veya üretiminin imkansız olduğu karmaşık veya çok bileşenli parça tasarımları için ideal bir çözüm olabilir. Üst kalıplama ile, nispeten basit parçalar, çok daha büyük bir maliyet etkinliğiyle daha karmaşık parçalar oluşturmak için birleştirilebilir.

Montajlar: Karmaşık parçaların fiziksel montajına etkili bir alternatif olabilir. İkincil bir işlem yerine 2K kalıplama yoluyla oluşturulan montajlar genellikle daha güvenilir ve daha kaliteli olacaktır.

"Çekirdek" yapılar: Üzerine kalıplama ve çift enjeksiyonlu kalıplama, yapısal bütünlük için sert bir iç yapı ve kavrama, koruma ve/veya estetik amaçlar için daha yumuşak bir dış malzeme gibi farklı "iç" ve "dış" unsurların bir gereklilik olduğu ürünler yaratmanın ideal bir yoludur.

Farklı bileşenler, görünüm ve malzeme nitelikleri gerektiren herhangi bir uygulama: İki bileşenli kalıplama, aksi takdirde montaj ve diğer ikincil ve son işlem süreçleri gerektiren herhangi bir proje için iki işlemi tek bir işlemde etkin bir şekilde birleştirmenin oldukça verimli bir yolu olabilir [85].

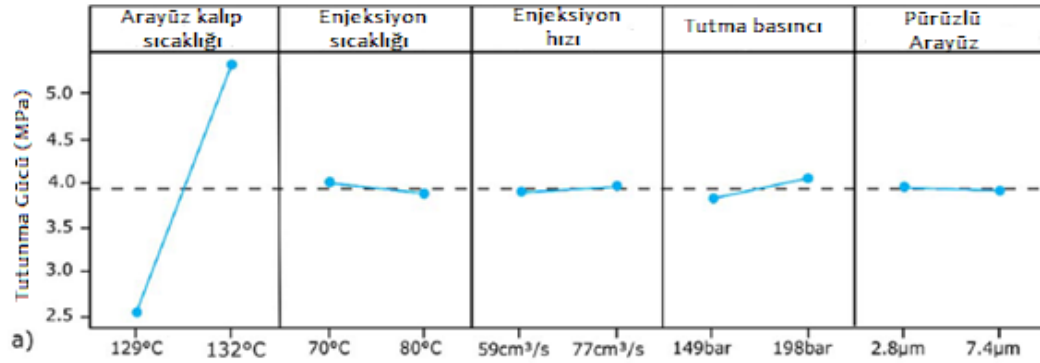
1.7.4 İki Bileşenli Enjeksiyonda (2K Enjeksiyon) Proses Parametresi ve Adezyon

Ortaya çıkan 2K ürününün mekanik kalitesi için, enjeksiyonla kalıplama işlemi sırasında her iki malzeme arasında yeterli bağlanma mukavemetinin sağlanması önemlidir. Proses parametrelerinin iki farklı termoplastikten oluşan 2K ürünler için bağ mukavemetine etkisini araştıran birçok çalışma yapılmıştır. İslam ve ark. polikarbonat (PC) ile kombinasyon halinde akrilonitril bütadien stiren (ABS) için ikinci bileşenin enjeksiyon ve kalıp sıcaklığının en önemli iki parametre olduğunu göstermiştir. Bu iki parametre, iki polimeri birlikte eritmek için yeterince yüksek olması gereken arayüz sıcaklığını belirler. Yapışma mukavemetini etkileyen bir diğer önemli parametre, birinci bileşenin arayüzündeki yüzey pürüzlülüğüdür. Daha yüksek yüzey pürüzlülüğü, yazarlar tarafından belirtildiği gibi hem mekanik kilitlemeyi hem de temas yüzeyini artırır. Tutma basıncı, yalnızca çok düşük ayarlandığında bağ kuvvetini etkiler, tutma basıncındaki daha fazla artışın, bağ kuvveti üzerinde herhangi bir olumlu etkisi yoktur [87]. Pompe ve ark. [88] ve Dobrea ve ark. [89] sırasıyla poliüretan (TPU) ile poliamid (PA) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için bağ mukavemetindeki kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon sıcaklığının olumlu etkisini doğrulamıştır. Huang ve Chen [90] ayrıca, her iki sıcaklığın, iki bileşenli enjeksiyon kalıplamada polistiren (PS) için bağlanma mukavemeti üzerindeki etkisini doğrulamış ve yalnızca bu iki işlem parametresini kullanarak başarılı bir şekilde modellemiştir. Carella ve ark. [91] polipropilen (PP) ile TPE için yeterli bağlanma mukavemetine sahip iki bileşenli enjeksiyon kalıplama için optimum işlem parametrelerinin seçilmesi için bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, ara yüz sıcaklığı, ikinci bileşenin enjeksiyon ve kalıp sıcaklığı kullanılarak hesaplanır. Arayüz sıcaklığının birinci bileşenin (160°C) erime noktasının üzerinde olmasını sağlamak için her iki sıcaklık da yeterince yüksek değerlere ayarlanır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada Meister ve Drummer [92] ikinci bileşenin enjeksiyonu sırasında hızlı ısı döngüsü uygulayarak kalıp sıcaklığının PA için bağlanma mukavemeti üzerindeki olumlu etkisini daha da artırabilmişlerdir.

Gert-Jan Bex ve arkadaşları, [93] iki bileşenli enjeksiyon kalıplama için farklı proses parametrelerinin termoplastikler ile termoset kauçuk arasındaki yapışma mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Yapışma mukavemeti esas olarak arayüzdeki

kalıp sıcaklığından etkilenir. Kalıp sıcaklığı, malzemelerin arayüz sıcaklığını belirler ve yeterli yapışma oluşturmaya yetecek kadar yüksek olması gerekir. Ancak kalıbın üst sıcaklığı sınırlıdır. EPDM ile HDPE malzeme kombinasyonu için, üst sıcaklık, diferansiyel termal büzölmelerin neden olduğu arayüzdeki küçük boşlukların deformasyonu ile sınırlıdır. ABS'nin NBR ile kombinasyonu için, üst sıcaklık termoplastik parçanın yüksek sıcaklıktan dolayı yığın halde deformasyonu ile sınırlıdır.

Tutma basıncının etkisi, yalnızca tutma basıncı veya tutma süresi değeri çok düşük ayarlandığında önemlidir. Diğer tüm işlem parametreleri, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve ara yüzün pürüzlülüğü yapışma mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Enjeksiyon sıcaklığı ve hızı, kauçuk malzemenin sıcaklığını önemli ölçüde artırmaz ve dolayısıyla arayüz sıcaklığını artırmaz. Yüksek sıcaklıklar nedeniyle ara yüzün pürüzlülüğü erir. Yapışma mukavemeti üzerinde büyük bir etkisi olan tek bir parametre, yani arayüzdeki kalıp sıcaklığı olduğundan, kauçuk parçanın optimizasyonu için diğer işlem parametrelerini ayrı ayrı kullanmak mümkündür. Bu sayede iyi ölçülerde ve iyi kalitede parçalar üretmek mümkündür. Yapışma mukavemetinin, arayüzdeki sadece kalıp sıcaklığı kullanılarak kontrol edilebilirliğini sunmuşlardır. [93]



Şekil 1.30 Gert-Jan Bex ve arkadaşlarının çalışmasındaki üretim parametreleri için ana etkiler

1.8 Polimer-Polimer Yapışması

İki polimer malzeme arasındaki yapışma karmaşık bir olgudur. Mekanik, kimyasal, difüzyon veya elektrostatik yapışma olabilir. O hatta farklı yapışma mekanizmalarının bir kombinasyonu olabilir. İki reaktif polimer arasındaki yapışma, arayüzdeki iki

polimerin molekülleri arasındaki kimyasal reaksiyonla yönetilir ve bu işlemle elde edilen güç genellikle yüksektir [94]. Enjeksiyonla kalıplama ortamında bu kimyasal reaksiyonun meydana gelmesi olası değildir.

Voyutskii [95] herhangi bir polimerin camsı geçiş sıcaklığından biraz daha yüksek olan bir sıcaklıkta iki polimer plakası temas ettirilirse, polimer zincirlerinin her iki taraftan da yayılmaya başladığını öne sürmüştür. Bu interdifüzyon fenomeni, arayüzün geçici bir bölgesinde meydana gelir. Moleküler zincirlerin yoğunluğu bu bölgede zamanla artar ve yapışma mukavemeti ona göre değişir. Bu, iki özdeş polimer arasındaki yapışmanın yaygın olarak kabul gören bir açıklamasıdır. Ancak bu polimer yapışma mekanizması, arayüzde iki farklı polimer etkileşime girdiğinde karmaşık hale gelir.

Kalıp boşluğuna transfer işlemi ile iki bileşenli kalıplama sırasında, önce bir parça kalıplanır ve daha sonra ikinci bir polimer malzemenin birinci parçayı üst kalıplamak için enjekte edildiği başka bir boşluğa aktarılır. Bu durumda, iki polimerin arayüzündeki yapışma, aşağıdakilerden biri veya birkaçı ile açıklanabilir;

Bir polimer parçası, ikinci bir polimer ile üzerine kalıplandığında, polimer eriyiği, substrat (birinci atış parçası) yüzeyinin mikro oyuklarının içine akar ve mekanik bir kilitleme yapar. Bu, büyük ölçüde birinci atış parçasının yüzey pürüzlülüğüne ve ikinci atış polimer eriyiğinin akış davranışına bağlıdır. İki bileşenli parçanın geometrisi, iki polimerin mekanik olarak kilitlenmesine katkıda bulunabilir. Parça girintiler, alt kesimler içeriyorsa, parçayı kırmadan iki polimeri ayırmak neredeyse imkansızdır.

Difüzyon yapışma teorisi özellikle özdeş polimer malzemeler için geçerlidir ve bu tam olarak iki bileşenli kalıplama için geçerli değildir. Burada tam bir difüzyon için zaman yeterli değildir; ve çoğu iki bileşenli kalıplama durumunda, parçalar iki farklı polimer sınıfından oluşur ve difüzyonun gerçekleşmesini daha az olası hale getirir. Bununla birlikte, ikinci polimer enjekte edildikten sonra parça kalıbın içinde uzun süre kalırsa ve iki polimerin kimyasal benzerliği olan çapraz bağlanmamış molekülleri varsa, sıcaklık aralığı ve zamana bağlı olarak küçük bir moleküler difüzyon mümkündür [96]. Kalıp boşluğuna transfer işlemiyle iki bileşenli kalıplamada, en olası yapışma durumu, arayüzdeki moleküllerin tam difüzyonundan ziyade arayüzdeki moleküler dolanma olabilir. Yapışma, arayüzdeki farklı

moleküllerin moleküler dolanma derecesinden çok etkilenebilir [97]. İki bileşenli kalıplama sırasında, iki polimer ısı ve basınç altında bir araya getirilir. Dolayısıyla, ikinci atış eriyiğinin termal olarak uyarılmış molekülleri, elde edilen arayüz sıcaklığı nedeniyle eriyik durumundaysa, birinci atım polimer zinciri ile dolanma yapabilir (Şekil 1.31). Daha yüksek bir dolanma derecesi, arayüzü katı halde daha güçlü hale getirecektir.



Şekil 1.31 İki polimerin moleküler dolanması

İki polimerin ara yüzünde daha yüksek derecede moleküler dolanma, daha güçlü bir yapışma sağlar

iki bileşenli kalıplama durumunda, kabaca birinci püskürtme polimerin bir çözünen madde ve ikinci atış eriyiği bir çözücü olarak düşünülebilir. İkinci atış eriyiği birinci atım polimeri için uygun bir çözücü ise, katı alt katman (malzeme) ara yüzey bölgesinde eriyecek ve iki polimer katı halde karışacaktır.

1.8.1 2K ile Kalıplanmış Polimerlerin Yapışmasına İlişkin Hipotezler

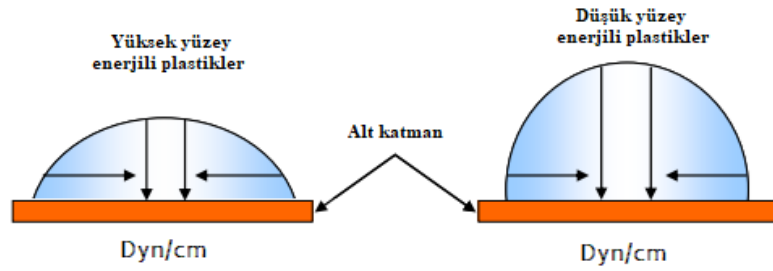
Boşluk transfer işlemi ile polimer-polimer yapışması üzerine aşağıdaki hipotezler yapılmıştır.

[i] Geniş anlamda iki bileşenli enjeksiyon kalıplama, iki polimerin kaynağıdır (termal olarak indüklenen bağlama). Daha yüksek sıcaklık ve basınç, iki polimerin birleşmesini olumlu yönde etkilemelidir. Bu bağlamda hipotez, kalıplama makinesindeki daha yüksek işlem ayarlarının (kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı), ilk atış ve ikinci atış polimerleri arasındaki daha yüksek bağlanma mukavemeti için uygun olacaktır. Polimer eriyiğinin termal ve reolojik özellikleri, iki polimer arasındaki yapışmayı etkileyebilir.

[ii] Polimerlerin kimyasal özelliklerinin bağ mukavemeti üzerindeki etkisi daima olacaktır. İki polimerin kimyasal özellikler ve çözünürlük parametreleri açısından

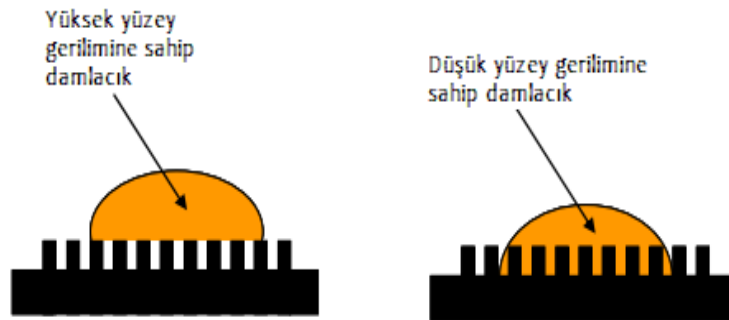
benzerliği varsa, birbirleriyle daha iyi bir bağ oluşturmaları beklenir. Nem, termal geçmiş ve zorlu ortam gibi çevresel faktörler, iki bileşenli parçanın üretimi sırasında yapışma mukavemetini etkileyebilir.

[iii] 2K polimer kısmının yüzey enerjisi, iki polimerin yapışması için önemli bir faktördür. Alt katmanın (malzemenin) daha yüksek yüzey enerjisi, ikinci atış polimer eriyiğinin akışını ve temasını iyileştirir ve yapışkan performansını en st düzeye çıkarır (şekil 1.32).



şekil 1.32 Alt katman yüzey enerjisinin polimer-polimer yapışması üzerindeki etkisi

Alt katmanın yüksek yüzey enerjisi, ikinci polimer eriyiğinin yayılmasını artırır ve yapışmayı artırır. Öte yandan, ikinci atış polimer eriyiğinin daha yüksek bir yüzey gerilimi, alt tabakanın tamamen ıslanmasını önler ve alt tabaka yüzeyinin mikro olukları içinde akmayı zorlaştırır ve sonuç, daha sonra kalıplanmış iki polimer arasında zayıf bir yapışmadır (şekil 1.33).



şekil 1.33 İki bileşenli polimer eriyiklerinin yüzey gerilimlerinin polimer-polimer yapışması üzerindeki etkisi

İkinci bileşen eriyiğinin yüksek yüzey gerilimi, polimer substratın mikro boşlukları içindeki eriyik akışını engeller ve yapışmayı engeller.

[iv] Yerleştirme kısmının (birinci bileşen kısmı) pürüzlülüğü, ikinci polimerin mekanik kilitlenmesini artırabilir ve arayüzün etkileşim alanını artırabilir. Pürüzlülük, ara yüzdeki ısı transferini kolaylaştırabilir ve lokalize erimiş bölgeyi artırabilir, böylece polimerler birlikte eriyerek iyi bir bağ oluşturabilir. Farklı parça geometrileri, kırılma davranışını ve çatlak yayılma mekanizmasını etkileyebilir. Bu, arayüzde iki bileşen parçasının kırılmasından önce enerji emilimini etkileyecektir. Plastik parçanın tasarımı da yapışma mukavemetini etkileyebilir. Girintiler ve alttan kesmeler, ikinci polimerin ve kaynak hattının büzülmesi (iki eriyik cephesi yüz yüze buluşuyor) veya birleştirme hattı (iki eriyik akışı yan yana buluşuyor) polimer-polimer yapışması oluşumlarını etkileyebilir. Dolgu maddeleri ve katkı maddeleri yapışma mukavemetini etkileyebilir, özellikle cam elyaflar yüzey pürüzlülüğünü artırabilir ve malzeme sertliğini değiştirerek yapışma mukavemetini etkiler.

[v] Kontaminasyonlar, hava tutucular, nem vb. gibi zayıf bir sınır tabakası, iki malzemenin bağlanma mukavemetini etkileyebilir. Zayıf sınır katmanlarının iç kısmından çıkarılması, yapışmayı en üst düzeye çıkarabilir. Bu, boşluk transfer işlemi ile enjeksiyon kalıplama için önemli bir husustur. Birinci atış parçasının ikinci boşluğa aktarılması sırasında, nem, toz partikülleri ve diğer safsızlıklar ile kirlenebilir (örneğin, manuel kullanım durumunda ter) ve bunlar, ikinci polimer ile bağlanmayı önemli ölçüde etkileyebilir. Ayrıca; aşındırıcı ortam, yüksek sıcaklığa maruz kalma gibi özel çevresel koşullar, sonradan kalıplanmış 2K parçaların bağlanma mukavemetini etkileyebilir.

İki bileşenli kalıplanmış parçaların yapışma mekanizması karmaşıktır ve birçok etkinin veya olgunun birleşimidir. İki polimer arasında güçlü bir yapışma için, kovalent bağlanma veya moleküler difüzyon gibi kimyasal bir reaksiyon veya arayüzde polimer zincirlerinin dolaşması olabilen bazı moleküler etkileşimler gereklidir. Mikro ölçekli bir üründe iki polimer arasındaki yapışma noktasına gelince, bazı özel hususlar dikkate alınmalıdır. Mikro ölçekli parçalar, makro ölçekli parçalara göre daha büyük bir yüzey alanı/hacim oranına sahiptir. Bu nedenle, ikinci püskürtme polimer eriyiği ve ilk atış substratı arasındaki ıslanabilirlik, sürtünme ve yapışma mikro ölçekte daha kritiktir. İkinci atıştaki arayüz sıcaklığı, ilk atış parçasını tamamen eritebilir ve parça geometrisini bozabilir [97].

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal

2.1.1 Polipropilen

Deneysel çalışmalarda 2K enjeksiyon kalıplama ile üretilen iki bileşenli deflektör parçalarında birinci bileşen olarak Lyondell Basell firmasından tedarik edilen Hostacom M2 N01 ticari isimli %20 talk dolgulu polipropilen (PP) homopolimer kullanılmıştır. Talk dolgulu PP' nin tipik özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Polipropilen homopolimer teknik özellikleri.

Özellikler	Tipik Değeri	Test Metodu
Yoğunluk	1.06 g/cm ³	ISO 1183/A
MFR (230°C/5 kg)	9.0 g/10 min	ISO 1133
Çekme Mukavemeti (Akma, 73°F)	4640 psi	ISO 527-2

2.1.2 Etilen Propilen Dien Monomeri

Deneysel çalışmalarda 2K enjeksiyon ile üretilen iki bileşenli otomotiv parçalarında ikinci bileşen olarak Exxon Mobil firmasından tedarik edilen etilen propilen dien monomeri (EPDM) kullanılmıştır. EPDM'in tipik özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Etilen propilen dien monomerin teknik özellikleri.

Özellikler	Tipik Değeri	Test Metodu
Yoğunluk	0.97 g/cm ³	ISO 1183
Sertlik, Shore A, 15 s, 23 °C	9.0 g/10 min	ISO 868
Çekme Mukavemeti (23 °C)	3.60 MPa	ASTM D412

2.1.3 Maleik Anhidrit Aşılanmış Polipropilen (PP-g-MA)

Deneyisel çalışmalarda Acar Kimya’ dan edarik edilen maleik anhidrit aşılanmış polipropilen kullanılmıştır.

2.1.4. Geri Dönüştürülmüş Polipropilen

Deneyisel çalışmalarda 2K enjeksiyon ile üretilen iki bileşenli otomotiv parçalarında A-Plas firmasında üretim sonrası oluşan PP esaslı atık parçalar geri dönüştürülerek kullanılmıştır.

2.2 Method

2.2.1 İki Bileşenli Otomotiv Parçalarının Hazırlanması

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan polipropilen ve etilen propilen dien monomerinden oluşan iki bileşenli (PP/EPDM) deflektör parçaları hazırlanmıştır. Bu parçaların üretiminde farklı oranlarda geri dönüştürülmüş PP kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, hatalı üretim sonrası oluşan PP esaslı atık parçaların geri dönüşümü yapıldı. Şekil 2.1’ de hatalı üretilen parçalar gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Eksik Enjeksiyon Sonucu Üretilen Plastik Parça



Şekil 2.2 Üretim Başında Deformasyon Hatası

Geri dönüşüm sürecinde, A-Plas firmasında enjeksiyonla kalıplama sürecinde oluşan üretim sonrası PP esaslı atıklar toplanmıştır. Daha sonra, PP atıklar Şekil 2.3'deki kırma makinesinde küçük parçalara ayrılmıştır. Kırılan bu parçalar Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kullanılan kırma makinesi



Şekil 2.4 Kırılmış polipropilen parçalar

Çalışmanın ikinci aşamasında, iki bileşenli polipropilen/etilen propilen dien monomeri (PP/EPDM) parçaları iki bileşenli (2K) enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Deflektör parçalarının üretiminde maleik anhidrit aşılانmış PP (PP-g-MA) uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Deflektör parçalarının üretiminde kullanılan formülasyon ve proses parametreleri Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Formülasyon İçeriği ve Proses Parametreleri.

Numune Kodu	Geri Dönüştürülmüş PP İçeriği (%)	PP-g-MA İçeriği (%)	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Basıncı (bar)
rPP0260	0	0	260	110, 70, 70
rPP0270	0	0	270	60,60,60
rPP0280	0	0	280	65, 65, 65
rPP10260	10	0	260	110, 70, 70
rPP10270	10	0	270	60,60,60
rPP10280	10	0	280	65, 65, 65
rPP20260	20	0	260	110, 70, 70
rPP20270	20	0	270	60,60,60
rPP20280	20	0	280	65, 65, 65
rPP0MA280	0	5	280	65, 65, 65
rPP10MA280	10	5	280	65, 65, 65
rPP20MA280	20	5	280	65, 65, 65

Çalışmalarda kullanılan, WELLTEC F2 model 750 ton kapama kuvvetine sahip iki komponentli enjeksiyon makinesi Şekil 2.5’ de gösterilmiştir. Enjeksiyon makinesinde iki komponentli plastik parçanın üretiminde kullanılan iki manifolda sahip sıcak yolluklu enjeksiyon kalıbı Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. Üretilen bu plastik parçaya ait görsel Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Kullanılan WELLTEC F2 Model Enjeksiyon Makinesi



Şekil 2.6 Kullanılan Enjeksiyon Kalıbı



Şekil 2.7 Test numuneleri olarak üretilen iki bileşenli deflektör parçası

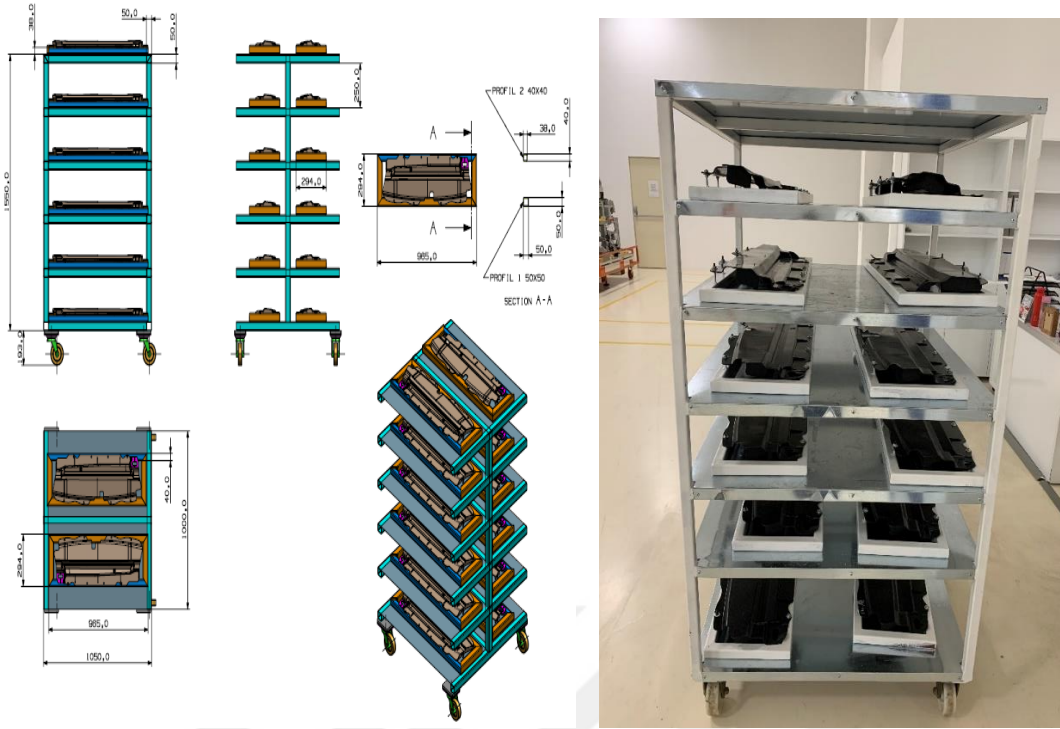
2.2.2 İki bileşenli Otomotiv Parçalarının Yaşlandırılması

2K enjeksiyon yöntemi ile kalıplanan iki bileşenli deflektör parçaları proses sonrasında hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulmuştur. Yaşlandırma testi Şekil 2.8’de gösterilen DETAIL marka OTTONOM 12500-ISN model iklimik test kabini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler 125 ± 2 °C’de 7 gün boyunca gerçekleştirildi.



Şekil 2.8 İklimatik Test Kabini

Üretilen parçaların hızlandırılmış yaşlandırma cihazında yapmak için aparat tasarımı yapılmıştır. Şekil 9’da tasarlanan aparatın teknik resmi ve hızlandırılmış yaşlandırma için yaşlandırma raflarına dizilmiş parçalar gösterilmiştir.

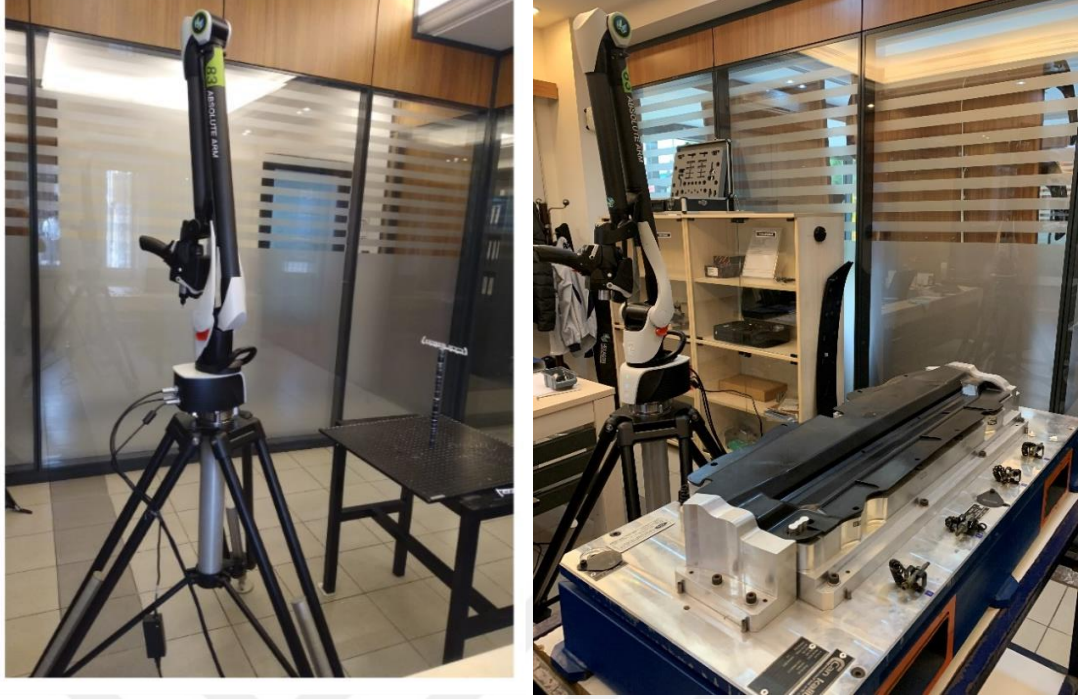


Şekil 2.9 Yaşlandırma testine girmiş parçalar

2.2.3 Karakterizasyon

2.2.3.1 Koordinat ölçüm makinesi (CMM)

Bu çalışmada üretilen iki bileşenli PP/EPDM deflektör parçalarının boyutsal özelliklerine proses parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış parçaların enjeksiyon prosesi sonrasında çekme ve çarpılma gibi üretim hatalarından kaynaklı boyutsal değişimleri koordinat ölçüm makinesi (CMM) ile test edilmiştir. Boyutsal değişimleri kontrol etmek amacıyla lazer tarama yapabilen Şekil 2.3'deki HEXAGON marka ABSOLUTE ARM model üç boyutlu ölçüm cihazı kullanıldı. Dokunsal problu ölçüm ile lazer tarama sayesinde parçaların X, Y ve Z düzlemindeki boyutsal kontrolleri parçaya ait olan fiktür üzerinde Şekil 10'daki gibi üç boyutlu olarak bütün parçalar üzerinde test edilmiştir.



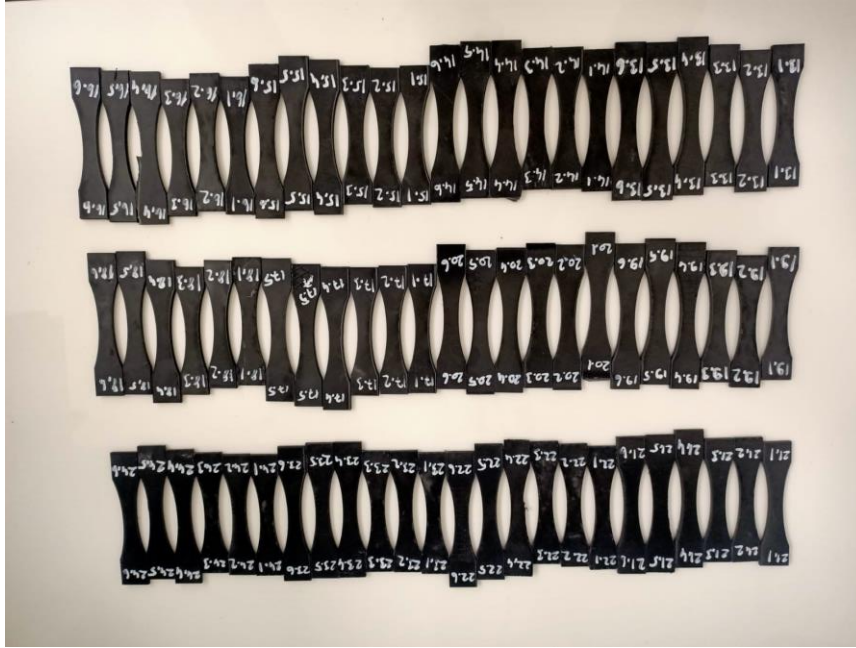
Şekil 2.10 Üç boyutlu Ölçümü Yapılan Parça

2.2.3.2 Çekme testi

İki bileşenli deflektör parçalarının mekanik özelliklerine, proses parametresinin, geri dönüşüm miktarının ve yaşlandırmanın etkisi çekme testi ile incelenmiştir. Çekme testi ISO R 527 standardına göre LLOYD marka LRX 5K model Universal tensometre cihazı kullanılarak göre gerçekleştirildi. Çalışmalarda kullanılan çekme testi cihazı Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Çekme testi, parçaların enjeksiyon akışına dik ve enjeksiyon akışı ile aynı yönlü bölgelerinden 3’er tane olmak üzere toplamda 6’şar adet her bir plastik parçadan alınarak çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca her bir parçanın PP/EPDM bölgelerinin bağlantı noktalarındaki adezyon dayanımını ölçmek için bu bölgeler kesilerek çekme testi ile değerleri ölçülmüştür. Çekme testi yapılan numunelere ait görseller Şekil 2.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Çekme testi cihazı



Şekil 2.12 Çekme testi numuneleri

2.2.3.3 Erime akış indisi (MFI) testi

Erime akış indisi (MFI) ISO 1133 test standardına göre 230 °C’de 2.16 kg yük altında ölçülmüştür. Bu test ile belirli sıcaklık ve basınç altında erimiş plastiğin, erime akış oranı g/10 dk olarak ölçülmüştür. LLOYD marka DAVENPORT MFI 7 model test cihazı Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13 MFI Test Cihazı

2.2.3.4 Shore-A ve Shore-D sertlik testi

Farklı geri dönüşüm oranlarında ve farklı proses parametrelerinde üretilen plastik parçaların, plastik ve kauçuk sertlik sonuçlarını test etmek amacıyla Şekil 2.14’de görülen Zwick marka Shoremetre A ve D cihazları kullanıldı. Analizler 23 °C’de ASTM 2240 standardına göre gerçekleştirildi.



Şekil 2.14 Sertlik Test Cihazı

Farklı proses parametreleri ve geri dönüşüm içeriklerine bağlı değişim olup olmadığını gözlemlemek için üretilen 12 adet parça sertlik testlerine tabi tutulmuştur. Sertlik testleri parçanın hem PP hem de EPDM bölgelerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Kauçuk parçaya yapılan Shore A testi Şekil 2.15’de gösterilmiştir



Şekil 2.15 EPDM malzemeye uygulanan sertlik testi

2.2.3.5 Yoğunluk testi

Farklı geri dönüşüm oranlarında ve farklı proses parametrelerinde üretilen ürünlerin ISO 1183 test metodu ile yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Şekil 2.16’da kullanılan MIRAGE MD200S yoğunluk cihazı gösterilmiştir.



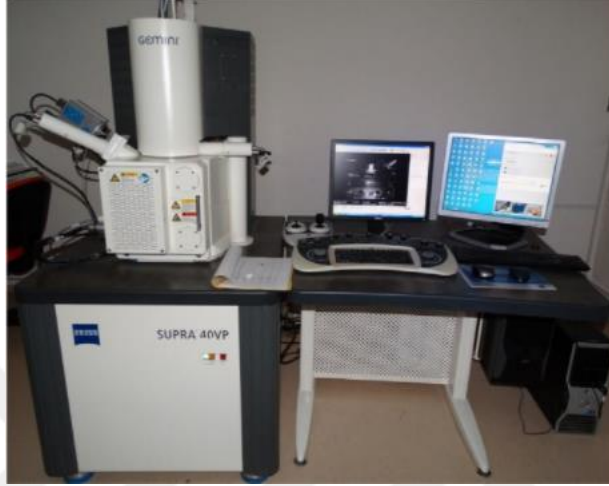
Şekil 2.16 Yoğunluk Test Cihazı

2.2.3.6 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Hazırlanan test parçalarının termal davranışlarını incelemek için Seiko DSC 7020 markalı diferansiyel taramalı kalorimetre test cihazı kullanılmıştır. Herbir numune için azot atmosferi altında 25 °’den 250 °’ye sıcaklık aralığında 10 °C/dk ısıtma soğutma hızında, erime sıcaklığı (Te) ve entalpi değerlerini içeren termogramlar elde edilmiştir.

2.2.3.7 Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX Analizi)

Hazırlanan test parçalarının mikroyapı özelliklerini incelemek için Zeiss Supra 40 VP markalı SEM cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile PP ve EPDM arasındaki kırık yüzey analizi yapılmıştır. Elde edilen görüntülerden iki malzeme arasındaki adezyon dayanımı incelenmiştir.



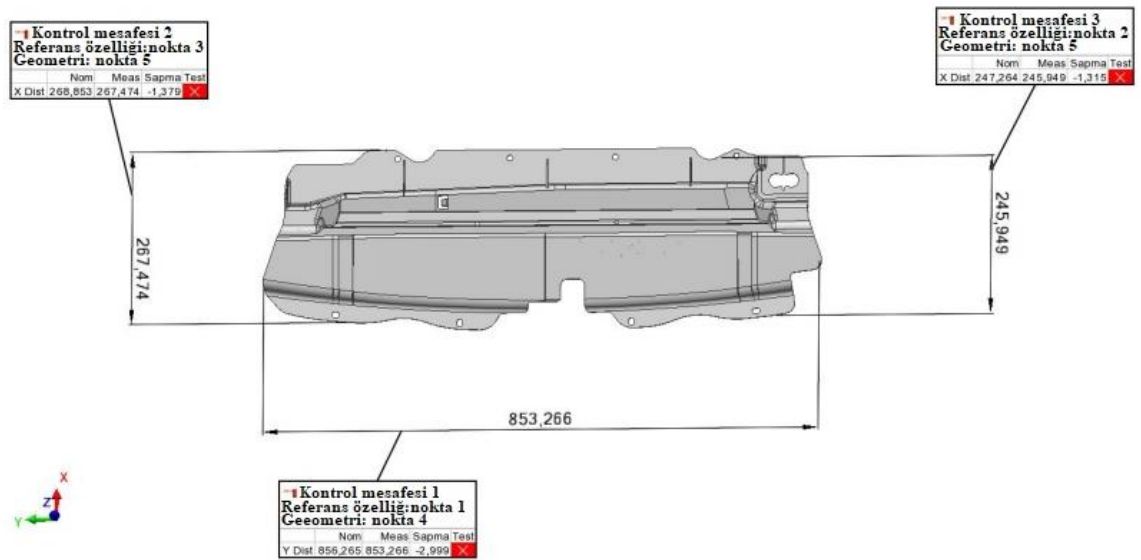
Şekil 2.17 SEM Analiz Cihazı



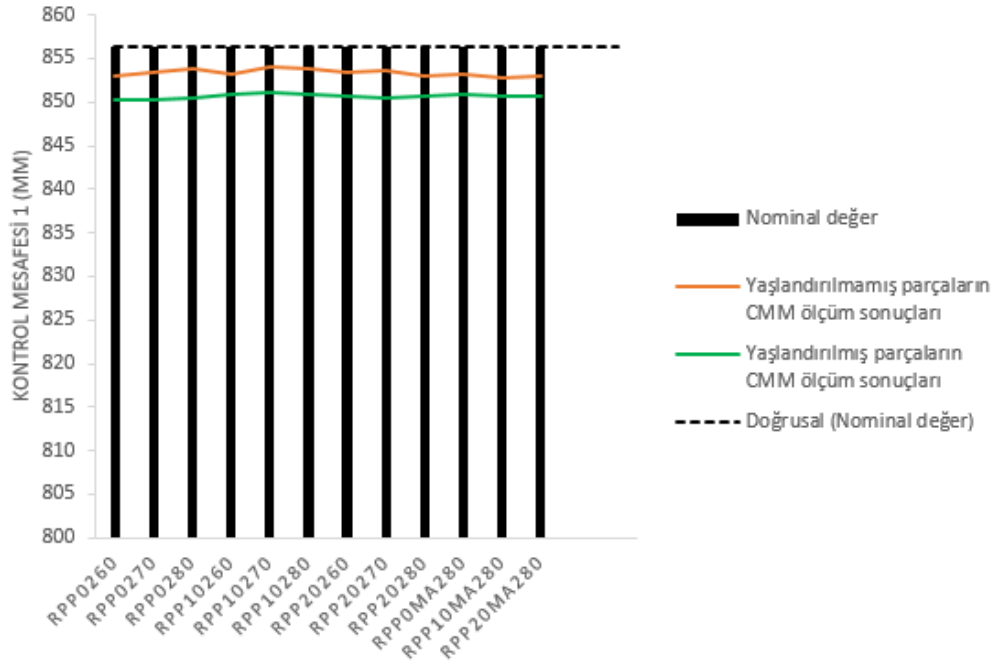
3. TARTIŞMA VE SONUÇ

3.1 Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM) Sonuçları

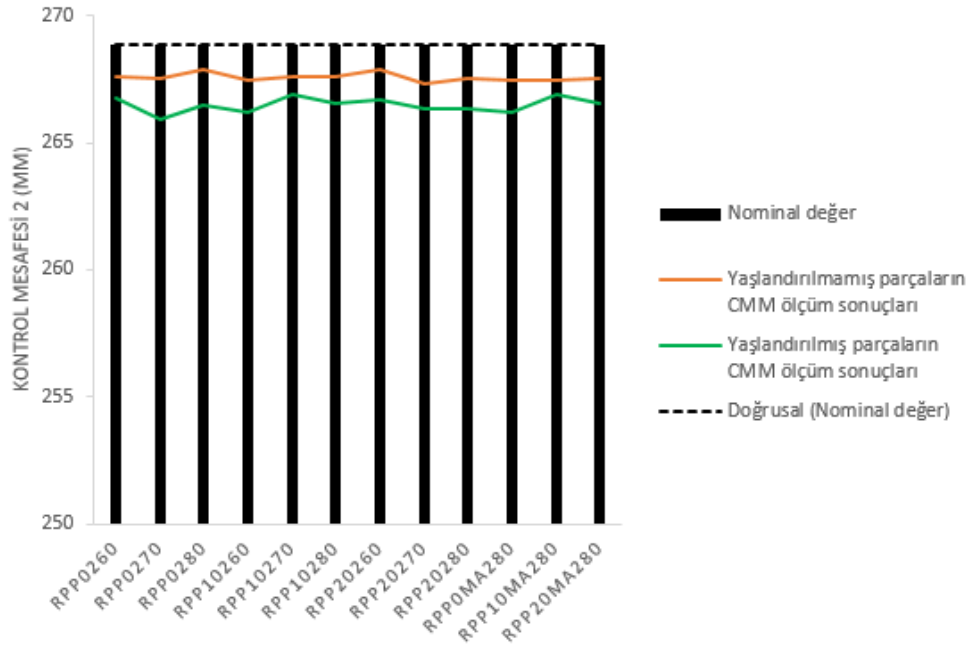
2K plastik enjeksiyon prosesi ile üretimi gerçekleştirilen farklı proses parametreleri ve farklı formülasyon içeriğine sahip her bir parçadan 2'şer adet CMM ile ölçülerek toplamda 24 adet parça ölçülmüştür. Bu parçalardan 12 tanesi yaşlandırma testine girmiş ve sonrasında tekrar ölçümü yapılmıştır. Yaşlandırılmamış parçaların ölçüm sonuçları Çizelge 3.1'de ve yaşlandırılmış parçaların ölçüm sonuçları Çizelge 3.2'de aşağıda verilmiştir. Ölçümü yapılan plastik parçanın teknik resmi üzerinde ölçüm yapıldığı kontrol noktaları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Belirlenen bu kontrol noktaları parçanın araç konumuna göre montajlanmasında boyutsal olarak kritik noktalardır. Bu noktalardaki çekme, büzülme ve çarpılma gibi proses hatalarının mümkün olduğunca az olması istenmektedir. Bu kontrol mesafelerine göre, yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçaların boyutsal kontrollerinin yapıldığı ölçüm sonuçlarının grafikleri ve boyutsal sapmalarının grafikleri de Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 da verilmiştir. Yapılan ölçümlerin sonucu her bir kontrol mesafesinde; malzeme içeriklerine, proses parametrelerine, yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçalara göre karşılaştırılmıştır.



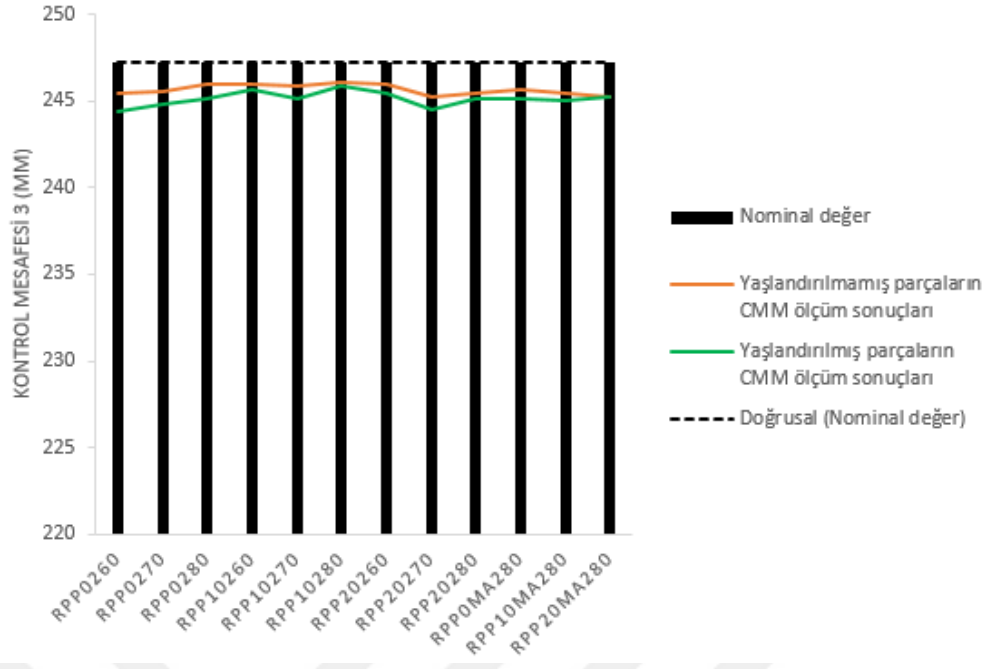
Şekil 3.1 Plastik parçanın teknik resmi üzerinde ölçüm yapılan noktalar



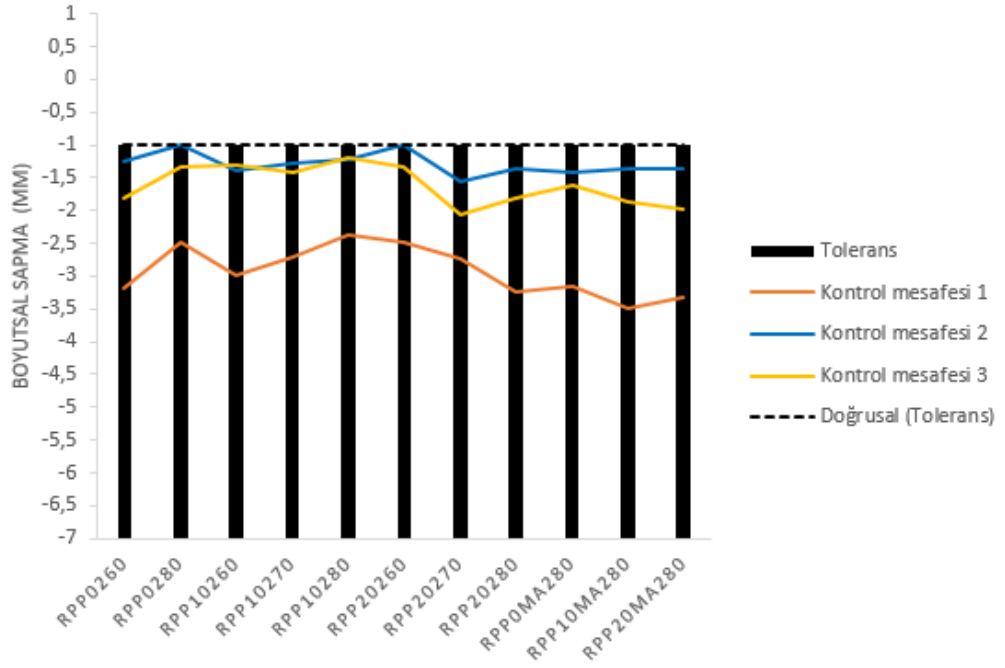
Şekil 3.2 Kontrol eksen 1'e göre ölçüm grafiği



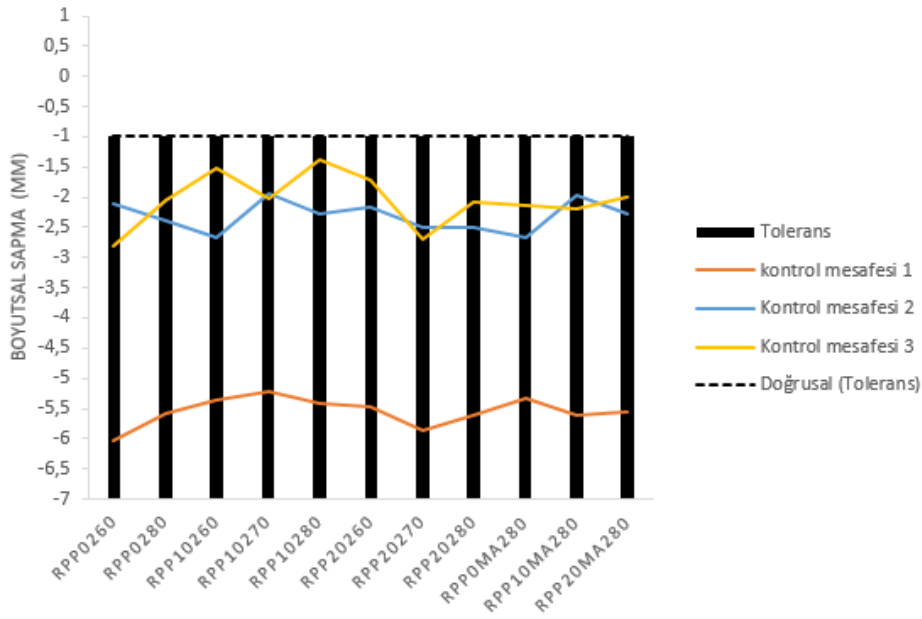
Şekil 3.3 Kontrol eksen 2'ye göre ölçüm grafiği



Şekil 3.4 Kontrol eksen 3'e göre ölçüm grafiği



Şekil 3.5 Yaşlandırılmamış parçaların boyutsal sapma grafikleri



Şekil 3.6 Yaşlandırılmış parçaların boyutsal sapma grafikleri

Kontrol eksen 1 için; malzeme içeriklerine göre kıyaslama yapıldığı zaman %10 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalar diğerlerine göre daha az boyutsal sapma gösterirken PP-g-MA parçalar en fazla boyutsal sapmayı göstermiştir. PP-g-MA, en fazla sapma rPP10MA280’de olurken en az sapma rPP0MA280’de görülmüştür. %10 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalardan sonra en az boyutsal sapmayı geri dönüşümlü malzeme içermeyen parçalar, sonrasında %20 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalar göstermiştir. Aynı içeriklere sahip olan parçalarda proses parametrelerine göre kıyaslandığında, geri dönüşümlü malzeme içermeyen parçalarda ve %10 geri dönüşümlü malzeme içeren parçaların enjeksiyon sıcaklığı arttıkça boyutsal sapmalarının azaldığı görülmüştür. %20 geri dönüşüm oranına sahip olan parçalarda enjeksiyon sıcaklığı arttıkça boyutsal sapmaların arttığı gözlemlenmiştir. Benzer bir durum Dong-lei ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada görülmüştür. Çalışmalarında kalıp sıcaklığı arttıkça boyutsal sapmaların arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca sıcaklıkların giderek artışı ile soğuma süresi uzayacağı için çekme ve çarpılmaların artacağını ve boyutsal sapmaların daha fazla olacağını vurgulamışlardır. [98]

Kontrol eksen 2 için; malzeme içeriklerine göre kıyaslama yapıldığı zaman %20 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalar ve PP-g-MA diğerlerine göre daha fazla boyutsal sapma göstermişlerdir. %0 geri dönüşüm içerikli ve %10 geri dönüşüm içerikli parçalardaki boyutsal sapmaların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aynı

içeriklere sahip parçalar farklı proses parametrelerine göre kıyaslandığında; rPP0280 kodlu parçada en az rPP0270 kodlu parçada en fazla boyutsal sapma gözlemlenmiştir. %10 geri dönüşümlü malzeme içeren parçaların enjeksiyon sıcaklığı arttıkça boyutsal sapmalarının daha az olduğu görülmüştür. %20 geri dönüşüm oranına sahip olan parçalarda en fazla boyutsal sapma rPP0270’de olurken en az boyutsal sapma rPP0260’da olmuştur. PP-g-MA parçalar aynı proses parametresinde iken, geri dönüşüm içeriklerinin artması ile boyutsal sapmaları azalmıştır.

Kontrol eksen 3 için; malzeme içeriklerine göre kıyaslama yapıldığı zaman, en az boyutsal sapmayı %10 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalar gösterirken bunu sırasıyla geri dönüşümlü malzeme içermeyen, %20 geri dönüşüm içeriğine sahip olanlar ve PP-g-MA parçalar takip etmektedir. Aynı içeriklere sahip olan parçalar proses parametrelerine göre kıyaslandığında; geri dönüşümlü malzeme içermeyen parçalarda enjeksiyon sıcaklığı arttıkça boyutsal sapmaları azalmıştır. %10 geri dönüşüm içeriklerine sahip parçalarda rPP10270 kodlu parça en fazla sapmayı gösterirken rPP10280 kodlu parça en az sapmayı göstermiştir. %20 geri dönüşüm içeriklerine sahip parçalarda rPP0270 kodlu parçada en fazla boyutsal sapma olurken, rPP0260 kodlu parçada en az sapma olmuştur. PP-g-MA parçalar aynı proses parametresinde iken, geri dönüşüm içeriklerinin artması ile boyutsal sapmaları artmıştır.

Parçalara yaşlandırma testi uygulandıktan sonra tekrar CMM ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma sonucunda parçalar 2K enjeksiyon kalıplama sonrası ölçümleri ile malzeme içeriklerine ve proses parametrelerine göre kıyaslandığı zaman, bütün parçaların yaşlandırma testi sonucunda 3 kontrol eksenine göre boyutsal sapmaları hemen hemen aynı değerlerde olup artmıştır. Yaşlandırma sonrası benzer durum Asad ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada görülmüştür. Plastik enjeksiyonla kalıplanmış PP numuneler, bozulmasını simüle etmek için 130 °C’de maksimum 300 saate kadar farklı zamanlarda ısıyla yaşlandırılmıştır. Isıl yaşlanma ile geri dönüştürülmüş numunede daha kısa zincirler olup kopabileceği için çekme ve çarpılmalar artmıştır. Plastiklerde uzun süreli yaşlandırma onların fiziksel, optik, mekanik ve kimyasal yapılarında değişimlere yol açmaktadır [99].

Çizelge 3.1 Yaşlandırılmamış parçaların ölçüm sonuçları.

Numune Kodu	Kontrol Eksen 1 (Y Eksen)				Kontrol Eksen 2 (X Eksen)				Kontrol Eksen 3 (X Eksen)			
	(mm)				(mm)				(mm)			
	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı
rPP0260	856,265	853,081	-3,184	-2,184	268,853	267,607	-1,246	-0,246	247,264	245,406	-1,858	-0,858
rPP0270	856,265	853,260	-3,005	-2,005	268,853	267,524	-1,329	-0,329	247,264	245,520	-1,744	-0,744
rPP0280	856,265	853,780	-2,485	-1,485	268,853	267,842	-1,011	-0,011	247,264	245,927	-1,337	-0,337
rPP10260	856,265	853,266	-2,999	-1,999	268,853	267,474	-1,379	-0,379	247,264	245,949	-1,315	-0,315
rPP10270	856,265	853,544	-2,721	-1,721	268,853	267,574	-1,279	-0,279	247,264	245,845	-1,419	-0,419
rPP10280	856,265	853,901	-2,364	-1,364	268,853	267,620	-1,233	-0,233	247,264	246,068	-1,196	-0,196
rPP20260	856,265	853,780	-2,485	-1,485	268,853	267,842	-1,011	-0,011	247,264	245,927	-1,337	-0,337
rPP20270	856,265	853,534	-2,731	-1,731	268,853	267,299	-1,554	-0,554	247,264	245,192	-2,072	-1,072
rPP20280	856,265	853,033	-3,232	-2,232	268,853	267,494	-1,359	-0,359	247,264	245,465	-1,799	-0,799
rPP0MA280	856,265	853,102	-3,163	-2,163	268,853	267,424	-1,429	-0,429	247,264	245,646	-1,618	-0,618
rPP10MA280	856,265	852,912	-3,479	-2,479	268,853	267,487	-1,366	-0,366	247,264	245,399	-1,865	-0,865
rPP20MA280	856,391	853,060	-3,331	-2,331	268,853	267,503	-1,350	-0,350	247,264	245,281	-1,983	-0,983

Çizelge 3.2 Yaşlandırılmış parçaların ölçüm sonuçları.

Numune Kodu	Kontrol Eksen 1 (Y Eksen)				Kontrol Eksen 2 (X Eksen)				Kontrol Eksen 3 (X Eksen)			
	(mm)				(mm)				(mm)			
	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı	Nominal Değer	Ölçülen Değer	Sapma	Tolerans Dışı
rPP0260	856,247	850,208	-6,039	-5,039	268,846	266,726	-2,120	-1,120	247,218	244,404	-2,814	-1,814
rPP0270	856,247	850,292	-5,955	-4,955	268,846	265,916	-2,930	-1,930	247,218	244,843	-2,375	-1,375
rPP0280	856,247	850,569	-5,578	-4,678	268,846	266,443	-2,403	-1,403	247,218	245,155	-2,063	-1,063
rPP10260	856,247	850,876	-5,371	-4,371	268,846	266,180	-2,666	-1,666	247,218	245,691	-1,527	-0,527
rPP10270	856,247	851,024	-5,223	-4,223	268,846	266,895	-1,951	-0,951	247,218	245,183	-2,035	-1,035
rPP10280	856,247	850,835	-5,412	-4,412	268,846	266,560	-2,286	-1,286	247,218	245,848	-1,370	-0,370
rPP20260	856,247	850,774	-5,473	-4,473	268,846	266,669	-2,177	-1,177	247,218	245,495	-1,723	-0,723
rPP20270	856,247	850,370	-5,877	-4,877	268,846	266,337	-2,509	-1,509	247,218	244,526	-2,692	-1,692
rPP20280	856,247	850,630	-5,617	-4,617	268,846	266,347	-2,499	-1,499	247,218	245,132	-2,086	-1,086
rPP0MA280	856,247	850,915	-5,332	-4,332	268,846	266,179	-2,667	-1,667	247,218	245,090	-2,128	-1,128
rPP10MA280	856,247	850,622	-5,625	-4,625	268,846	266,872	-1,974	-0,974	247,218	245,019	-2,199	-1,199
rPP20MA280	856,247	850,690	-5,557	-4,557	268,846	266,576	-2,270	-1,270	247,218	245,224	-1,994	-0,994

3.2 Çekme Testi Test Sonuçları

Test için hazırlanan örnekler germe-şekil değiştirme cihazının çeneleri arasına uç kısımlarından tutturularak yerleştirildi. Testler, ISO R 527 standardına göre 50 mm/dak'lık çekme hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her bir formülasyon için enjeksiyon akışı ile paralel yönlü ve enjeksiyon akışına dik yönde örnekler kullanılarak 6'şar adet örnek teste tabi tutulmuştur. Ayrıca plastik parçadaki PP ve EPDM arasındaki adezyonda bu test ile ölçülmüş olup sonuçları çekme mukavemetine göre yorumlanmıştır. Çekme testinden elde edilen yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçaların enjeksiyon akışına dikey ve paralel yönde kopma mukavemeti sonuçları Çizelge 3.3'de ve Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da yer almaktadır. Yaşlandırılmamış PP-g-MA içermeyen enjeksiyon akışına dikey yönlü parçalarda, 260°C'de malzemelerin geri dönüşüm içeriğinin artmasıyla malzemelerin çekme mukavemeti artmıştır. PP-g-MA içermeyen parçaların 270°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP10270'de en yüksek (30,9 MPa) rPP2070'de en düşük (29,7 MPa) değerdedir. PP-g-MA içermeyen parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP0280'de en yüksek (31,86 MPa) rPP10280'de en düşük (31,23 MPa) değerdedir. PP-g-MA parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklıklarındaki çekme mukavemeti değerlerinin malzemenin kırma içeriğinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Bütün karışım oranlarında eriyik sıcaklığının artması genel olarak çekme mukavemetlerinin az miktarda da olsa arttığı gözlemlenmiştir. %10 geri dönüşümlü PP içeren parçaların çekme mukavemetlerinin ortalama olarak daha iyi olduğu görülmüştür. Benzer bir durum Mehat ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada da gözlemlenmiştir. Yaptıkları çalışmada %0, %25, %50 ve %100 geri dönüşümlü PP kullanılarak proses parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi MFI ve bükülme testleri uygulayarak incelenmiştir. En düşük enjeksiyon sıcaklığında geri dönüşümlü malzeme kullanılmayan PP'de bile mekanik özelliklerin daha zayıf olduğunu gözlemlemişlerdir. Böyle bir durumda çözüm olarak enjeksiyon süresi artırılırsa kalıp boşluğuna daha fazla malzemenin daha iyi paketlenmesi ile mekanik özelliklerinin daha iyi olacağını belirtmişlerdir [100].

Yaşlandırılmış parçalar da PP-g-MA içermeyen enjeksiyon akışına dikey yönlü parçalarda, 260°C'de enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP10260'da en yüksek (32,62 MPa) rPP20260'de en düşük (27,45 MPa) değerdedir. PP-g-MA içermeyen parçaların 270°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri

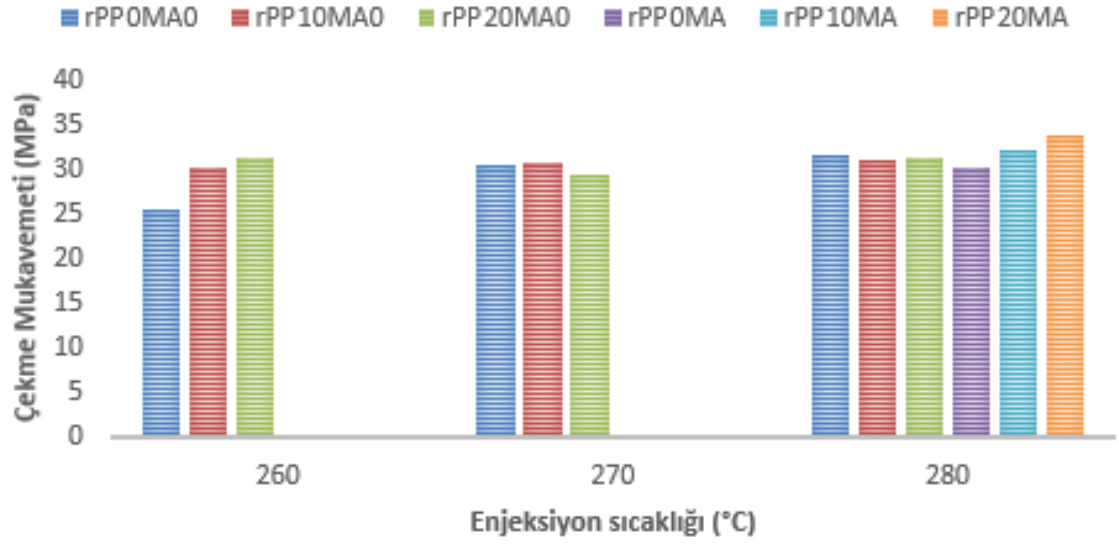
rPP10270’de en yüksek (31,46 MPa) rPP20270’de en düşük (30,99 MPa) değerdedir. PP-g-MA içermeyen parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP10280’de en yüksek (31,91 MPa) rPP0280’de en düşük (29,05 MPa) değerdedir. PP-g-MA içeren parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklıklarındaki çekme mukavemeti değerlerinin malzemenin kırma içeriğinin artmasıyla arttığı görülmüştür.

Yaşlandırılmış parçalar için enjeksiyon akışı ile paralel yönlü örneklerin çekme testinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde PP-g-MA içermeyen enjeksiyon akışına yatay yönlü parçalarda, 260°C’de enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP10260’da en yüksek (32,18 MPa) rPP20260’da en düşük (28,33 MPa) değerdedir. PP-g-MA içermeyen parçaların 270°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri malzemenin kırma içeriğinin artmasıyla azalmıştır. PP-g-MA içermeyen parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklığındaki çekme mukavemetleri rPP10280’de en yüksek (31,65 MPa) rPP0280’de en düşük (29,99 MPa) değerdedir. PP-g-MA içeren parçaların 280°C enjeksiyon sıcaklıklarındaki çekme mukavemeti değerleri rPP10MA280’de en yüksek (35,35 MPa) rPP20MA280’de en düşük (34,32 MPa) değerdedir. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçalar çekme testine göre kıyaslandığında mekanik özelliklerinde yaşlandırılmış parçaların daha iyi olduğu görülmektedir. Benzer bir durum André ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da görülmüştür. Çalışmalarında maleik anhidrit aşıllı polipropilen (PP-g-MAH) ile uyumlu bambu elyaf takviyeli geri dönüştürülmüş talk dolgulu PP/EPDM içeren yaşlandırılmış kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında PP kısımların yaşlanmadan sonra özelliklerdeki artışın, kristallik derecesi veya kristal boyutundaki artıştan kaynaklanmasının olası olacağını düşünmüşlerdir [101]. Ayrıca PP-g-MA içeren yaşlandırılmış parçalar yaşlandırılmayan PP-g-MA parçalarına göre daha yüksek çekme mukavemeti göstermişlerdir. Aynı durum yine André ve arkadaşlarının çalışmasında da görülmüştür. Uyumlaştırıcı ilavesinin, malzemenin çekme, eğilme mukavemetini ve yorulma ömrünü olumlu şekilde etkilediğini belirtmişlerdir [101].

Çizelge 3.3 Akışa dikey ve paralel yönlü parçaların çekme testi sonuçları.

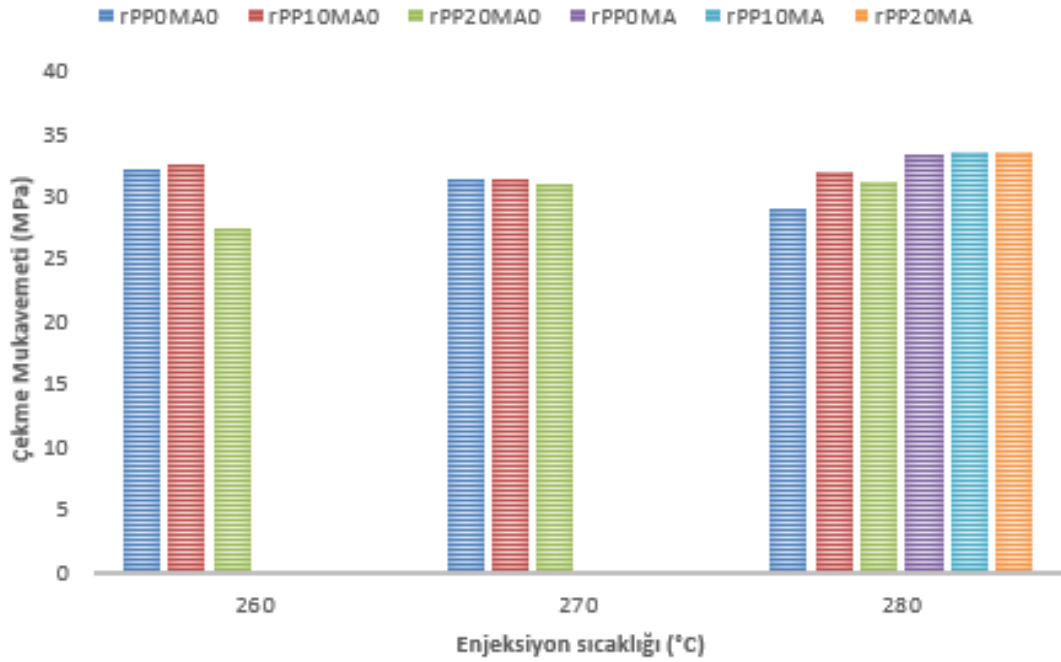
Numune Kodu	Yaşlandırılmamış				Yaşlandırılmış			
	Akışa	Akışa	Akışa	Akışa	Akışa	Akışa	Akışa	Akışa
	Dikey	Paralel	Dikey Çekme	Paralel	Dikey	Paralel	Dikey	Paralel
	Kopma	Kopma	Mukavemeti	Çekme	Kopma	Kopma	Çekme	Çekme
	Kuvveti(N)	Kuvveti(N)	(MPa)	Mukavemeti (MPa)	Kuvveti(N)	Kuvveti(N)	Mukavemeti (MPa)	Mukavemeti (MPa)
rPP0260	743	1164	25,69	31,83	911	919	32,29	32,15
rPP0270	1244	1158	30,58	29,86	900	928	31,31	32,25
rPP0280	998	1107	31,86	30,94	892	914	29,05	29,99
rPP10260	921	761	30,36	23,84	917	907	32,62	32,18
rPP10270	1116	1018	30,90	29,66	900	888	31,46	31,22
rPP10280	1012	966	31,23	33,07	901	897	31,91	31,65
rPP20260	1298	1225	28,54	29,03	862	872	27,45	28,33
rPP20270	882	941	29,70	30,28	889	888	30,99	30,82
rPP20280	911	1052	31,49	32,0	882	871	31,24	31,24
rPP0MA280	1167	1170	30,32	33,69	944	967	33,40	35,24
rPP10MA280	1068	1139	32,40	28,14	976	1000	33,62	35,35
rPP20MA280	1322	957	33,92	32,14	973	983	33,61	34,32

DİKEY YÖNDE



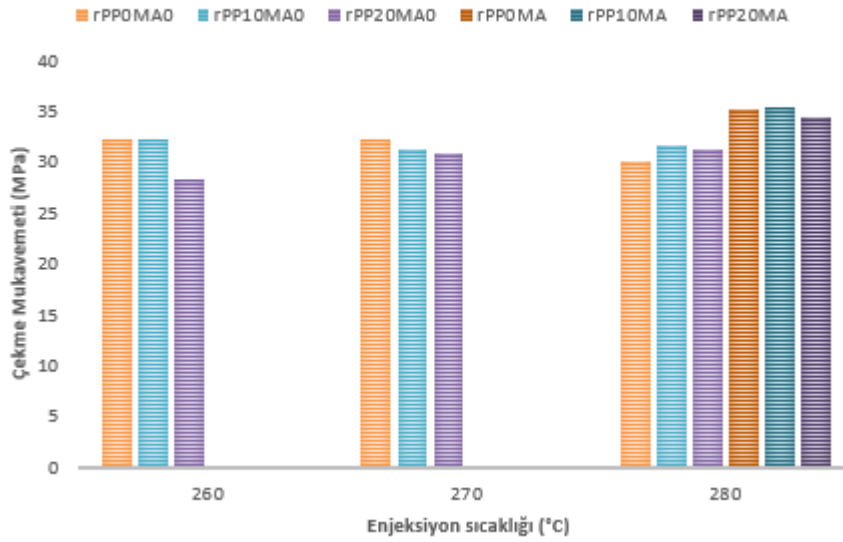
Şekil 3.7 Yaşlandırılmamış parçaların akışa dikey yönde çekme mukavemetleri

DİKEY YÖNDE



Şekil 3.8 Yaşlandırılmış parçaların akışa dikey yönde çekme mukavemetleri

YATAY YÖNDE



Şekil 3.9 Yaşlandırılmış parçaların akışa paralel yönde çekme mukavemetleri

Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış parçaların PP ve EPDM malzemenin birleşim noktalarındaki adezyon dayanımı çekme ve SEM testlerine göre yorumlanmıştır. Bu parçaların çekme testi sonuçları Çizelge 3.4’de, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir. Yaşlandırılmamış malzemelerdeki çekme mukavemeti genel olarak tablo incelendiğinde 270°C’de en optimum sonuçları verdiği ve kopma kuvveti ve çekme mukavemetinin diğer sıcaklıklardaki işleme şartlarına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu parçaların adezyonunun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yaşlandırılmamış parçaların SEM görüntülerini incelediğimizde de bütün geri dönüşüm oranlarında 270°C sıcaklıkta PP ve EPDM arasındaki adezyonun daha iyi olduğu söylenebilir. Bex ve arkadaşlarının yaptığı iki bileşenli termoplastik ve termoset malzemenin kalıplanması ile ilgili çalışmalarında benzer bir durumla karşılaşmıştır. Arayüzde artan kalıp sıcaklığı, vulkanizasyon süresinde bir azalma ve dolayısıyla daha iyi döngü süreleri ve daha düşük bozulma riski ile sonuçlanır. Ek olarak, ara yüzeyde artan kalıp sıcaklığı ile adezyon mukavemeti artar. Bununla birlikte, ara yüzeydeki kalıp sıcaklığı çok yüksek olduğunda, vulkanizasyon işlemi sırasında salınan gaz kabarcıkları yapışma mukavemetinde bir düşüşe neden olur [102]. 260°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında; rPP0260 kodlu parçanın 1,32 MPa değeri ile en iyi dayanıma sahip olduğu hem çekme testinde hem de SEM görüntüleri ile kanıtlanmıştır. 270°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında;

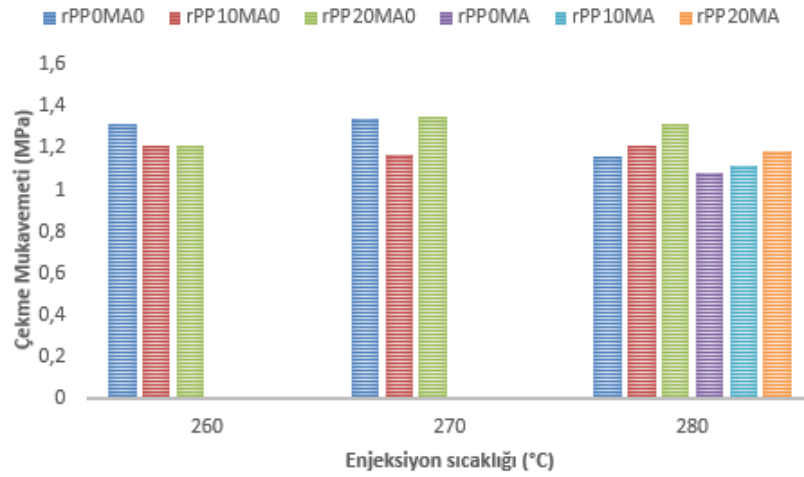
rPP20270 kodlu parça 1,35 MPa değeri ile en iyi bağlanma mukavemetine sahiptir. 280°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında; malzeme geri dönüşüm içeriği arttıkça parçaların adezyon dayanımının iyileştiği gözlemlenmiştir. PP-g-MA içerikli parçaların 280°C’de üretilmiş diğer parçalara göre daha kötü adezyon dayanımı gösterdiği ve PP-g-MA içeriklerindeki geri dönüşüm oranı arttıkça adezyon dayanımlarının iyileştiği görülmüştür. Bu parçaların SEM görüntüleri incelendiğinde PP ve EPDM arasındaki kopma yüzeylerinin daha zayıf bağlar içererek polimerlerin birbirinden kolayca ayrıldığı görülmektedir.

Yaşlandırılmış malzemelerdeki çekme mukavemeti genel olarak tablo incelendiğinde yaşlandırılmamış parçalara göre daha iyi adezyon dayanımı verdiği görülmüştür. Adezyon dayanımlarının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. 260°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında; rPP20260 kodlu parçanın 1,75 MPa değeri ile en iyi dayanıma sahip olduğu görülmüştür. 270°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında; rPP20270 kodlu parça 1,57 MPa değeri ile en iyi bağlanma mukavemetine sahiptir. 280°C’de geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon dayanımı kıyaslandığında; rPP10280 kodlu parça 1,78 MPa değeri ile en iyi adezon dayanımı göstermiştir. PP-g-MA içerikli parçaların 280°C’deki diğer parçalara göre bütün geri dönüşüm içeriklerinde daha iyi adezyon dayanımı sergilediği ve PP-g-MA içeriklerindeki geri dönüşüm oranı rPP0MA280’de adezyon dayanımının en iyi (2,06 MPa) olduğu görülmüştür. Bu parça için SEM görüntüsü incelendiğinde adezyon dayanımının diğerlerine göre iyileştiği, iki polimer arasındaki bağların güçlü olduğu görülmektedir. André ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yaşlandırılmış bileşimler ile yaşlandırılmamış bileşimler karşılaştırıldığında uyumlaştırıcı içermeyen bileşimler için gözlenen sonuçlarda önemli bir azalma yoktur. Ancak PP-g-MA içeren bileşimler için azalmalar %10 ile %30 arasında değişmektedir. Bu sonuç, yaşlanma süreci nedeniyle polimer/uyumlulaştırıcı bağlarının olası kırılması ve dolayısıyla modül değerinin düşmesi ile açıklanabilir. Bununla birlikte, yaşlandırılmış bileşimlerin gerilme modülündeki bu azalmaya rağmen, yaşlanmayanlara göre ve hiçbir uyumlaştırıcı içermeyen bileşimlere kıyasla, PP-g-MA’lı bileşimler için modülün mutlak değerlerinin bunlara eşit veya daha büyük olması dikkat çekicidir [101]. Aynı durum bu tez çalışmasında da görülmektedir.

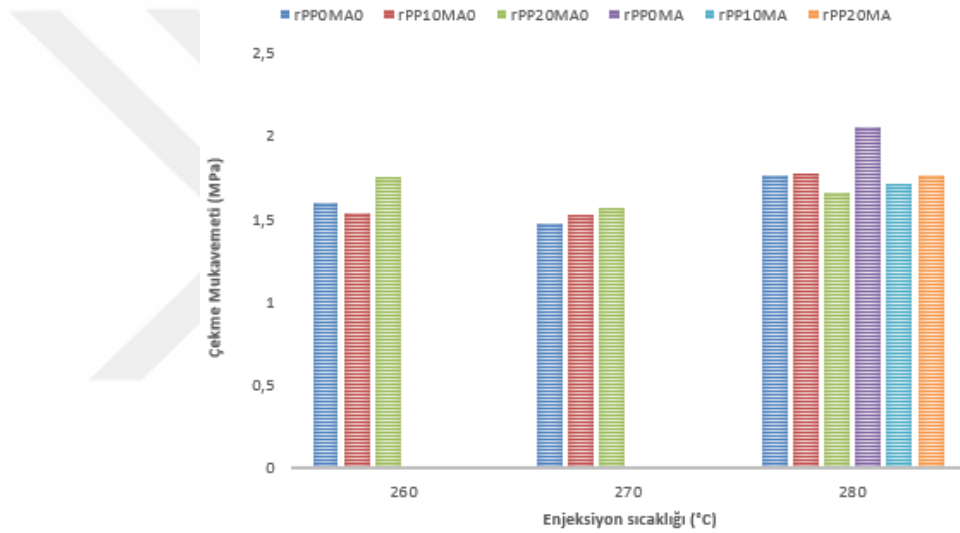
Sonuçlara bakıldığında adezyon mukavemeti parçaların proses parametrelerinden ve geri dönüşüm içeriklerine göre değişmektedir. İslam ve arkadaşları, proses koşullarının ve geometrik faktörlerin iki bileşenli polimer parçaların ara yüzey mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmış ve iki polimer arasındaki bağlanmayı (yapışmayı) etkili bir şekilde kontrol edebilecek faktörleri tanımlamışlardır. İki bileşenli kalıplamada, iki polimer arasındaki bağı genellikle çiftteki en zayıf malzemenin gücünün yaklaşık % 60'ı bulmuşlardır. Enjeksiyonla kalıplama parametreleri arasında, kalıp ve eriyik sıcaklığının, iki bileşenli kalıplanmış parçaların ara yüzey mukavemeti için en önemli parametre olduğunu bulmuşlardır. İki malzemenin termal ve ısı transfer özelliklerinin, arayüz sıcaklığını ve ara yüzeydeki bağlanmayı etkilediğini ayrıca nem, korozyon çevre ve termal geçmiş gibi çevre faktörlerinin, sonradan kalıplanan parçaların ara yüzeydeki bağlanma gücünü etkilediğini gözlemlemişlerdir. Termal yaşlandırmanın, çiftteki polimerlerden en az biri yarı kristal olduğunda polimerler arasındaki bağ kuvvetini artırdığını belirtmişlerdir [103].

Çizelge 3.4 PP/EPDM bağlantı noktası çekme testi sonuçları.

Numune Kodu	Yaşlandırılma mış Kopma Kuvveti(N)	Yaşlandırılma mış Çekme Mukavemeti(MPa)	Yaşlandırıl mış Kopma Kuvveti(N)	Yaşlandırılmış Çekme Mukavemeti(MPa)
rPP0260	202	1,32	161	1,60
rPP0270	195	1,34	136	1,48
rPP0280	182	1,16	129	1,77
rPP10260	187	1,21	136	1,54
rPP10270	187	1,17	169	1,53
rPP10280	189	1,21	224	1,78
rPP20260	194	1,21	141	1,75
rPP20270	205	1,35	203	1,57
rPP20280	194	1,32	211	1,66
rPP0MA280	191	1,08	242	2,06
rPP10MA280	186	1,12	232	1,71
rPP20MA280	195	1,19	190	1,76



Şekil 3.10 Yaşlandırılmamış PP/EPDM bölgelerin çekme mukavemetleri



Şekil 3.11 Yaşlandırılmış PP/EPDM bölgelerin çekme mukavemetleri

3.3 Eriyik Akış İndisi (MFI) Test Sonuçları

Çizelge 3.5’de numunelerin MFI değerleri yer almaktadır. Isıl yaşlandırma testi öncesi ölçülen parçaların MFI değerlerinin en yüksek rPP10260, rPP10270 ve rPP10280 kodlu parçalarda (%10 geri dönüşüm içerikli) olduğu görülmüştür. Bunlar içerisinde en düşük MFI ise rPP10260 kodlu parçadadır. Bu parçaların viskozitesi diğerlerine göre daha düşüktür. Enjeksiyon ile bu malzemeler işlenirken malzemenin makinede ilerleyip şekillenmesi daha kolay olacaktır. Bu malzemelerin kalıpta şekillenmesi için kristalizasyona yeterince vakit olacak, moleküller daha düzenli istiflenecek, çekme ve çarpılmalar da daha az olacak şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca CMM ölçümlerinde de boyutsal sapmaların %10 geri dönüşüm içeriğine

sahip olanlarda olması ile de bu durum desteklenebilir. PP-g-MA içeren parçalar ise en düşük MFI değerine sahiptir. Bu parçalar en yüksek viskoziteye sahiptirler ve kalıp içerisinde yeterli şekilde ilerlemeye vakit bulamadan eriyik polimer daha çabuk donup soğuyabilir. Bu da çekme ve çarpılmalara sebep olarak boyutsal sapmaları artırabilir. rPP0270, rPP0280 ve rPP20270, rPP20280 kodlu parçalar aynı MFI değerlerine (3,3 g/10dk) sahiptirler. Enjeksiyon sıcaklığının artışı ile de parçalarda bir miktar MFI sonuçlarında artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.5 Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış parçaların MFI sonuçları.

Numune Kodu	Yaşlandırılmamış (g/10 dk)	Yaşlandırılmış (g/10 dk)
rPP0260	2,95	2,75
rPP0270	3,3	2,97
rPP0280	3,3	3,13
rPP10260	3,15	3,71
rPP10270	4,4	4,92
rPP10280	3,75	7,56
rPP20260	3,25	3,02
rPP20270	3,3	2,84
rPP20280	3,3	3
rPP0MA280	2,75	2,63
rPP10MA280	2,8	2,3
rPP20MA280	2,06	2,59

Her bir numunenin ısıtılma sonrası da MFI değerleri ölçülmüştür. rPP10260, rPP10270, rPP10280 ve rPP20MA280 kodlu parçaların ısıtılma sonrası MFI değerleri yükselirken diğer parçaların MFI değerleri düşmüştür. Asad ve arkadaşları yaptıkları çalışmada MFI değerlerini de ölçmüşlerdir. Termo-oksidatif işlem, moleküler ağırlıkta ve polimer yapısında değişikliklere neden olarak MFI'nin artmasına ve uzun vadeli stabilitenin azalmasına neden oldu. En düşük MFI, geri dönüştürülmüş olana kıyasla yaşlanmış kopolimer PP (ko-PP) için gözlemlendi. Benzer şekilde, çalışmalarında geri dönüştürülen numunede yaşlanma ile karbonil indeksi artarken, oksidasyon indüksiyon süresi azalmıştır [99].

3.4 Shore-A ve Shore-D Sertlik Testi Sonuçları

Üretilen deflektör parçasındaki PP ve EPDM kısımlarına sırasıyla Shore D ve Shore A testleri enjeksiyon işlemi sonrasında uygulanmıştır. Bu testlerin sonuçları Çizelge 3.6'da yer almaktadır. Polipropilen bölgelerinden ölçülen testlerde, bütün proses parametrelerinde ve farklı geri dönüşüm içeriklerinde sertlik değerleri genellikle 98 olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu parçaların sertlik değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi, polipropilenin %20 talk dolgulu olmasına bağlandı. Geri dönüştürülmüş PP malzeme içeriği olarak da %20 talk dolgulu PP kullanıldı. Polimer içerisindeki geri dönüşüm yüzdesi değişse bile talkın moleküler yapıya kazandırdığı sertlik ve kristalizasyona yardımcı olarak çekirdekletirici olarak davranması ile bütün parçaların darbe mukavemetlerinde olumlu davranışa sebep olduğu düşünüldü [104].

Geri dönüşümlü PP sadece plastik kısma katıldığı için EPDM içeriği bütün formülasyonlarda aynıydı. EPDM bölgeye yapılan Shore A testine göre yapılan sertlik testi proses parametrelerinden enjeksiyon sıcaklığına göre değerlendirildi. Çizelge 3.6'da genel olarak görülen değerlere göre sıcaklığın bir miktar atması ile sertlik değerlerinin de biraz arttığı görüldü.

Çizelge 3.6 Shore A ve Shore D Sertlik Sonuçları.

Numune Kodu	Shore A (EPDM)	Shore D (PP)
rPP0260	61	98
rPP0270	68	98
rPP0280	60	96
rPP10260	58	99
rPP10270	60	99
rPP10280	65	97
rPP20260	58	98
rPP20270	60	98
rPP20280	58	99
rPP0MA280	66	98
rPP10MA280	58	97
rPP20MA280	64	99

3.5 Yoğunluk Testi Sonuçları

Hazırlanan plastik parçaların enjeksiyon işlemi sonrasında yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Çizelge 3.7’de ölçülen yoğunluk değerleri gösterilmektedir. Bütün plastik parçaların yoğunluklarına proses parametrelerine göre bakıldığında genel olarak çok fazla değişim olmadığı görülmüştür. Malzeme içeriklerine göre yoğunluklar kıyaslandığında ise; rPP0260, rPP0270 ve rPP0280 parçalarının yoğunlukları sırasıyla 0,966 g/cm³, 0,936 g/cm³ ve 1,047 g/cm³ olarak ölçülmüş olup diğer parçalardan yoğunlukları bir miktar daha düşüktür. rPP10260, rPP10270, rPP10280 ve rPP20260, rPP20270, rPP20280 kodlu parçaların yoğunlukları birbirine yakın ölçüldü. Geri dönüşümlü parçalarda yoğunluklar geri dönüşümlü malzeme eklenmeyenlere kıyasla bir miktar daha yüksek bulundu. Hatta PP-g-MA eklenen rPP0MA280, rPP10MA280 ve rPP20MA280 parçalarda rPP0MA280’in yoğunluğu en düşük olarak 0,965 g/cm³ ölçüldü.

Çizelge 3.7 Yoğunluk Test Sonuçları.

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)
rPP0260	0,966
rPP0270	0,936
rPP0280	1,047
rPP10260	1,034
rPP10270	1,044
rPP10280	1,027
rPP20260	1,049
rPP20270	1,011
rPP20280	1,044
rPP0MA280	0,965
rPP10MA280	1,192
rPP20MA280	1,014

3.6 DSC Testi Sonuçları

2K-enjeksiyon teknolojisi ile kalıplanmış parçaların ısı özellikleri hakkında fikir sahibi olabilmek için DSC analizleri yapılmış ve elde edilen DSC termogramları Şekil 3.12 ve 3.13’de verilmiştir. Ayrıca bu termogramlardan elde edilen erime

sıcaklıkları ve ΔH_e değerleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. DSC çalışmaları, polimeri eritmek için gereken ısıya dayalı olarak polimerlerin ve kompozitlerin toplam kristal içeriğini tahmin etmek için kullanılır. Yaşlandıkça nanokompozit polimerlerin kristallik derecesinin anlaşılması önemlidir çünkü kristallik; geçirgenlik, yoğunluk ve erime noktası gibi fiziksel özellikleri etkiler [105].

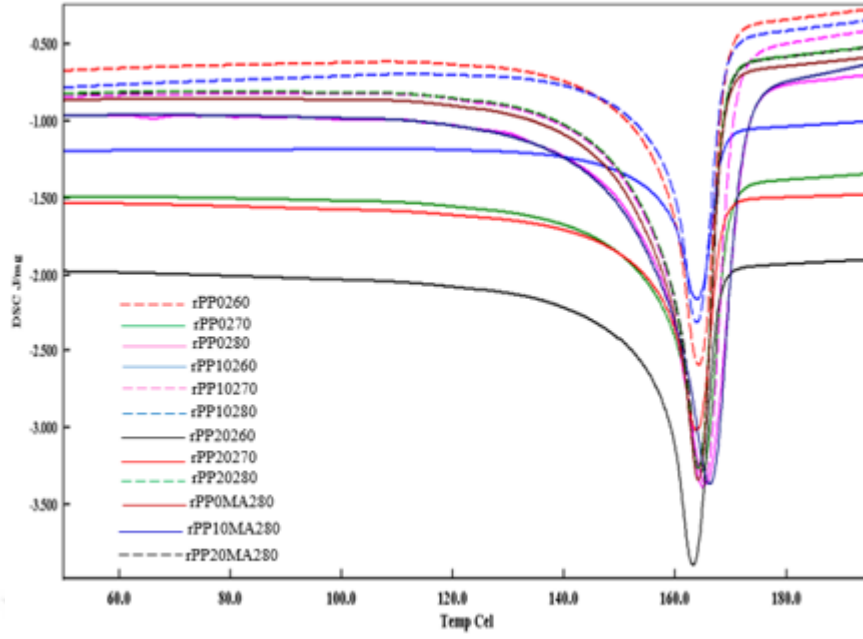
Çizelge 3.8 Yaşlandırılmamış parçaların DSC sonuçları.

Numune Kodu	$T_e(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	ΔH_e (J/mg)	Kristallik Oranı, $X_c(\%)$
rPP0260	164,2	115,4	10,7	5,11
rPP0270	164,7	114,9	15,6	7,46
rPP0280	166,4	114,4	12,6	6,02
rPP10260	164	114,7	13,1	6,26
rPP10270	165,1	114,9	13	6,22
rPP10280	163,8	115,3	11	5,26
rPP20260	163,3	116,5	13,8	6,60
rPP20270	163,8	115,4	11,5	5,50
rPP20280	164,2	117,6	14,4	6,88
rPP0MA280	164,2	118	15,4	7,36
rPP10MA280	166,3	113,9	13,9	6,65
rPP20MA280	164,3	118,1	13,7	6,55

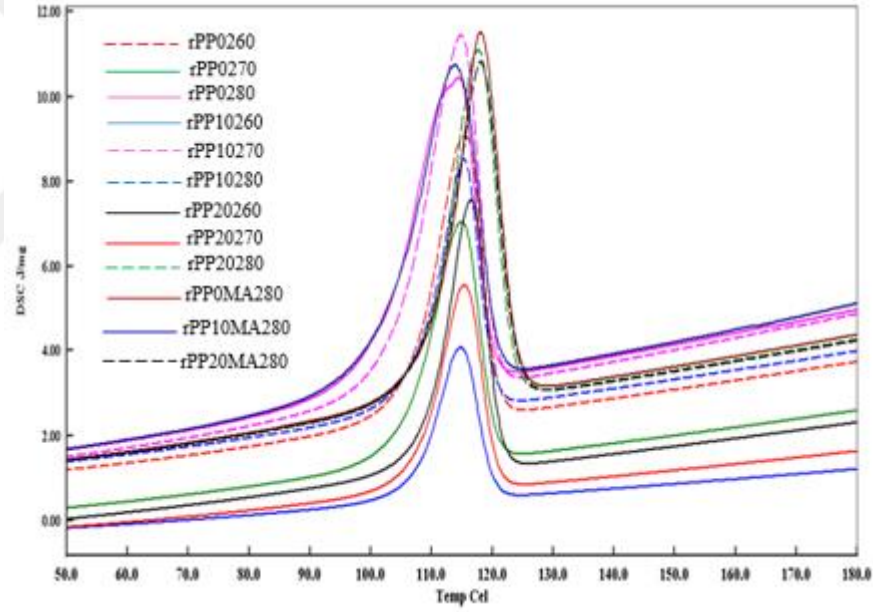
Yaşlandırılmamış parçaların Çizelge 3.8’deki DSC sonuçlarından geri dönüşüm içeriklerine göre kıyaslama yapıldığı zaman parçaların erime ve kristalizasyon sıcaklıklarında ± 1 veya ± 2 $^{\circ}\text{C}$ artış veya azalışlar görülmektedir. Geri dönüşümlü malzeme kullanılması proses parametrelerinin optimum şekilde ayarlanması ile herhangi bir olumsuzluk oluşturmamaktadır. % 0 geri dönüşüm içerikli parçalarda en

yüksek ve en düşük erime sıcaklıkları sırasıyla 280°C ve 260°C enjeksiyon sıcaklığında, en yüksek ve en düşük kristallenme sıcaklıkları ise sırasıyla 260°C ve 280°C enjeksiyon sıcaklığındadır. 270°C’de en yüksek kristalizasyon yüzdesi görülmüştür. Bu durum ile ilgili olarak kristalleşme sıcaklığı azaldıkça kristalleşme süresi azalır, kristalleşme hızı artar. Kristalleşme hızı artan bir polimer için kalıba enjekte edildikten sonra soğuma süresi azaltılmış olur. Bu da bir parçanın enjeksiyon ile üretilmesi için toplam kalıp çevrim süresini azaltmış olacaktır. Ayrıca, yarı kristalli yapıdaki bir polimerin, eriyiğin altında fakat camsı geçiş sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa soğutulduğunda, polimer kristalleşmeye uğrayacaktır. İzotermal sıcaklık erime sıcaklığına yaklaştıkça, polimerin kristalleşmesi giderek daha uzun zaman alacaktır. Benzer şekilde, sıcaklık düştükçe polimer daha hızlı kristalleşecektir. Bununla birlikte sıcaklık çok hızlı bir şekilde düşürülürse, sıcaklık Tg'ye yaklaştıkça erimiş polimerin viskozitesi önemli ölçüde artacaktır ve polimer kristalleşmeyebilir. Bunun yerine amorf bir cam oluşturabilir. Kalıbın sıcaklığı bu nedenle termoplastik için geçen süre üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Kalıba enjekte edildikten sonra polimer kristalleşir. İzotermal kristalleşme sıcaklığı azaldıkça kristalleşme hızı artar. Polimeri kristalize etmek için istenen süre, izotermal kalıp sıcaklığı değiştirilerek ayarlanabilir. Daha büyük bir enjeksiyonla kalıplanmış parça için, kalıp sıcaklığını artırarak kristalizasyon süresinin arttırılması istenebilir. Benzer şekilde, daha küçük bir kalıplanmış parça için, kalıp sıcaklığı düşürülerek kristalleşme süresinin azaltılması istenebilir. DSC izotermal kristalizasyon testi, belirli bir termoplastik için ideal bir kalıplama sıcaklığının oluşturulmasına yardımcı olur [105].

% 10 geri dönüşüm içerikli parçalarda en yüksek ve en düşük erime sıcaklıkları sırasıyla 270°C ve 280°C enjeksiyon sıcaklığında, en yüksek ve en düşük kristallenme sıcaklıkları ise sırasıyla 280°C ve 260°C enjeksiyon sıcaklığındadır. 260°C’de en yüksek kristalizasyon yüzdesi görülmüştür. % 20 geri dönüşüm içerikli parçalarda en yüksek ve en düşük erime sıcaklıkları sırasıyla 280°C ve 260°C enjeksiyon sıcaklığında, en yüksek ve en düşük kristallenme sıcaklıkları ise sırasıyla 280°C ve 270°C enjeksiyon sıcaklığındadır. 280°C’de en yüksek kristalizasyon yüzdesi görülmüştür. PP-g-MA parçalarda ise en yüksek erime sıcaklığı ve en düşük kristalizasyon sıcaklığı rPP10270’de görüldü. Bu parçaların kristalizasyon yüzdesi kırma içeriğinin artmasıyla arttı.



Şekil 3.12 Yaşlandırılmamış parçaların erime sıcaklıklarına ait DSC diyagramı



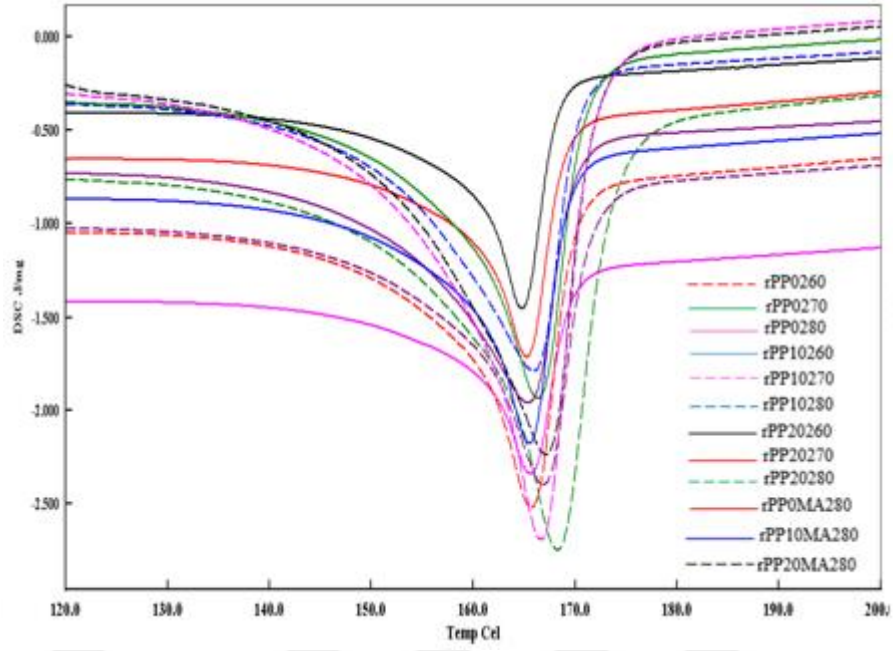
Şekil 3.13 Yaşlandırılmamış parçaların kristalizasyon sıcaklıklarına ait DSC diyagramı

Yaşlandırılmış parçaların Çizelge 3.9'daki DSC sonuçları incelenip geri dönüşüm içeriklerine göre kıyaslama yapıldığı zaman yaşlandırılmış malzemelerde olduğu gibi parçalarda ± 1 veya ± 2 °C artış veya azalışlar görülmektedir. Yaşlandırılmış parçaların erime ve kristalleşme sıcaklıkları ile kristallik oranları yaşlandırılmamış parçalara göre bir miktar artmıştır. Yaşlandırma sonrası kristallik derecelerinin artması ile ilgili Changseok ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada,

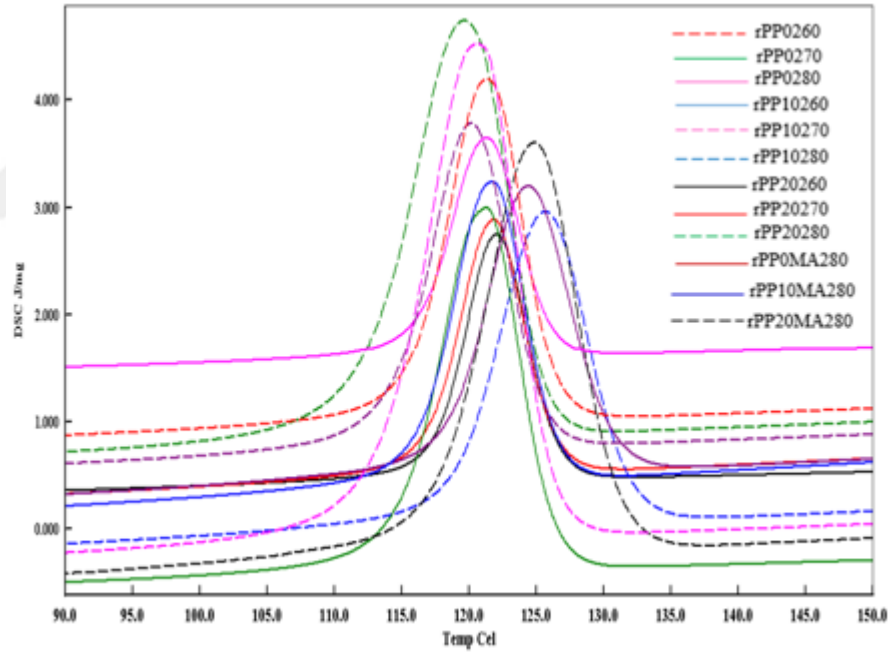
yaşlanmış PP kompozitlerin tahmini kristallik derecesi, yaşlanma sonucunda artmıştır. Daha kalın kompozitler, daha ince kompozitlere göre daha yavaş kristalleşir. Ayrıca yaşlanmadan sonra polimer kompozitlerin kristalliklerinde bir artış gösteren sonuçlar bildirmişlerdir. Yaşlanma süreci sırasında moleküler boyuttaki değişikliklere atfedilerek amorf fraksiyonun azalmasına ve zincir kesilmesinin neden olduğu kristallerin yeniden düzenlenmesine bağlanarak bu durumu yorumlamışlardır. Ancak, yaşlanma sürecinde polimerlerin yapısal ve kimyasal özelliklerindeki değişikliklerin karmaşıklığından dolayı kristallik artabilir veya azalabilir [106].

Çizelge 3.9 Yaşlandırılmış parçaların DSC sonuçları

Numune Kodu	T _e (°C)	T _c (°C)	ΔH _e (J/mg)	Kristallik Oranı, X _c (%)
rPP0260	165,7	121,3	13,3	6,36
rPP0270	168,3	119,6	14,5	6,93
rPP0280	165,9	125,6	11,1	5,31
rPP10260	165,4	121,8	15,1	7,22
rPP10270	165,3	121,9	14,6	6,98
rPP10280	164,8	122	12,4	5,93
rPP20260	166,4	121,2	15,3	7,32
rPP20270	166,7	120,5	15,1	7,22
rPP20280	165,4	124,5	17,1	8,18
rPP0MA280	166,8	120,1	13,4	6,41
rPP10MA280	165,8	121,3	15,3	7,32
rPP20MA280	167,2	124,8	15,2	7,27



Şekil 3.14 Yaşlandırılmış parçaların erime sıcaklıklarına ait DSC diyagramı



Şekil 3.15 Yaşlandırılmış parçaların kristalizasyon sıcaklıklarına ait DSC diyagramı

3.7 SEM-EDX Analizi

Farklı proses parametreleri ve farklı geri dönüşüm oranlarında iki bileşenli enjeksiyon ile üretilen plastik parçalarda polipropilen ve EPDM arasındaki adezyon davranışını yorumlayabilmek için SEM analizi yapılmıştır. Polipropilen ve EPDM'in kalıpta birleşim noktalarının mukavemeti çekme testi ile yorumlanmıştır. Bu iki

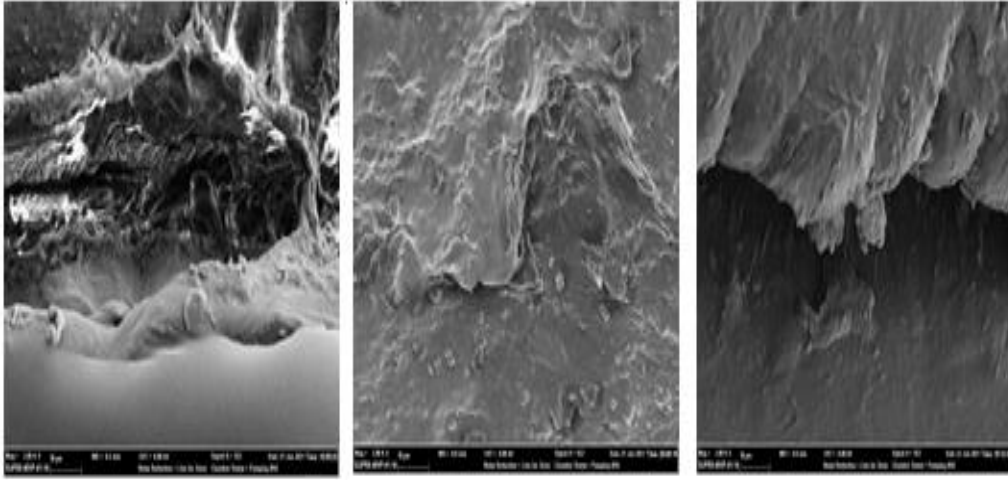
malzemenin birbirinden ayrıldığı noktalardaki görüntüler SEM analizi ile de incelendi. SEM görüntüleri yorumlanırken parçaların çekme mukavemetleri de kıyaslanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yaşlandırılmamış parçaların SEM görüntüleri incelendiğinde geri dönüşüm oranına göre kıyaslama yapıldığında çekme testi verilerinde elde edilen mukavemet değerleri ile örtüştüğü görülmüştür. Geri dönüşüm oranının artması ile parçaların mekanik dayanımları ve adezyonları belirgin bir artış ya da azalış göstermemiştir. Proses parametrelerinin uygun ayarlanmasının daha belirgin bir etken olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.16'da % 0 geri dönüşüm içeriğine sahip parçalarda en iyi adezyon dayanımı 270 °C enjeksiyon sıcaklığındadır. Polipropilen ve EPDM arasındaki ayrılma 260 °C ve 280 °C'ye göre daha azdır. 280 °C'deki SEM görüntüsüne bakıldığı zaman aradaki adezyonun daha zayıf olduğu iki polimerin birbirinden kolayca ayrılarak birbirleri arasındaki uzaklığın çok daha fazla olduğu görülmektedir. % 10 geri dönüşüm içerikli parçalarda 270 °C'de adezyon davranışının en iyi olduğu 260 ve 280 °C'lerde polipropilen ve EPDM arasındaki bağlanmanın daha iyi olduğu söylenebilir. % 20 geri dönüşüm içerikli parçalarda ise 270 °C'de adezyon davranışının en iyi, 260 °C'de polipropilen ve EPDM arasındaki adezyonun daha zayıf olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar ile çekme testinden elde edilen çekme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığı zaman sonuçların birbirini doğruladığı görülmektedir. 280 °C'de PP-g-MA içerikli parçaların da çekme testi sonuçlarındaki gibi en zayıf adezyona sahiptir. Polipropilen ile EPDM arasındaki kırılma yüzeyleri düzgün olmayıp iki polimer arasındaki ayrışma çok fazladır. Hatta polipropilen kısmında bulunan maleik anhidrit dağılımının homojen olmadığı görülmektedir. PP-g-MA içeren parçalarda daha yüksek enjeksiyon sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı kullanılarak daha iyi adezyon sağlanabileceği öngörülmektedir. Ruofei ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada PP/EPDM ve PP/MAEPDM arasındaki mekanik özellikler ve morfoloji ve EPDM'nin aşılama ve çapraz bağlanmasının PP'nin karışabilirliği, kristal davranışı, dağılım durumu ve reolojik davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İki karışım arasındaki fark, MAEPDM/PP arasındaki karışabilirliğin PP/EPDM'den daha düşük olduğudur. MEPDM üzerinde polar maleic anhidrit gruplarının mevcudiyeti, PP ve elastomer arasında uyumsuzluğa yol açar, bu da karışabilirliğin bozulmasına büyük ölçüde katkıda bulunur. Ayrıca, MEPDM'nin çapraz bağlanmasının, PP ve MEPDM arasındaki zayıf yapışmadan kısmen sorumlu

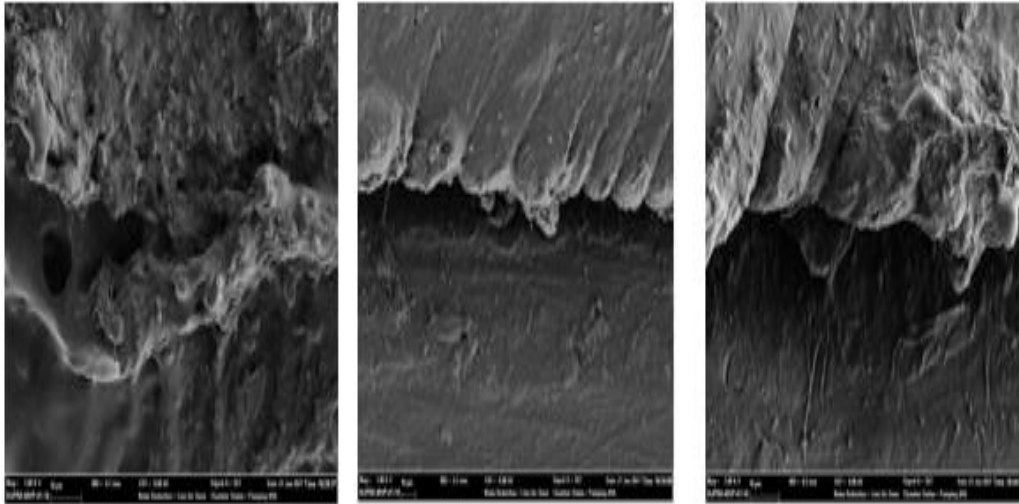
olduğuna inanılmaktadır. Çünkü apraz bağlama, MEPDM zincirlerinin PP matrisine yayılmasını nleyebilir. Bu nedenle PP ve MEPDM arasındaki fiziksel etkileşimi azaltır. PP/MEPDM'nin düşük sönümleme kapasitesi muhtemelen MEPDM'nin çapraz bağlanmasıdan kaynaklanmaktadır. Bir polimer malzemenin sönümlenmesi veya enerji dağılımı, zincirlerin viskoz kaymasının neden olduğu i sürtünmeden kaynaklanır. Zincirler kısmen çapraz bağlıysa, zincirlerin viskoz kayması bir dereceye kadar sınırlandırılacaktır, böylece i sürtünmeyi ve dolayısıyla sönümleme kapasitesini azaltır [107]. Bu da daha zayıf adezyona sebep olacaktır.

Yaşlandırılmış malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde yaşlandırılmamış parçalara göre çekme testindeki çekme mukavemet değerlerinde olduğu gibi daha iyi adezyon davranışı sergilediği görülmüştür. % 0 ve % 10 geri dönüşüm içeriklerine sahip parçalarda en iyi adezyonun 280°C enjeksiyon sıcaklığında, en kötü adezyonun 270°C sıcaklıkta olduğu görülmektedir. % 20 geri dönüşüm içeriklerine göre parçaların adezyon davranışı kıyaslandığında ise; en iyi adezyon 260°C enjeksiyon sıcaklığındadır. PP-g-MA içerikli parçaların 280°C'de üretilen parçalara göre bütün parametrelerde daha iyi adezyon davranışı gösterdiği görülmüştür. PP-g-MA içerikli parçaların yaşlandırılmamış olanları diğer parçalara göre en kötü adezyonu sergilemişt. Bu parçalar için daha yüksek ısılarda proses parametrelerinin gerekli olduğu termal yaşlandırma sonrası da doğrulanmış oldu. İki polimer arasında güçlü bağların olması için ve daha iyi bir yapışma için daha yüksek ısılar gerektiği yorumu yapılabilir. Yaşlandırma sonrası EPDM'in termal kararlılığı zerine Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada Etilen propilen dien monomer (EPDM) kauçuğu, farklı zaman periyotlarında hava sirkülasyonlu bir fırın tarafından üretilen hızlandırılmış bir termal yaşlanma ortamına maruz bırakılmıştır. EPDM'nin termal stabilitesi ve kimyasal yapılarındaki değişiklikler, termo-gravimetrik analiz (TGA), Zayıflatılmış toplam yansıma-fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) ve X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ile izlenmiştir. Sonuçlar, hızlandırılmış termal yaşlanma ortamının EPDM'nin termal stabilitesini açıkça etkilemediğini göstermiştir. FTIR ve XPS; test ortamında hidroksil, karbonil ve ester gruplarının oluşumunu doğrulamıştır. Hızlandırılmış termal yaşlandırma ortamına 90 gün süreyle maruz kaldıktan sonra, karbon atomlarının çevresinde açık bir kimyasal değişiklik olmuştur ve dört bileşenin, özellikle C-OH, C=O ve O-C=O'nun alan yüzdesi, yaşlanmayan EPDM'lere kıyasla açıkça değişmiştir. C-OH, C=O ve O-C=O

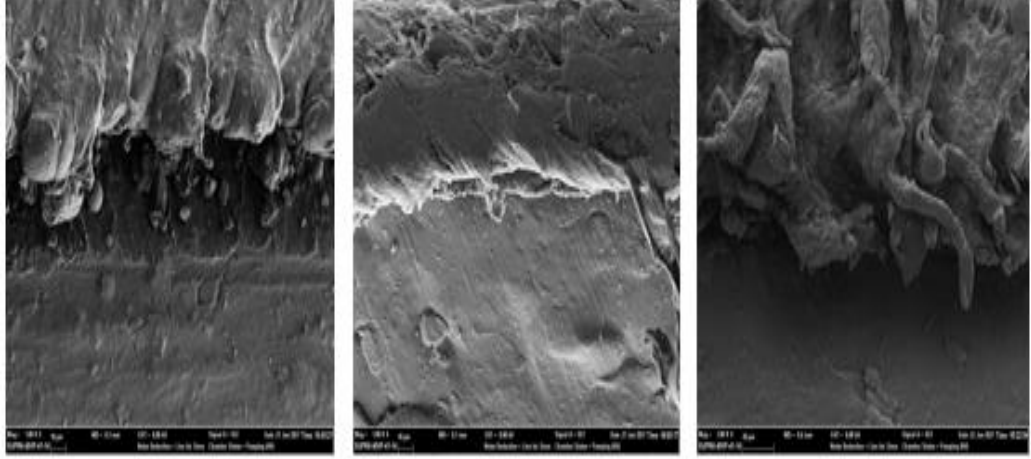
alan yüzdesi, yaşlandırılmamış EPDM ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0,85, %3,79 ve %1,83 artmıştır. FTIR ve XPS sonuçlarından, EPDM numuneleri hızlandırılmış termal yaşlandırma ortamına maruz bırakıldığında C-OH, C=O ve O-C=O gruplarının ana ürünler olduğu sonucuna varılabilir [108]. Bu tez çalışmasında da yaşlandırmadan sonra adezyonun iyileştiği hem SEM analizinden hem de çekme testi sonuçlarından açıkça görülmektedir. Liu ve arkadaşlarının çalışmasında olduğu gibi termal yaşlandırma ile meydana gelen farklı bağ gruplarının aradaki yapışmayı artırarak adezyonu iyileştirdiği düşünülmüştür.



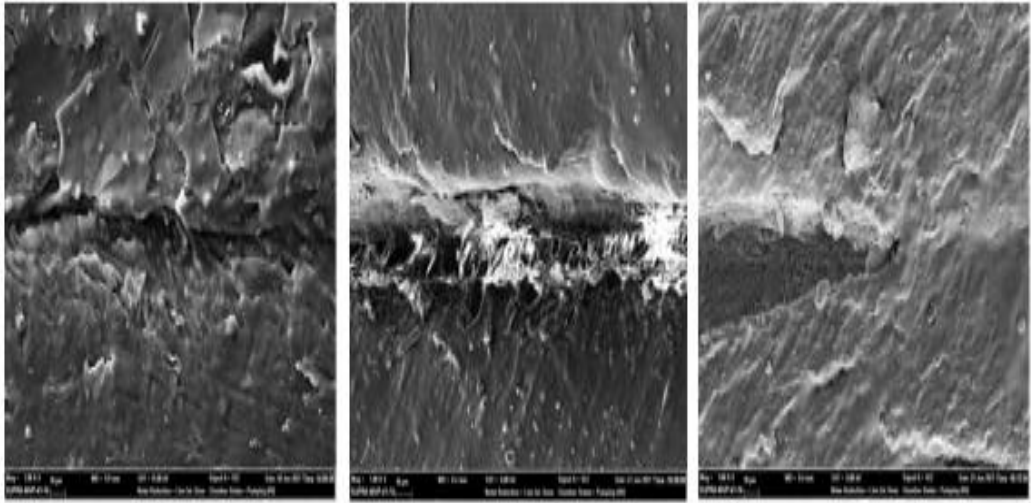
Şekil 3.16 % 0 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



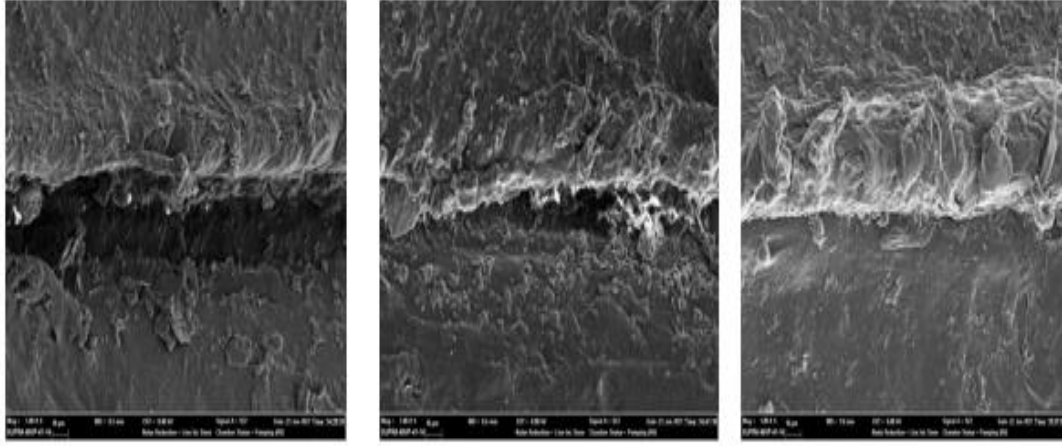
Şekil 3.17 % 10 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



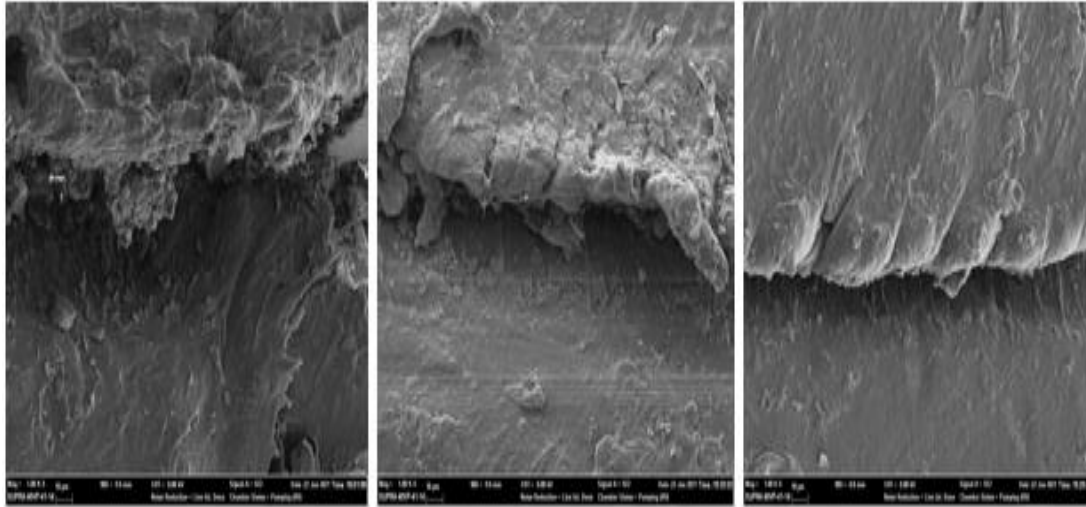
Şekil 3.18 % 20 geri dönüşümlü yaşlandırılmamış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



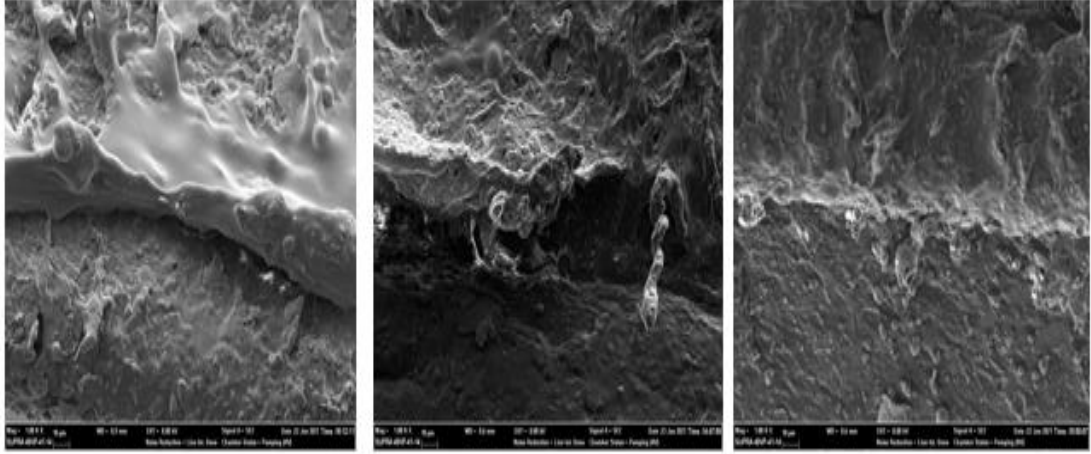
Şekil 3.19 280°C'de geri dönüşümlü yaşlandırılmamış PP-g-MA parçalar a) %0, b) %10 ve c) %20



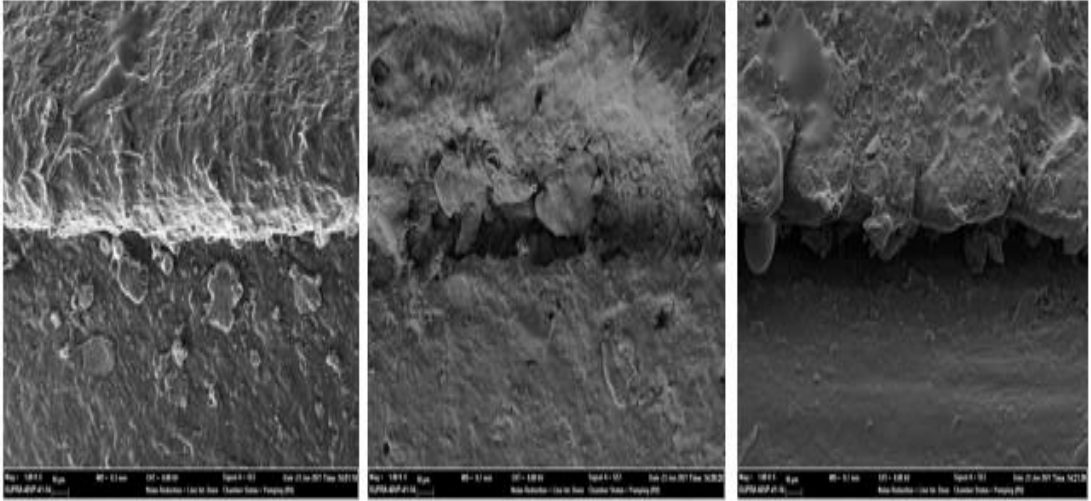
Şekil 3.20 % 0 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



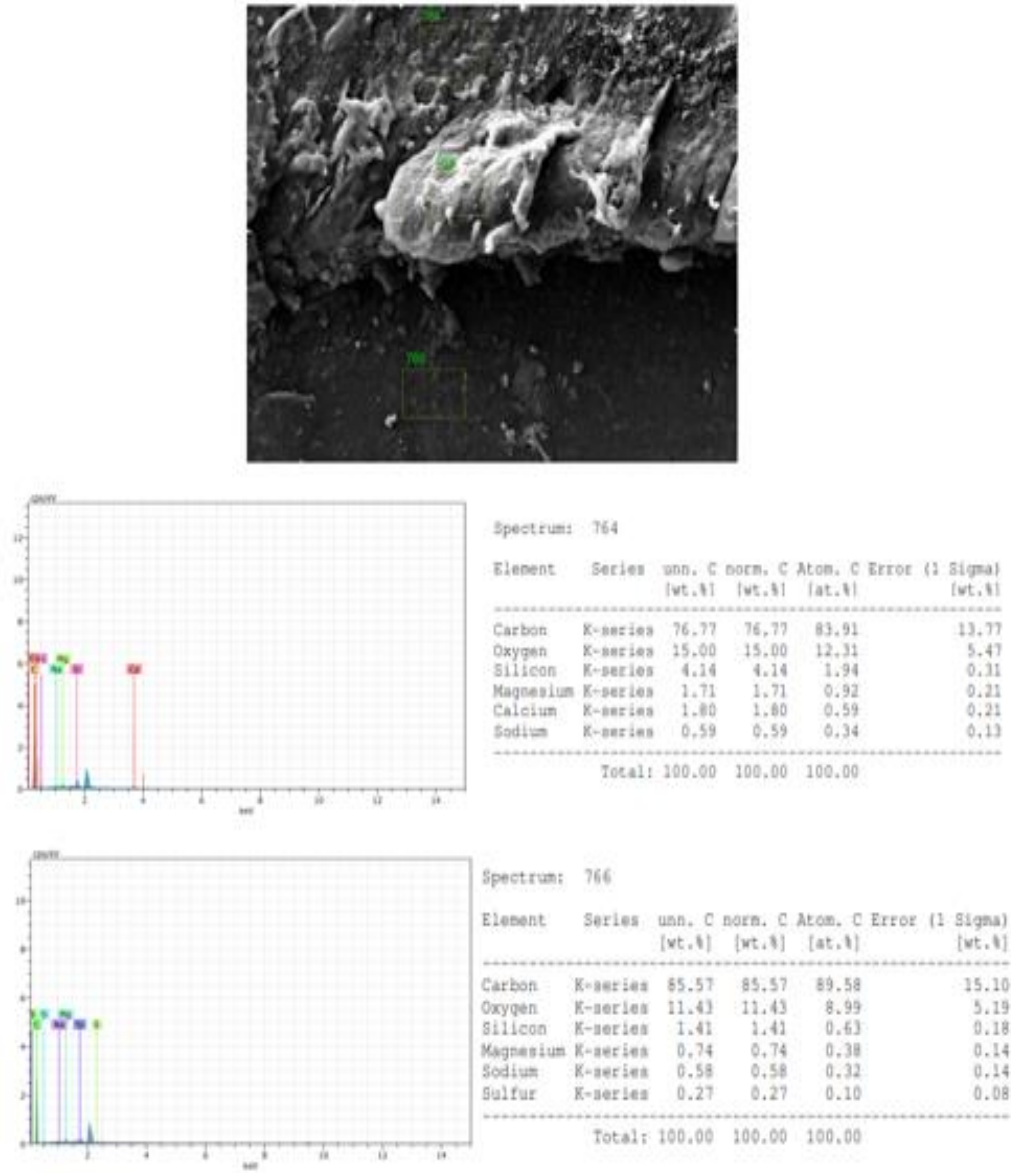
Şekil 3.21 % 10 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



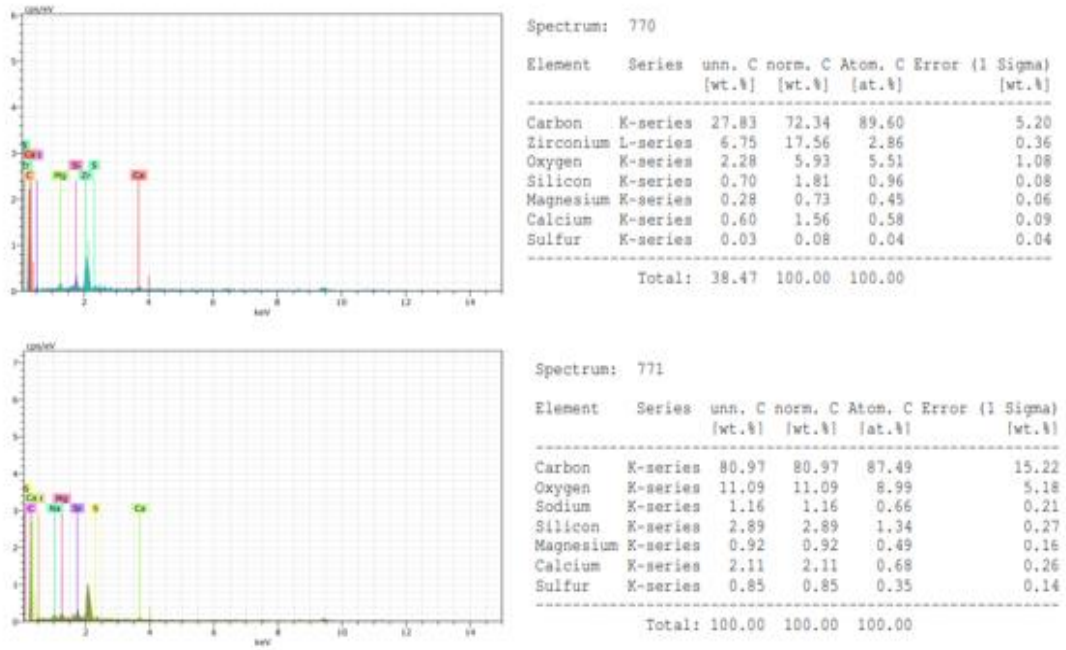
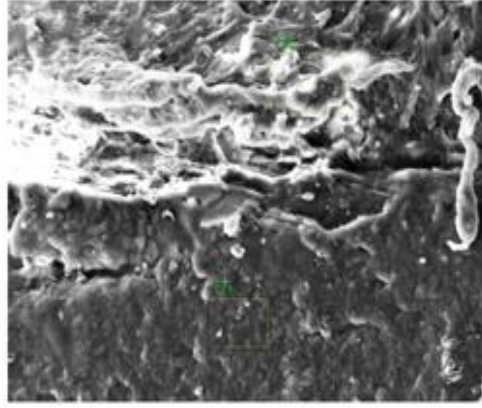
Şekil 3.22 % 20 geri dönüşümlü yaşlandırılmış parçalar a) 260°C, b) 270°C, c) 280°C



Şekil 3.23 280°C'de geri dönüşümlü yaşlandırılmış PP-g-MA parçalar a) %0, b) %10 ve c) %20



Şekil 3.24 %100 PP parçanın EDX analizi



Şekil 3.25 % 20 PP parçanın EDX analizi

Üretilen parçalarda polimerlerin kimyasal içeriğini araştırmak için elementel analizleri EDX analizi ile gerçekleştirilmiştir. Birkaç tane parça üzerinde polipropilen ve EPDM kısımlar taranarak kimyasal bileşimler ve oranları EDX grafikleri ve kimyasal içerik tablolarında Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Çalışmalarda kullanılan polimerlerden polipropilenin %20 talk dolgulu olduğu biliniyordu. Talk mineralinin bileşimi hidratlanmış magnezyum silikat olduğu için polipropilen bölgelerinde magnezyum ve silisyum elementlerinin olması, EPDM bölgelerde ise sülfür miktarının fazla olması bekleniyordu. Grafikler ve tablolar incelendiğinde, EPDM bölgelerde sülfür elementi, polipropilen bölgelerinde magnezyum ve silisyum elementlerinin polipropilenin içeriğindeki talklı yapıdan olduğu analizle de kanıtlanmış oldu.



4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, 2K enjeksiyon teknolojisi ile geri dönüştürülmüş PP ve EPDM malzemelerinin kalıplanması için, malzeme ve proses parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. 2K enjeksiyon teknolojisi ile üretilen PP/EPDM parçaların üretim atıklarının geri dönüşümü ile malzeme formülasyonları oluşturulmuştur. Yapılan formülasyon ve belirlenen üretim parametreleri ile geri dönüşümlü PP/EPDM parçaların mekanik, ısı ve yapısal özelliklerinin karakterizasyonu, 3 boyutlu ölçümü ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan CMM ölçümleri ile; proses parametrelerinin optimum şartlarda ayarlanması plastik parçanın çekme ve çarpılma davranışlarını minimum seviyeye indireceğini ve parçaların kullanım yerlerinde fiziksel özelliklerinde sorunlar yaşanmayacağını kanıtlamış oldu. Ayrıca %10 geri dönüşümlü malzeme kullanılan parçalar ile geri dönüşümlü malzeme içermeyen parçalar kıyaslandığı zaman fark olmadığı bulunmuştur. Bu az miktarda geri dönüşümlü malzeme kullanımı olsa dahi çevresel ve ekonomik katkıları olabileceğini göstermektedir.

Çekme testi sonuçları ile parçaların mekanik özellikleri incelendiğinde; geri dönüşüm oranının artması parçaların çekme mukavemetlerinin arttığını gösterdi. Geri dönüşümlü malzeme kullanımının mekanik özelliklerde olumsuz yönde bir etki yapmadığı görüldü. Proses parametrelerinin artışı ile de parçaların çekme mukavemetleri arttı. PP-g-MA paralarda geri dönüşüm içeriğinin artması da çekme mukavemetini düşürdü. Çekme testi sonuçlarına bakıldığında yaşlandırmanın ciddi bir etkisi bulunmadı. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örnekler incelendiğinde adezyon dayanımların yüksek enjeksiyon sıcaklıklarında kırma içeriğinin artması ile yükseldiği görülmüştür. PP ve EPDM arasındaki bağlanma üzerinde enjeksiyon sıcaklığının etkili olduğu görüldü.

MFI sonuçlarına bakıldığında en uygun proses parametresinin 270 °C enjeksiyon sıcaklığı olduğu ve %10 geri dönüşümlü malzeme kullanımının en ideal olduğu görüldü. Maleik anhidrit kullanımı MFI değerini düşürerek viskoziteyi yükseltmiştir.

Shore A ve Shore D sertlik testlerine göre; malzemenin talk içeriklerinin aynı olmasındandolayı PP kısmın sertliğinin çok fazla değişmediği görülürken, EPDM kısmın sertliği enjeksiyon sıcaklığının artması ile bir miktar arttı.

Parçaların yoğunluk testleri sonucunda geri dönüşüm içerikleri ve proses parametresine göre fazla değişim olmadığı gözlemlendi. Geri dönüşümlü malzeme kullanılan numunelerde yoğunluklar geri dönüşümlü malzeme kullanılmayanlara göre biraz daha yüksek bulundu.

Geri dönüşümlü malzeme kullanımının ve proses parametrelerinin etkisinin malzemenin ısı özelliklerine etkisi DSC ile tespit edildi. DSC sonuçları öncelikle geri dönüşüm içeriklerine göre kıyaslama yapıldı. Bunun sonucuna göre parçaların erime ve kristalizasyon sıcaklıklarında ± 1 veya ± 2 °C artış veya azalışlar görülmektedir. Proses parametreleri parçanın boyutuna, içeriğine ve teknik özelliklerine göre optimum şekilde ayarlanırsa geri dönüşümlü malzeme kullanılması önemli derecede bir olumsuzluk oluşturmaz. Ayrıca yaşlandırma esnasında sıcaklığın etkisi olarak yaşlandırılmış malzemede kristalizasyon yüzdesi ve kristalizasyon sıcaklıkları yaşlandırılmamış malzemelere göre artış gösterdi. Bu parçaların kristalleşme hızı daha yavaş olacağı için polimerdeki kristal fazın oryante olması ve zincirlerin paketlenmesi daha düzenli olacaktır. Bu da daha mukavim malzeme elde edilmesini sağlayabilecektir. Çekme testi sonuçlarında da yaşlandırılmış parçaların çoğunun yaşlandırılmamışlara göre bir miktar daha yüksek çekme mukavemeti sergilediği görülerek yapılan testlerin birbiriyle örtüşen sonuçlar verdiği görüldü.

Malzemelerin mikroyapı özelliklerini incelemek için yapılan SEM testinde de yaşlandırılmış malzemelerin adezyon davranışlarının iyileştiği görülmüştür. PP ve EPDM arasındaki adezyon incelendiğinde, proses sıcaklıklarının malzemeye göre uygun şekilde ayarlanması ile PP içerisindeki geri dönüşüm oranının artsa bile adezyon kötü yönde etkilenmemiştir. Yaşlandırılmış parçaların adezyonlarının iyileşmesi de SEM analizinde açıkça görülmektedir. Çekme testinde de gözlemlenen bu durum SEM ile desteklenmiştir.

Otomotiv sektörü sürekli yeni teknolojiler kullanarak maliyet azaltma ve çevreci yaklaşım istemektedir. Bu çalışma ile, iki bileşenli bir parçada bile geri dönüşümlü malzemenin az miktarda da olsa kullanımının malzemede mekanik, ısı ve yapısal özelliklerini olumsuz etkilemeyeceği görülmüştür. Üretilcek parçanın proses parametrelerinin iyi ayarlanması ve geri dönüşümlü malzeme kullanılması mali ve çevresel yönden küresel ihtiyaçları karşılamaya yönelik sonuçları ile umut verecektir.

Destekleyen Kişi ve Kurum Bilgisi.

Bu tez alışması, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2020/YL/0018 numaralı proje ile desteklenmiştir.

AR-016 kodlu proje ile yapılan çalışmalar firma bünyesinde A-Plas Genel Otomotiv Mamulleri San. Ve Tic. A.ř. tarafından desteklenmiştir.





KAYNAKLAR

- [1] D. Balkaev, V. Neklyudov, V. Starshinova, M. Stolov, L. M. Amirova, A. Ziyatdinova, R. R. Amirov, Novel nucleating agents for polypropylene and modifier of its physical-mechanical properties, Materials Today Communications, 101783
- [2] 2K injection molding: in two injection steps | GL Plastics, <https://www.gl-plastics.nl/en/manufacturing/2k-injection-molding>
- [3] G. J. Bex, W. Six, J. De Keyzer, F. Desplentere, and A. Van Bael, Two-component injection moulding of thermoplastics with thermoset rubbers: The effect of the mould temperature distribution, AIP Conference Proceedings 2055, 0880002 (2019).
- [4] Plastics in the Automotive Industry – Which Materials Will Be the Winners and Losers? / <https://www.nexant.com/resources/plastics-automotive-industry-which-materials-will-be-winners-and-losers/>, 2021.
- [5] Katarína Szteiriová, Automotive Materials Plastics In Automotive Markets Today, Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava, Trnava, Slovak Republic, 2010
- [6] Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu 2016 (Tahmini), <https://pagev.org/turkiye-otomotiv-plastikleri-sektor-izleme-raporu-2016-587f4fa263fa4>
- [7] [EuRIC Call for Recycled Plastic Content in Cars](https://www.euric-aisbl.eu/position-papers/item/351-euric-call-for-recycled-plastic-content-in-cars), Position Paper, <https://www.euric-aisbl.eu/position-papers/item/351-euric-call-for-recycled-plastic-content-in-cars>
- [8] A. Patil, A. Patel, R. Purohit, An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications, Materials Today: Proceedings 4 (2017) 3807–3815.
- [9] M. Todor, I. Kiss, Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient, Applied Engineering Letters, Vol. 1, No 4, 91-97 (2016).

- [10] W. Farooq et al., “Role of Purging Gases in the Analysis of Polycarbonate With Laser-Induced Breakdown Spectroscopy,” *Journal of Russian Laser Research*, 2014, 35(3): pp. 252-262.
- [11] Akrilonitril Bütadien Stiren Üretimi (acrylonitrile butadiene styrene production), <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/akrilonitril-butadienstiren-abs-abs.html>.
- [12] T. Okada, M. C. Faudree, N. Tsuchikura, Y. Nishi, Improvement of Low-Temperature Impact Value of Sandwich-Structural (CFRP/ABS/CFRP) Laminate Plies by Homogeneous Low-Energy Electron Beam Irradiation (HLEBI), *Materials Transactions*, 57(2016),305-311.
- [13] L. W. McKeen, “Polyamides (Nylons),” in *The Effect of Creep and other Time Related Factors on Plastics and Elastomers*, 2015, pp. 247-320.
- [14] I. A. H. Ahmad and A.M. Striegel, “Influence of second virial coefficient and persistence length on dilute solution polymer conformation,” *Analytical and bioanalytical chemistry*, 2011, 399(4): pp. 1515-1521.
- [15] J.M. Eagan, J. Xu, R.D. Gerolamo, C.M. Thurber, C.W. Macosko, A.M. LaPointe, F.S. Bates, G.W. Coates, Combining polyethylene and polypropylene: Enhanced performance with PE/iPP multiblock polymers, *Science* 355 (2017) 814–816.
- [16] D. E. Heath and S. L. Cooper, “Polyurethanes,” in *Biomaterials Science*, 2013, Elsevier, pp. 79-82.
- [17] O. S. Ovchinnikova et al., “Co-registered topographical, band excitation nanomechanical, and mass spectral imaging using a combined atomic force microscopy/mass spectrometry platform,” *ACS nano*, 2015, 9(4): pp. 4260- 4269.
- [18] M. Chanda, *Fabrication Process*, D.E. Hudgin (Ed.) *Plastics Technology Handbook*, Fifth Edition, 2017, pp. 161-181.
- [19] T. Graunke, K. Schmitt, and J. Wöllenstein, “Organic membranes for selectivity enhancement of metal oxide gas sensors,” *Journal of Sensors*, 2016.
- [20] V. R. Sastri, “Engineering Thermoplastics,” in *Engineering Thermoplastics: Acrylics, Polycarbonates, Polyurethanes, Polyacetals, Polyesters, and Polyamides*, 2014, pp. 121-172.

- [21] L. W. McKeen, "Plastics used in medical devices, in Handbook of polymer applications in medicine and medical devices," 2014, Elsevier, pp. 21-53.
- [22] G. H. Melton, E. N. Peters, and R. K. Arisman, "Engineering thermoplastics," in Applied Plastics Engineering Handbook. 2011, Elsevier. pp. 7-21.
- [23] G. H. Melton, E. N. Peters, and R. K. Arisman, "Engineering thermoplastics," in Applied Plastics Engineering Handbook. 2011, Elsevier. pp. 7-21.
- [24] Acrylic-Styrene-Acrylonitriles (ASA) Properties And Applications
<http://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/ASA.html>
- [25] K.A. Chaffin, J.S. Knutsen, P. Brant, F.S. Bates, High-strength welds in metallocene polypropylene/polyethylene laminates, Science 288 (2000) 2187–2190.
- [26] Research and Markets, Global polypropylene (PP) market report 2017: \$100 + Billion market size, demand Forecasts, industry trends and updates 2016-2022, 2017. <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-polypropylene-pp-market-report-2017-100-billion-market-size-demand-forecasts-industry-trends-and-updates-2016-2022---research-and-markets-300465031.html> (Erişim 13 April 2021).
- [27] B. Y. Chung et al., "Uterotrophic and Hershberger assays for endocrine disruption properties of plastic food contact materials polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET)," Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 2013, 76(10): pp. 624-634.
- [28] QT. Shubhra, A. Alam and M. Quaiyyum, Mechanical properties of polypropylene composites: a review. J Thermoplast Compos 2011; 26(3): 362–391.
- [29] S. Mukhopadhyay, BL. Deopura and R. Alagiruswamy, Interface behavior in polypropylene composites. J Thermoplast Compos 2003; 16(6): 479–495.
- [30] LW. McKeen. In Polyolefins. Polyvinyls, and Acrylics, Elsevier Inc., 2017, pp. 157–207.
- [31] SA. Pradeep, RK. Iyer, H. Kazan, et al., In: Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future, Elsevier Inc., 2017, pp. 651–673. - AmericanChemistry Council. Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles, E.S. Department, 2016.)

- [32] A. Youssef, CMR. Madhuranthakam, A. Elkamel, et al. Optimizing mechanical properties of injection-molded long fiber-reinforced polypropylene. *J Thermoplast Compos* 2014; 28(6): 849–862.
- [33] WJ. Choi and SC. Kim Effects of talc orientation and non-isothermal crystallization rate on crystal orientation of polypropylene in injection-molded polypropylene/ethylene–propylene rubber/talc blends, *Polymer* 2004; 45(7): 2393–2401.
- [34] AO. Bouakkaz, A. Albedah, BB. Bouiadjra, et al., Effect of temperature on the mechanical properties of polypropylene–talc composites, *J Thermoplast Compos*. 2017; 31(7): 896–912.
- [35] S. Saqan, AM. Zihlif and G. Ragosta, Thermal, elastic, and electrical properties of talcpolypropylene composite, *J Thermoplast Compos*. 2008; 21: 457–467.
- [36] G. Guerrica-Echevarri’a, JI. Eguiaza’bal and J. Naza’bal, Influence of molding conditions and talc content on the properties of polypropylene composites, *Eur Polym J*. 1998; 34: 1213–1219.
- [37] K. Wang, N. Bahlouli, F. Addiego, et al., Effect of talc content on the degradation of re-extruded polypropylene/talc composites, *Polym Degrad Stabil*. 2013; 98(7): 1275–1286.
- [38] P. Mittal, S. Naresh, P. Luthra, et al., Polypropylene composites reinforced with hybrid inorganic fillers: morphological, mechanical, and rheological properties, *J Thermoplast Compos* 2018. DOI: 10.1177/0892705718785674.
- [39] S. Kuroda, A. Mizutani, H. Ito, Effect of Talc Size on Surface Roughness and Glossiness of Polypropylene Injection Molding Application to Automotive Plastics, *Polymer Engineering And Science*-2019, 60 (2020) 132-139.
- [40] M. Denac, V. Musil, I. Šmit, Polypropylene/talc/SEBS (SEBS-g-MA) composites. Part 2. Mechanical properties, *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf*. 36 (2005) 1282–1290.
- [41] K. R. Espinosa, L.A. Castillo, S.E. Barbosa, Blown nanocomposite films from polypropylene and talc. Influence of talc nanoparticles on biaxial properties, *Mater. Des*. 111 (2016) 25–35.

- [42] S. Krishna Satya, P.S. Rama Sreekanth, An experimental study on recycled polypropylene and high-density polyethylene and evaluation of their mechanical properties, *Materials Today Proceedings*, 27 (2020) 920-924.
- [43] Champagne, X. (2018) Jean-Denis Curt, Groupe Renault: We integrate up to 20% recycled plastic in our vehicles made in Europe. *Autoactu.com – The newspaper*. <http://www.autoactu.com/jean-denis-curt--groupe-renault---on-integre-jusqu-a-20--dematiere-plastique-recyclee-dans-nos-vehicules-fabriques-en-europe-.shtml>, 2021.
- [44] T. Gallone, and A. Zeni-Guido, Closed-loop polypropylene, an opportunity for the automotive sector, *Field Actions Science Reports* (19) 48-53.
- [45] FIAT (2013). Sustainability Report – Economic, Environmental and Social Responsibility. [US/sustainability/overview/publicazioni/FiatDocuments/2013_sustainability_report.pdf](https://www.fiat.com/en/sustainability/overview/publicazioni/FiatDocuments/2013_sustainability_report.pdf), 2021.
- [46] Volvo (2018). Volvo Cars aims for 25% recycled plastics in cars from 2025. <https://group.volvocars.com/news/sustainability/2018/volvo-aims-for-25-per-cent-recycled-plastics-in-cars-from-2025>, 2021
- [47] V. Soo, J. Peeters, P. Compston, M. Doolan, J.R. Duflou, Comparative Study of End-of-Life Vehicle Recycling in Australia and Belgium, *Procedia CIRP*, 61 (2017) 269 – 274.
- [48] S. Sakai et al., An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. *J Mater Cycles Waste Management*. 16:1–20.
- [49] G. Mehlhart, I. Kosińska, Y. Baron, and A. Hermann, Assessment of the implementation of Directive 2000/53/EU on end-of-life vehicles (the ELV Directive) with emphasis on the end-of -life vehicles of unknown whereabouts. Oeko-Institut, https://ec.europa.eu/environment/waste/elv/pdf/ELV_report.pdf.
- [50] Eurostat (2017). Recovery and recycling rate for end-of-life vehicles. <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- [51] European Commission (2019). End of life vehicles – Introduction. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/environment/waste/elv/index.htm>

- [52] N. Singh, D. Hui, R. Singh, I.P.S. Ahuja, L. Feo, F. Fraternali, Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications, *Composites Part B*. 115 (2017) 409-422.
- [53] Plastik Geri Dönüşümünde Zorluklar ve Fırsatlar, (11 Ağustos 2017) <https://www.turkchem.net/plastik-geri-donusumunde-zorluklar-firsatlar.html>
- [54] Current Methodologies for Depolymerization, https://knowleslab.princeton.edu/wp-content/uploads/presentations/SN030919_Depolymerization-group-meeting.pdf
- [55] SM. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review, *Waste Manag* (2009) 29(10):2625-2643.
- [56] M. Sadat-Shojai, GR. Bakhshandeh, Recycling of PVC wastes. *Polym Degrad Stab* (2011)96(4):404-415.
- [57] R. Kumar, T. Singh, H. Singh, Solid waste-based hybrid natural fiber polymeric composites., *J Reinf. Plastics Compos.* (2015)34(23):1979-1985.
- [58] J. Yu, L. Sun, C. Ma, Y. Qiao, H. Yao, Thermal degradation of PVC: a review, *Waste Manag.* (2016)48:300-314.
- [59] Kumar S, Panda AK, Singh RK. A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel, *Resour Conserv Recycl.* (2011)55(11):893-910.
- [60] C. Barlow Intelligent recycling (presentation), Department of engineering, Institute for Manufacturing, University of Cambridge; 2008.
- [61] SM. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re-use to energy and chemicals, *Prog Energy Combust Sci.* (2010)36(1):103-129.
- [62] ML. Mastellone, Thermal treatments of plastic wastes by means of fluidized bed reactors. Ph.D. thesis. Italy: Department of Chemical Engineering, Second University of Naples; 1999.
- [63] M.P. Aznar, M.A. Caballero, J.A. Sancho, E. Francs, Plastic waste elimination by cogasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant, *Fuel Process Technol.* (2006)87:409-420.

- [64] M.P. Aznar, M.A. Caballero, J.A. Sancho, E. Francs, Plastic waste elimination by cogasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant, *Fuel Process Technol.* (2006)87:409-420.
- [65] A.S. Pouzada, *Processing, Design, and Performance of Plastics Products*, M. Gilbert, *Brydson's Plastics Materials*, Eighth Edition, Portugal, 2017, pp:205-246.
- [66] G. Scott, Green' polymers, *Polym. Degrad. Stab.* (2000)68(1):1-7.
- [67] S. ELSHEIKHI, *A Holistic Approach To Injection Moulding Optimisation For Product Quality And Cost Through The Characterisation Of Reprocessed Polymeric Materials And Process Monitoring*, Ph.D. thesis. England: University of Bradford, School of Engineering, Design and Technology, 2011.
- [68] F. Ceritbinmez, *Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Üretilen Parçalarda Çapaklanmaya Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 2014.
- [69] E. Pınar, *Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [70] D.B. Upadhyay, N. Ghimire, P. Thapa, *Design, Analysis And Optimization of Injection Mold For Production Of Plastic Safety Helmet*, Lisans Tezi, Kathmandu University School of Engineering Department of Mechanical Engineering, Dhulikhel, Nepal, 2019.
- [71] N. Moran, *Computer Aided Engineering For Injection Mould Cooling System Design*, Master Thesis, Dublin City University, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin, İrlanda, 1998.
- [72] G. Aslan, *Farklı Malzemelerden Plastik Enjeksiyon Yöntemi İle Makine Parçası Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 2011.
- [73] M. Stanek, D. Manas, M. Manas and O. Suba *Optimization of Injection Molding Process International Journal Of Mathematics And Computers In Simulation*, 2011 5(5), PP:413-421.

- [74] Process Parameters in Injection Molding Process, <http://www.injectionmoldingplastic.com/process-parameters-in-injection-molding-process.html>
- [75] Advantages and Disadvantages of Injection Moulding, <https://www.plastikcity.co.uk/blog/advantages-disadvantages-of-injection-moulding/>
- [76] AG. Banerjee, X. Li, G. Fowler, S.K. Gupta, (2007) Incorporating manufacturability considerations during design of injection molded multi-material objects, Res. Eng. Design, 17:207.
- [77] RM. Gouker, SK. Gupta, HA. Bruck, T. Holzschuh (2006) Manufacturing of multi-material compliant mechanisms using multi-material molding, Int. J. Adv. Manuf. Technol, 30:1049.
- [78] Fuel Filler Neck Housing Gas Door for 09-14 Ford F150 - Replacement Part Best for OEM 9L3Z-9927936-B Tank Hinge Pocket Assembly Doors Spring Cap Lid Cover - Truck Accessories Replaces 9L3Z9927936B, <https://www.amazon.com/OxGord-Selected-Vehicles-Replaces-9L3Z-9927936-B/dp/B01K0ETPZC>, 2021.
- [79] GT. Fowler, (2004) Cost and performance evaluation models for comparing multishot and traditional injection molding, Master of Science's thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, Maryland, USA, 2004.
- [80] K. J. Kim, T. Sabu, S. Prosenjit, Multicomponent Polymeric Materials. Springer Netherlands, (2016)79-109.
- [81] G. Bex, J. De Keyzer, F. Desplenterec, A. Van Bael, Two-Component Injection Moulding of Thermoplastics with Thermoset Rubbers: Process Development, AIP Conference Proceedings, 1914, 120001(2017).
- [82] J.A. Lindsay, Practical guide to rubber injection moulding, Smithers Rapra, London, 2012. [76] T. Osswald, L-S Turng and P. Gramann, Injection Molding Handbook, Carl Hanser Verlag, Munich, 2008, pp. 65-73.
- [83] D. Schneegans, R. Gattringer and Emmerich, KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe, 58(2005),16-21.
- [84] D. Schneegans, R. Gattringer and R. Bauer, GAK 60(2007), 494-499.

- [85] Advantage of Two Component Injection Molding, <https://revpart.com/two-component-injection-molding-process/>
- [86] 2K injection moulding - Mareco Kunststoffen BV, <https://www.mareco-plastics.com/2k-injection-moulding.html>.
- [87] A. Islam, H. N Hansen, B. Bondo, M. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2010, 50, 101.
- [88] G. Pompe, M. Brauer, D. Schweikle, J. Nagel, B. Hupfer, D. J. Lehmann, Appl. Polym. Sci., 100(2006), 4297.
- [89] D. V. Dobrea, D. Birsan, C. Fetecau, Palade, L. I. Birsan, Materiale Plastice, 49(2012), 24.
- [90] D.Y. Huang, R. S. Chen, Polym. Eng. Sci., 39(1999), 2159.
- [91] A. R. Carella, C. Alonso, J. C. Merino, J. M. Pastor, Polym. Eng. Sci., 42(2002), 2172.
- [92] S. Meister, D. Drummer, Microsyst. Technol., 23(2017), 1017.
- [93] G.J. Bex, W. Six, B. Leing, J.D. Keyzer, F. Desplentere, A.V. Bael, Effect of process parameters on the adhesion strength in two-component injection molding of thermoset rubbers and thermoplastics, Journal of Applied Polymer Science. 2018, DOI: 10.1002/APP.46495.
- [94] H.R Brown, Adhesion between polymer, Ibm J. Res. Develop. 38(1994), 4.
- [95] S.S Voyutskii, Autohesion and Adhesion of High Polymers, Interscience, New York, 1963.
- [96] D.E. Packham, "Handbook of Adhesion" Polymer Science and Technology Series.
- [97] A. Islam, Two component micro injection moulding for moulded interconnect devices, Process analysis, experimental investigation and demonstrator fabrication, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Kongens Lyngby, Denmark, 2008.

- [98] L. Dong-lei, X. Yong, C. Wen-hua, S. Lin, Effects of process parameters on warpage of rapid heat cycle moulding plastic part, *J. Cent. South Univ.* (2014) 21: 3024–3036.
- [99] A. Nasir, T. Yasin, A. Islam, Thermo-Oxidative Degradation Behavior of Recycled Polypropylene, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 119, 3315–3320 (2011)
- [100] N. M. Mehat, S. Kamaruddin, Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameters using the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 211 (2011) 1989–1994.
- [101] André L. N. Inácio, Renato C. Nonato, Baltus C. Bonse, Mechanical and thermal behavior of aged composites of recycled PP/EPDM/talc reinforced with bamboo fiber, R. Brown (Eds.), *Polymer Testing*, 2018, Volume 30.
- [102] G. Bex, F. Desplentere, J. D. Keyzer, A. V. Bael, Two-component injection moulding of thermoset rubber in combination with thermoplastics by thermally separated mould cavities and rapid heat cycling, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Springer-Verlag London, 2017.
- [103] A. Islam & H. N. Hansen & M. Bondo, Experimental investigation of the factors influencing the polymer–polymer bond strength during two-component injection moulding, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2010) 50:101–111
- [104] N. Ergün, Otomotiv uygulamaları için yüzey özellikleri iyileştirilen polipropilen kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, Türkiye, 2017.
- [105] W.J. Sichina, Application of DSC to Injection Molding, PETech-07 Thermal Analysis, PerkinElmer Instruments, USA, 2000.
- [106] C. Han, E. Sahle-Demessie, A. Zhao, T. Richardson, J. Wang, Environmental aging and degradation of multiwall carbon nanotube reinforced polypropylene, R. H. Hurt (Eds.), *Carbon* (2017), doi: 10.1016/j.carbon.2017.10.038.
- [107] R. Zhao, G. Dai, Mechanical Property and Morphology Comparison between the Two Blends Poly(propylene)/Ethylene Propylene-Diene Monomer Elastomer and

Poly(propylene)/ Maleic Anhydride-g-Ethylene-Propylene-Diene Monomer, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 86, 2486–2491 (2002).

[108] L. Jie¹, W. Bin, Z. Lun-Wu¹, Z. Lei, and L. Tian-Yuan, Thermal aging behavior of ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber, Applied Mechanics and Materials, 727-728 (2015) 47-50.







