

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA
SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÜRETİLEN PARÇA KALİTESİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasret SEYHAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA
SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÜRETİLEN PARÇA KALİTESİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasret SEYHAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Osman KURT

EKİM 2023

Hasret SEYHAN tarafından hazırlanan “PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÜRETİLEN PARÇA KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı tez çalışması 27.10.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Prof. Dr. Hüseyin UNAL
Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jüri Üyesi :

Prof. Dr. Osman GÜRT (Başkan)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi :

Doç. Dr. Şenay ŞEN
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma Sisteminin Üretilen Parça Kalitesi Üzerine Etkileri” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(27.10.2023).

Hasret SEYHAN



TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Bursa / Türkiye'de yerleşik olan Özgür Metal Kalıp ve Plastik Sanayi firması ile işbirliği içinde gerçekleştirilmiştir. Test parçalarının üretimini ve testlerin bir kısmı Özgür Metal firmasında gerçekleştirilmiştir. Yüksek lisans çalışmalarımı destekledikleri için Toyota Boshoku'ya da teşekkür etmeyi borç bilirim. Karakterizasyonların bir kısmı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Testler esnasında yardımcı olan tüm çalışanlara teşekkür ederim.

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr Ali Osman KURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hasret SEYHAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLER	5
2.1. Polimerler	5
2.1.1. Morfoloji	6
2.2. Plastikler	8
2.3. Termoset Plastikler	10
2.4. Termoplastikler	11
2.4.1. Polikarbonat (PC)	11
2.4.2. Polietilen (PE)	12
2.4.2.1. AYPE – alçak yoğunluklu polietilen	12
2.4.2.2. YYPE – yüksek yoğunluklu polietilen	12
2.4.3. Polivinil klorür (PVC)	12
2.4.4. Polistiren (PS)	13
2.4.5. Polisülfon (PSU)	13
2.4.6. Akrlonitril butadien stiren (ABS)	13
2.4.7. Polipropilen (PP)	16
3. PLASTİK ÜRETİM SÜREÇLERİ	19
3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıpları	20
3.1.1. Kalıp boşluğu (Göz)	22
3.1.2. Erkek kalıp	22
3.1.3. Dişi kalıp	22
3.2. Enjeksiyon Makineleri	22
3.2.1. Enjeksiyon makinesi bölümleri	24
3.2.1.1. Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi	24
3.2.1.2. Kapatma ünitesi	26
3.2.1.3. Kontrol ünitesi	26
3.3. Plastik Enjeksiyon Prosesi	27
3.3.1.1. Plastikleşmenin başlaması	28
3.3.1.2. Plastikleşmenin bitmesi	29
3.3.1.3. Kalıbın kapatılması	29
3.3.1.4. Enjeksiyonun başlaması	29
3.3.1.5. Enjeksiyonun bitmesi ve parçanın soğuması	29

3.3.1.6. Parçanın kalıptan çıkarılması	30
3.3.2. Plastik Enjeksiyon Prosesinde Ana Parametreler.....	30
3.4. Yolluk Çeşitleri	36
3.4.1. Sıcak yolluk sistemi	37
3.4.2. Soğuk yolluk sistemi	38
3.4.3. Yalıtılmış yolluk.....	38
3.5. İtici Sistemi.....	39
3.6. Kalıp Şartlandırma.....	40
3.7. Soğutma Sistemi.....	41
3.7.1. Soğutma kanalları.....	46
4. MALZEME / METOD.....	49
4.1. Plastik Parçanın Hammaddesi	50
4.2. Parametreler.....	52
4.3. Boyutsal Ölçüm.....	52
4.4. Sertlik Testi	53
4.5. XRD Analizi.....	54
4.6. Moldflow Analizi	56
5. BULGULAR VE İRDELEME.....	61
5.1. Boyutsal Ölçüm Sonucu	61
5.2. Sertlik Testi Sonucu	61
5.3. XRD Analiz Sonucu	63
5.4. Moldflow Analiz Sonucu	66
6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Propilen
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PMMA	: Polimetil Metakrilat
POM	: Polioksimetilen
PS	: Polistiren
V	: Poisson Oranı
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Propilen



SİMGELER

E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
Mm	: Milimetre
MPa	: Mega Pascal
N	: Newton
PA	: Polyamid
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinilklorür
Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Plastik hammaddeler ve enjeksiyon özellikleri.....	15
Tablo 2.2. Polipropilen'in kimyasal ve mekanik özellikleri	17
Tablo 3.1. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları (Esenlik, 2001)....	33
Tablo 4.1. Poliprepilen PPC 7642 hammaddesi genel özellikleri	51
Tablo 4.2. Enjeksiyon işleminde kullanılan parametreler.....	52
Tablo 4.3. PSR parçasının kalıbına ait bilgiler.....	52
Tablo 5.1. Yapılan boyutsal ölçüm sonuçları.....	61
Tablo 5.2. Yapılan sertlik testi sonuçları.....	62
Tablo 5.3. Yavaş ve hızlı soğutmada parçanın hacimsel büzülme farklılıkları.....	67
Tablo 5.4. Yavaş ve hızlı soğutmada parça ve kalıp yüzey sıcaklıkları.....	69
Tablo 5.5. Yavaş ve hızlı soğutmada parça yüzey sıcaklıkları.....	71



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Plastic Seat Rib (PSR)	4
Şekil 2.1. Polietilen Polimerin Basit Yapısı	5
Şekil 2.2. Polimerik ürünlerin sınıflandırılması (Bilsenbesergil, 2023)	6
Şekil 2.3. Polimerik ürünlerin ısıtma-soğutma durumundaki davranışları (Bilsenbesergil, 2023)	7
Şekil 2.4. Plastik malzemelerin moleküllerinin dizilişi (Akyüz 1998).....	9
Şekil 3.1. Enjeksiyon makinesi ocak ve vidası (Akyüz 1998).....	21
Şekil 3.2. Vida bölümleri	24
Şekil 3.3. Plastik enjeksiyon hunisi (silo).....	25
Şekil 3.4. Kontrol Ünitesi	27
Şekil 3.5. Özgürmetal firmasında üretilen bir parçanın çevrim zamanı yayılım grafiği	28
Şekil 3.6. Enjeksiyon grafiği.....	30
Şekil 3.7. Özgür Metal firmasında üretilen bir parçanın parametre ekranından birkaç örnek.....	31
Şekil 3.8. Örnek yolluk şekli (muz tipi yolluk-soğuk yolluk)	36
Şekil 3.9. Sıcak yolluk cihazı.....	37
Şekil 3.10. Kalıp şartlandırma cihazı	41
Şekil 3.11. Kalıp şartlandırma cihazı (Autodesk, 2023).....	42
Şekil 3.12. PSR parçasına ait kalıpta soğutma kanalları.....	46
Şekil 3.13. Soğutma kanalları iç kesit görüntüsü.....	46
Şekil 4.1. PSR parçası datası	50
Şekil 5.1. PSR parçasında XRD analizi yapılan kısımların gösterimi	63
Şekil 5.2. PSR parçasının kulak kısmından alınan kesitlerin XRD analiz grafiği	64
Şekil 5.3. PSR parçasının delik kısmından alınan kesitlerin XRD analiz grafiği.....	65
Şekil 5.4. Yavaş ve hızlı soğutmada parçanın hacimsel büzülme farklılıkları	66
Şekil 5.5. Yavaş ve hızlı soğutmada parça ve kalıp yüzey sıcaklıkları	69
Şekil 5.6. Yavaş ve hızlı soğutmada parça yüzey sıcaklıkları	71
Şekil 6.1. PSR parçasının üretildiği makineye takılan termal kamera sistemi	76



PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ÜRETİLEN PARÇA KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Plastik enjeksiyon, birçok endüstride seri plastik parça üretimi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu üretim sürecinde, eritilmiş plastik malzeme enjeksiyon makinesi aracılığıyla kalıplara enjekte edilir ve ardından soğutularak sertleştirilir. Soğutma sistemi, bu sertleşme sürecini kontrol etmek ve optimize etmek için kritik bir rol oynar. Bu yöntem, plastik parçaların hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesini sağlar. Plastik enjeksiyon, otomotiv, elektronik, tıp, ambalaj, oyuncak ve daha birçok sektörde yaygın olarak kullanılır. Çeşitli plastik malzemeler, farklı tasarımlar ve boyutlar için enjeksiyon kalıplama sürecinde kullanılabilir. Plastik enjeksiyon yöntemi, yüksek hassasiyet, hızlı üretim, tekrarlanabilirlik ve çeşitli malzemelerin kullanımı gibi avantajlarıyla bilinir. Ancak, kalıp tasarımı, malzeme seçimi ve sürecin kontrolü gibi faktörler, kaliteyi ve verimliliği etkileyebilir.

Soğutma sistemi, kalıp içerisinde plastik parçanın hızlı, homojen ve kontrollü bir şekilde soğumasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu sistem genellikle kalıp içine entegre edilen su kanalları veya soğutma devreleri ile sağlanır. Soğutma suyu veya uygun soğutucu sıvılar bu kanallardan dolaşarak malzemenin sıcaklığını düşürür ve sertleşmesini hızlandırır.

Üretilen parçanın geometrisine, boyutlarına ve özelliklerine bağlı olarak farklı soğutma sistemleri kullanılır. Bu sistemler genellikle kalıplara ek kanallar ekleyerek tasarlanır. Ancak bu ek kanalların oluşturulması işçilik gerektirir ve ayrıca sistemin maliyetini artırabilir. Bu nedenlerden ötürü, bazı işletmeler soğutma sistemi kullanmadan üretim yapmayı tercih edebilirler.

Özellikle küçük boyutlu parçaların üretiminde, soğutma sistemini kullanmamak genellikle sorun oluşturmaz. Ancak büyük boyutlu parçaların üretiminde durum daha karmaşık hale gelebilir. Büyük parçaların daha kalın bölgeleri ile daha ince bölgeleri arasında homojen olmayan soğuma hızları meydana gelir. Bu durum, parçanın fiziksel özelliklerinde ve boyutsal doğruluğunda değişikliklere neden olur. Bu çalışma, büyük boyutlu plastik parçalarda soğutma sistemi kullanımının olası etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Parçanın farklı bölgelerindeki soğuma hızlarının, mekanik dayanıklılık, boyutsal tutarlılık ve yüzey kalitesi gibi önemli özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, büyük parçaların üretiminde soğutma stratejilerinin tasarımına ve optimizasyonuna dair değerli bir perspektif sunabilir.

Üretim Özgürmetal Plastik ve Kalıp San. Firması'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın odak noktası, plastik enjeksiyon üretimi sürecinde soğutma sisteminin kullanılmasının ve kullanılmamasının parça özellikleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu inceleme,

firmanın kronik sorunlarından biri olan "plastic seat rib (PSR)" parçası üzerinde yoğunlaşmaktadır. PSR parçasının soğutma sistemi kullanılmadan üretildiğinde delik kısmında oluşan geometrik ve ölçüsel sorunlar, firma için önemli bir zorluktur.

Bu bağlamda, firma, soğutma sisteminin bu hatalar üzerinde ne kadar etkili olduğunu araştırmak amacıyla bu çalışmayı desteklemiştir.

Araştırma kapsamında, polipropilen malzeme kullanılarak aynı parça üretildi. Bir sette hızlı soğutma koşulları uygulanırken, diğer sette ise soğutma sistemi kullanılmadı. Her iki sette de üretilen parçaların mekanik dayanıklılık, boyutsal doğruluk, kristal yapı gibi özellikleri detaylı olarak karakterize edildi. Sırasıyla boyutsal ölçüm, sertlik testi, XRD analizi ve Moldflow analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan boyutsal ölçümlerde soğutma sistemi kullanılarak ve kullanılmadan üretilen parçalardan 2şer adet numune alınarak toplamda kritik olan 7 adet ölçü teknik resimdeki değerler baz alınarak ölçülmüştür. Ölçüm yapılan noktaya göre ölçümler dijital kumpas ve CMM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucundan soğutma sistemi kullanılmadan üretilen parçaların kritik olan ölçüsünde (delik çapı) tolerans dışında küçük çıkmıştır. Soğutma sistemi kullanılmaması durumunda, plastik malzeme daha yavaş ve düzensiz bir şekilde soğur. Bu durumda, parça kalıp içinde daha uzun süre kalır ve sıcaklık dağılımı homojen olmaz. Bu, parçanın boyutsal olarak küçülmesine neden olmaktadır.

Yine her iki setten alınan 2şer adet numuneye shore sertlik testi uygulanmıştır. Soğutma sistemi bağlı iken 60 shore değilen 55 shore ölçülmüştür. Shore sertlik ölçeği genellikle 0 ila 100 arasında bir değer alır. 5 Shore'luk bir sertlik değişimi, 5 birimlik bir fark anlamına gelir. Ancak, bu tür bir değişiklik genellikle görsel veya fiziksel olarak belirgin bir fark yaratmaz. Bu nedenle, 5 Shore'luk bir sertlik değişimi büyük bir değişim olarak kabul edilmez ve genellikle parça özelliklerinde göze çarpan bir fark yaratmaz. Ancak, her durumda, parçanın kullanım amacı ve gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Belirli bir uygulama için gereken sertlik toleransları, 5 Shore'luk bir değişimin önemli olabileceği durumlar olabilir. Özellikle, bazı hassas uygulamalarda, sertlik hassasiyeti daha yüksek olabilir ve daha küçük sertlik değişimleri bile önemli olabilir.

Çalışmada yapılan XRD analizi parçaların iki bölgesinden alınarak yapılmıştır. PSR parçasının kulak kısmından alınan kesitlerin XRD analizi sonucunda, soğutma sistemi kullanılmadan yapılan üretimin kulak ve delik kısımlarını karşılaştırsak kulak kısmı nispeten daha ince olduğundan delik kısmına göre daha hızlı soğuyacaktır fakat farklı kristal yapıların oluşmadığı görülmüştür. Yaptığımız çalışmada tek değişken faktör soğutma sisteminin varlığı olduğundan farklı kristal yapıları oluşturacak bir etken bulunmamaktadır. XRD analizi, kristal yapıların varlığını ve kristal yapıların özelliklerini belirleyen bir tekniktir. XRD analizinde, malzeme örnekleri X-ışınlarına maruz bırakılır ve bu X-ışınları kristal yapılar tarafından saçılır. X-ışınlarının saçılma desenleri, malzemenin kristal yapısı hakkında bilgi sağlar. Kontrolsüz soğutma ve hızlı soğutma yöntemleri farklı kristal yapılar oluştursa da XRD analizi sırasında ölçülen kristal yapıların saçılma desenleri benzer olabilir. Bu nedenle, kontrolsüz soğutma ve hızlı soğutma sonucu üretilen polipropilen örneklerinin XRD analizi benzer sonuçlar vermektedir.

Aynı zamanda Moldflow analizi yapılmıştır. Bu analizde soğutma sistemi kullanılması ve kullanılmaması durumları simüle edilmiştir. Yapılan analiz sonrası hacimsel büzülme farklılıkları hızlı soğutma sistemi kullanılarak yapılan üretimde, kontrolsüz soğutma ile yapılan üretime göre daha fazladır.

Hacimsel büzülmenin tüm parça boyunca tekdüze olmadığına dikkat etmek önemlidir. Parçanın farklı alanları, soğutma hızları, parça kalınlığı ve parça geometrisindeki farklılıklar nedeniyle değiğen seviyelerde büzülme yağayabilir.

Bu muntazam olmayan büzülme, parçanın farklı bölgelerinde parça bozulmasına, eğrilmeye veya boyutsal değiğimlere neden olabilir. Sonuçlar yapılan literatür arağtırmasını destekler niteliktedir. Soğutma sistemi kullanılan üretimde büzülme oranı kullanılmayan üretime göre daha fazladır. Fakat bu farklılık parça geometrisini etkilemeyecek seviyededir.

İki üretime ait yüzey ve kalıp sıcaklıklarını gösteren moldflow analizinde soğutma sistemi kullanılarak yapılan üretim sonucu yüzey sıcaklığı daha dğktr. İki retim sonucu da parça da gözle görülür bir yamulma ve çarpılma olmamığtır.

İki üretime ait yüzey sıcaklık farklılıkları moldflow analizi sonucuna göre soğutma sistemi kullanılmadığında parça kontrolsüz olarak soğuyacağından parçada bölgesel sıcaklık farklılıkları oluğur. Bu farklılık artık strese neden olur. Bu da parça da et kalınlığı fazla olan bölgede çekmeye sebep olur.

Üreticiler, Moldflow analizini kullanarak enjeksiyon kalıplama sürecini simüle ederek PP parçalardaki artık gerilimi tahmin edip analiz edebilir ve etkisini en aza indirmek için kalıp tasarımı ve enjeksiyon kalıplama sürecini ayarlayabilir. Bu, minimum kusur, azaltılmığ bükülme ve geliğtirilmiğ boyutsal doğruluk ile yüksek kaliteli parçalarla sonuçlanabilir.

Arağtırmanın bulguları, soğutma sistemi kullanımının parça kalitesini önemli ölçüde iyileğtirebileceğini göstermektedir. Soğutma sistemi, parçaların i ve dığ bölümleri arasındaki sıcaklık farkını azaltır ve çekme, yamulma gibi istenmeyen deformasyonları azaltır. Ayrıca soğutma sisteminin kullanılması parçanın kalınlığına ve geometrisine bağlı olarak parça içindeki gerilmeleri dengeler ve deformasyonları önler.

Öte yandan soğutma sistemi kullanılmazsa parçanın soğuma süresi uzar ve homojen bir ėekilde soğutulamaz. Bu da çekme, eğilme ve deformasyon gibi sorunlara yol açabilir. Ayrıca kalıp döngü süreleri daha uzun olabilir ve üretkenlik üzerinde olumsuz etkileri olabilir. Bu makalede sunulan bulgular, plastik enjeksiyonda soğutma sistemi kullanımının parça kalitesini iyileğtirdiğini ve istenmeyen deformasyonları azalttığını göstermektedir. Soğutma sisteminin etkili bir ėekilde tasarlanması ve optimize edilmesi, parça imalat sürecinde önemli bir faktördür ve enjeksiyon kalıplama endüstrisinde daha iyi sonuçlar için dikkate alınmalıdır.



EFFECTS OF THE COOLING SYSTEM IN PLASTIC INJECTION MOLDS ON THE QUALITY OF THE PRODUCED PARTS

SUMMARY

Plastic injection is a widely used method for mass production of plastic parts in many industries. In this production process, the raw material is injected into the molds by means of an injection machine and then hardened by cooling. The cooling system plays a critical role in controlling and optimizing this curing process. This method allows plastic parts to be produced quickly and efficiently. It is widely used in plastic injection, automotive, electronics, medicine, packaging, toys and many more industries. It can be used in the injection molding process for various plastic materials, different designs and sizes. The plastic injection method is known for its advantages such as high precision, fast production, repeatability and use of various materials. However, factors such as mold design, material selection and process control can affect quality and efficiency.

The cooling system is designed to provide rapid, homogeneous and controlled cooling of the plastic part in the mold. This system is usually provided with water channels or cooling circuits integrated into the mold. Cooling water or suitable coolants circulate through these channels, lowering the temperature of the material and accelerating its hardening.

Different cooling systems are used depending on the geometry, dimensions and properties of the produced part. These systems are often designed by adding additional channels to the molds. However, creating these additional channels is labor-intensive and can also increase the cost of the system. For these reasons, some businesses may prefer to produce without using a cooling system.

Especially in the production of small-sized parts, not using the cooling system is usually not a problem. However, in the production of large-sized parts, the situation can become more complex. Inhomogeneous cooling rates occur between the thicker regions and the thinner regions of large parts. This causes changes in the physical properties and dimensional accuracy of the part. This study aimed to examine the possible effects of using a cooling system on large plastic parts. The effects of cooling rates in different parts of the part on important properties such as mechanical strength, dimensional consistency and surface quality were investigated. The results of this study can offer a valuable perspective on the design and optimization of cooling strategies in the production of large parts.

Production carried out Özgürmetal Plastik ve Kalıp San. company. The focus of the study is to examine the effects of using and not using the cooling system on the part properties in the plastic injection production process. This review focuses on the "plastic seat rib (PSR)" part, which is one of the company's chronic problems. When the PSR part is produced without using the cooling system, the geometric and dimensional problems that occur in the hole part are an important challenge for the

company. In this context, the company supported this study in order to investigate how effective the cooling system is on these faults.

Within the scope of the research, the same piece was produced using polypropylene material. While rapid cooling conditions were applied in one set, no cooling system was used in the other set. The properties of the parts produced in both sets, such as mechanical durability, dimensional accuracy, and crystal structure, were characterized in detail. Dimensional measurement, hardness test, XRD analysis and Moldflow analysis were carried out, respectively.

In the dimensional measurements, 2 samples were taken from the parts produced with and without the cooling system, and 7 critical dimensions were measured based on the values in the technical drawing. According to the measurement point, measurements were made using digital caliper and CMM. As a result of the measurement, the critical dimension (hole diameter) of the parts produced without the use of a cooling system was out of tolerance. If the cooling system is not used, the plastic material cools more slowly and unevenly. In this case, the part stays in the mold longer and the temperature distribution is not homogeneous. This causes the part to shrink in size.

Shore hardness test was applied to 2 samples taken from both sets. Measured 55 Shore with the cooling system connected and 60 shore disconnected. The Shore hardness scale usually takes a value between 0 and 100. A hardness change of 5 Shore means a difference of 5 units. However, such a change usually does not make a noticeable difference, either visually or physically. Therefore, a hardness change of 5 Shore is not considered a big change and does not usually make a noticeable difference in part properties. However, in any case, the intended use and requirements of the part must be considered. The hardness tolerances required for a particular application may be where a 5 Shore variation can be significant. In particular, in some sensitive applications, the hardness sensitivity can be higher and even smaller hardness variations can be significant.

The XRD analysis made in the study was made by taking two regions of the parts. As a result of the XRD analysis of the sections taken from the ear part of the PSR part, if we compare the ear and hole parts of the production without the use of a cooling system, it is seen that the ear part will cool faster than the hole part because it is relatively thinner, different crystal structures are not formed. Since the only variable factor in our study is the presence of the cooling system, there is no factor that will create different crystal structures. XRD analysis is a technique that determines the existence and properties of crystal structures. In XRD analysis, material samples are exposed to X-rays and these X-rays are scattered by the crystal structures. The scattering patterns of X-rays provide information about the crystal structure of the material. Although uncontrolled cooling and rapid cooling methods produce different crystal structures, the scattering patterns of crystal structures measured during XRD analysis may be similar. Therefore, XRD analysis of polypropylene samples produced as a result of uncontrolled cooling and rapid cooling gives similar results.

At the same time, Moldflow analysis was performed. In this analysis, the situations of using and not using the cooling system are simulated. After the analysis, the volumetric shrinkage differences are higher in the production using the rapid cooling system than in the production made with uncontrolled cooling. It is important to note that the volumetric shrinkage is not uniform throughout the entire piece. Different areas of the part may experience varying levels of shrinkage due to variations in cooling rates, part thickness, and part geometry.

This non-uniform shrinkage can cause part distortion, warping, or dimensional changes in different parts of the part. The results support the literature research. The shrinkage rate in the production using the cooling system is higher than the production without using the cooling system. However, this difference is at a level that does not affect the geometry of the part.

In the moldflow analysis, which shows the surface and mold temperatures of the two productions, the surface temperature is lower as a result of the production using the cooling system. As a result of both production, there was no visible warping or distortion in the part.

According to the results of the moldflow analysis of the surface temperature differences of the two productions, when the cooling system is not used, the part will cool uncontrollably, and regional temperature differences occur in the part. This difference now causes stress. This causes shrinkage in the part with high wall thickness.

By simulating the injection molding process using Moldflow analysis, manufacturers can predict and analyze residual stress in PP parts and adjust the mold design and injection molding process to minimize its impact. This can result in high quality parts with minimal defects, reduced bending and improved dimensional accuracy.

The research findings show that the use of cooling system can significantly improve part quality. The cooling system reduces the temperature difference between the inner and outer parts of the parts and reduces undesirable deformations such as shrinkage and warping. In addition, the use of the cooling system balances the stresses in the part and prevents deformations depending on the thickness and geometry of the part.

On the other hand, if the cooling system is not used, the cooling time of the part is prolonged and it cannot be cooled homogeneously. This can cause problems such as shrinkage, bending and deformation. Also, die cycle times can be longer and have a negative impact on productivity. The findings presented in this article show that the use of cooling system in plastic injection improves part quality and reduces undesirable deformations. Effectively designing and optimizing the cooling system is an important factor in the part manufacturing process and should be considered for better results in the injection molding industry.



1. GİRİŞ

Plastik enjeksiyon, endüstride oldukça fazla kullanılan bir üretim yöntemidir ve çeşitli sektörlerdeki üreticilerin plastik parçaları seri üretmek için tercih ettiği bir yöntemdir. Bu süreçte, eritilmiş plastik malzeme enjeksiyon kalıbına enjekte edilir ve ardından soğutma aşamasına geçilir. Soğutma, plastik malzemenin istenen şeklini ve özelliklerini kazanmasını sağlayan kritik bir adımdır. Plastik enjeksiyonun soğutma aşamasının etkin bir şekilde tasarlanması ve uygulanması, ürün kalitesi, üretim süresi, enerji verimliliği ve maliyetler gibi bir dizi faktörü etkileyebilir.

Enjeksiyon sürecinde, kalıp erimiş hammadde ile temas ettiğinde sıcaklığı artmaya başlar. Bu artış, kalıbın performansını, parça kalitesini ve üretim süresini etkilemektedir. Seri üretimde üretilen ürünün kalitesinin aynı olması için, aynı kalıpta değerlerin (sabit kalıp sıcaklığı, sabit malzeme sıcaklığı, basınç, hız vb.) sabit tutulması önemlidir. Kalıp sıcaklığının sabit kalabilmesi için kalıbın dışı ve erkek bölümlerinde soğutma kanalları kullanılması gerekmektedir. Bu soğutma kanalları, kalıbın içinden geçen su veya başka bir soğutma sıvısı aracılığıyla kalıbın soğumasını sağlar. Böylece kalıp sıcaklığı istenilen seviyede tutularak süreç tekrarlanabilir ve ürün kalitesi sağlanabilir (Turaçlı, 2003).

Plastik enjeksiyon, malzemenin belirli bir sıcaklık altında akışkan hale getirilmesi ve basınç uygulanarak kalıp içinde şekillendirilmesi işlemidir. Bu yöntem, hammaddenin tek bir adımda istenen şekli alabilmesini sağlaması ve birçok durumda ürün için ek bir işlem gerektirmemesi nedeniyle seri üretim için son derece uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Ahmet, 2009).

Plastiğin kalıba dolarak eriyik olması için verilen ısı, kalıba dolduktan sonra katılaşma süresince geri alınır. Plastik malzemenin kalıp içine enjeksiyonu malzeme cinsine bağlı olarak yaklaşık 200°C civarında yapılmakta ve kalıp ortalama sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Soğuma işlemi enjeksiyon işleminin en uzun adımındır, bu yüzden olabildiğince kısa zamanda kalıptan büyük miktarda ısı çekilmeye çalışılır. Kalıp tasarımının en zorlayıcı kısmıdır (Abalı ve ark., 2005).

Bu nedenle çeşitli soğutma metodları kullanılarak kalıp sıcaklığı optimum düzeyde tutulmaya çalışılır. Kalıp sıcaklığı kullanılan hammaddeye, parça geometrisi ve boyutuna, parçanın görsel-fonksiyonel oluşuna göre değişiklik göstermektedir.

Bu değişkenliklere göz önünde bulundurularak proje başlangıcında ürün denemeleri esnasında parça için özel parametreler belirlenir. Kalıp sıcaklığı da bu parametreler arasındadır. Bu parametrelerden en önemlisi hammaddedir. Kullanılan hammadde üretilen ürünün tüm özelliklerini ve davranışlarını etkilemektedir. Plastik enjeksiyon işleminde kullanılan hammadde seçimi, üretilecek parçanın özelliklerine, uygulama alanına ve maliyet faktörlerine bağlı olarak yapılır.

Plastikler, geniş bir yelpazede farklı özelliklere sahip olan malzemelerdir. Bazı sık kullanılan plastikler, kristalleşme özellikleri nedeniyle öne çıkar. Örneğin, polietilen (PE) ve polipropilen (PP) gibi termoplastikler, uygun koşullarda kristalleşme eğilimi gösterebilir. Moleküllerin düzenli bir şekilde paketlenmesi ve kristal yapının oluşması, bu plastiklerin sertlik, dayanıklılık ve termal özelliklerini artırabilir. Ayrıca, mikroskobik davranışların daha iyi anlaşılması, özelliklerin iyileştirilmesi için de faydalı olabilir. Mikroskobik davranışlardan biri, soğuma hızıyla yakından ilişkili olan kristalleşme davranışdır (Li ve ark., 2004). Plastiklerin kristalleşme özellikleri, polimerin moleküler yapısına, işleme parametrelerine ve soğutma hızına bağlı olarak değişir.

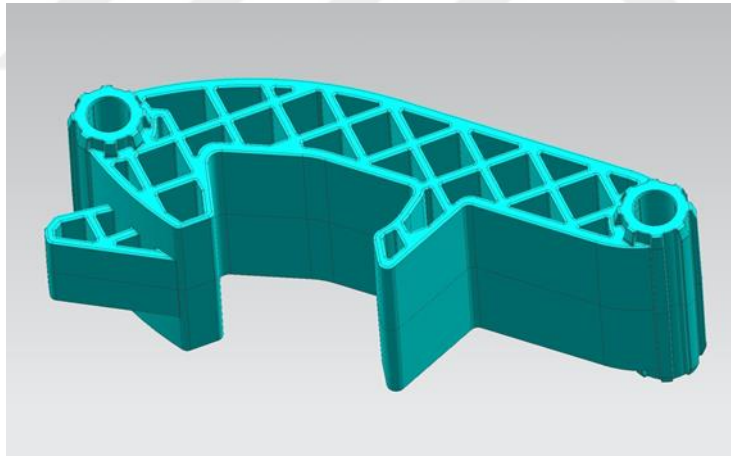
Polipropilen hızla soğutulduğunda, moleküllerin kendilerini düzenli bir kristal yapıda düzenlemek için yeterli zamanları olmaz. Sonuç olarak, malzeme yüksek derecede şekilsizliğe sahip olur, bu da daha düşük sertliğe, çekme mukavemetine ve erime noktasına yol açar. Öte yandan, polipropilen yavaşça soğutulduğunda, moleküllerin kendilerini daha düzenli bir kristal yapı halinde düzenlemek için daha fazla zamanları olur. Sonuç olarak, malzeme daha yüksek sertliğe, çekme mukavemetine ve erime noktasına sahiptir.

Soğutma hızı aynı zamanda malzemedeki kristal bölgelerin boyutunu ve dağılımını da etkiler. Polipropilen hızla soğutulduğunda, kristalli bölgeler daha küçük olma ve daha rastgele dağılma eğilimindedir. Tersine, polipropilen yavaşça soğutulduğunda, kristalli bölgeler daha büyük olma ve daha düzgün dağılma eğilimindedir.

Demirer ve arkadaşları (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin ürüne olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda soğutma sistemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri ile ilgili bir çok çalışma olduğu görölmüştür. Fakat bu çalışmalarda genelde soğutma sisteminin çevrim süresine olan iyileştrimesinden matematiksel hesaplamalarla bahsedilmiştir. Soğutma sistemi kullanılması ve kullanılmamasının parçanın mekanik özelliklerine etkisi üzerine detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamızın amacı soğutma sistemi kullanıldığında parça da oluşan olumlu ve olumsuz mekanik, kristal yapı ve çevrim süresi üzerinde ki tüm etkileri ortaya koymaktır. Bizim bu çalışmada ele aldığımız plastic seat rib (PSR) parçası fonksiyonel bir ürün olarak kullanılan otomotiv parçasıdır. Araç içinde koltuğun alt kısmında kullanılmaktadır. Bu üründe yaşanan kronik sorun Şekil 1.1’de parça datasında görünen delik kısımlarındaki ölçüsel hatadır. Kalıp soğuk su bağlı olarak ortalama 50°C sıcaklığında çalışmaktadır. Fakat soğutma sistemi kullanılmadığında Plastic Seat Rib (PSR) parçası hatalı üretilmektedir.

Çalışma içerisinde enjeksiyon prosesi ve prosesin kritik parametreleri, enjeksiyon prosesinde kullanılan ısıtma-soğutma sistemleri ve bunların kontrolleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.1. Plastic Seat Rib (PSR)

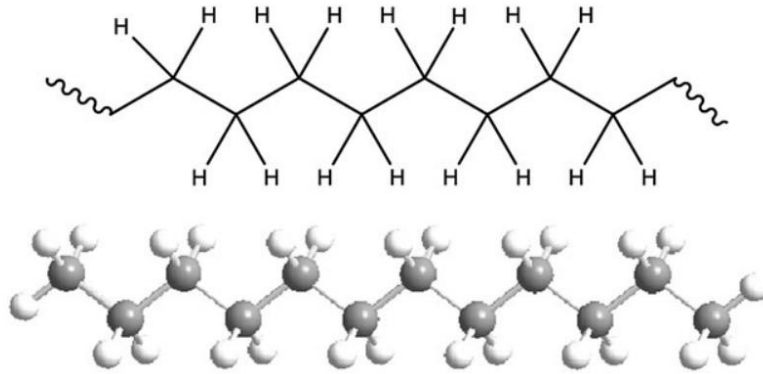
Buna ek olarak seri üretimde üretilen bir ürünün ısıtma sistemi kullanılmadığında meydana gelen değişim ve ısıtma sistemi kullanılarak parça kalitesinin iyileştirilmesi, bu sistemin çalışabilirliğinin kontrolünün sağlanması ile bu bilgilerin optimum bir seviyede üretim yapılabilirliğine etkisi araştırılarak, ısıtma-soğutma sistemindeki revizyonlar ile ürün kalitesindeki değişimler anlatılmıştır. Yapılan çalışmalar Özgür Metal Kalıp ve Plastik San. firması bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

2. PLASTİKLER

2.1. Polimerler

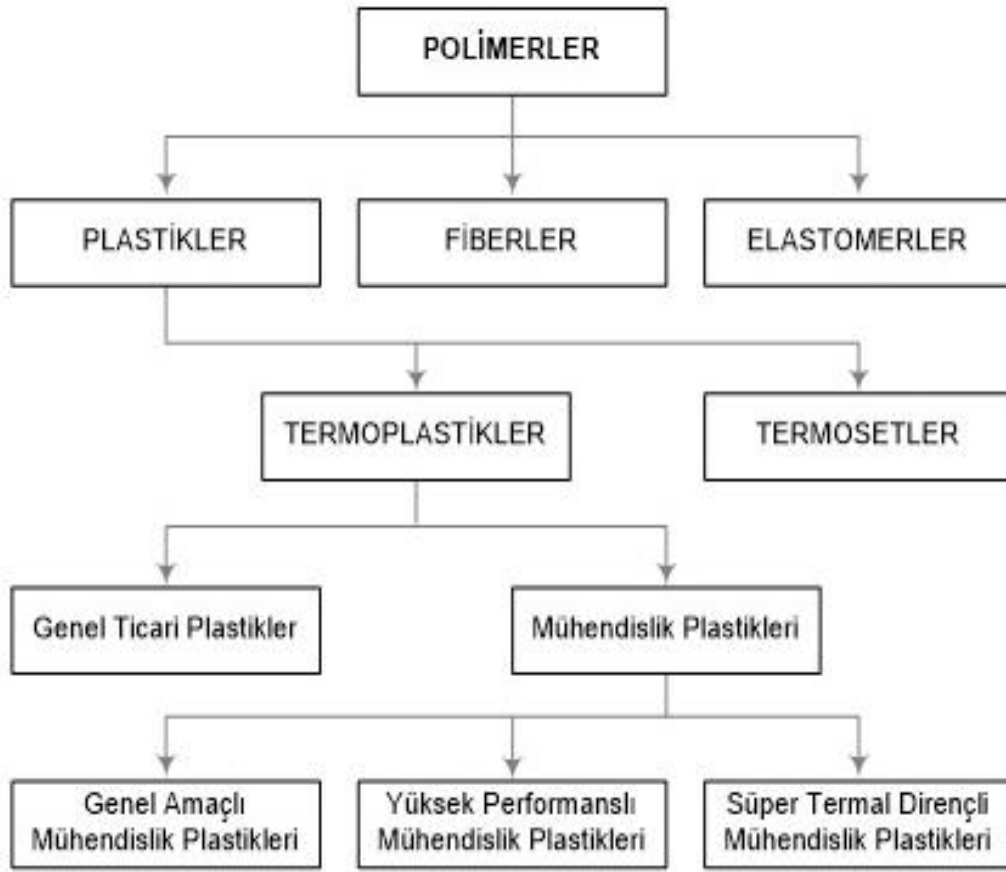
Polimer kavramı, 1953'te Nobel Ödülü alan Hermann Staudinger tarafından 1920'lerde ortaya atılmıştır. "Polimer" terimi, poli'nin çok ve mer'in birim anlamına geldiği Yunanca kelimelerden meydana gelmektedir. Bir polimer, birçok monomerin bir zincir veya ağ yapısına art arda bağlanmasıyla oluşan uzun zincirli bir bileşiktir.

Genel olarak bir polimer, hidrojen ile bir karbon omurgasından yapılmış bir zincir veya ağ yapısına sahiptir. Genellikle doğal (örneğin proteinler) veya sentetik (örneğin naylon) kaynaklardan üretilir. Ayrıca O, N, F, Si, S gibi diğer elementler de üzerine dizilebilir. Çok yaygın polimerlerden bazıları polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinilklorürdür (PVC) (Billmeyer 2007; Fried 1995; Mark ve Kroschwitz 1985). Örneğin polietilenin basit yapısı Şekil 2.1'de verildiği gibi yazılabilir.



Şekil 2.1. Polietilen Polimerin Basit Yapısı

Polimerler, malzemelerin üretiminde kullanıldığı gibi, ilaç, gıda, tekstil, tarım ve inşaat sektörlerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimerlerden elde edilen ürün grafiği Şekil 2.2'de bahsedilmiştir.

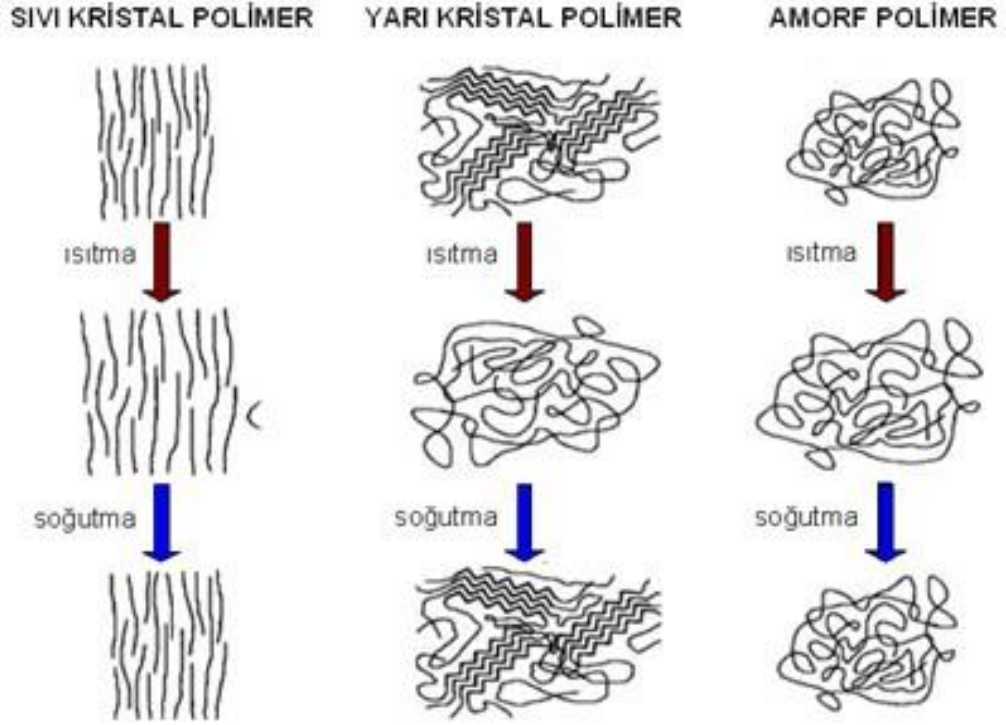


Şekil 2.2. Polimerik ürünlerin sınıflandırılması (Bilsenbesergil, 2023)

2.1.1. Morfoloji

Doğrusal yapıya sahip polimer zincirleri, eğilme ve bükülme eğilimindedir, bu da onların katlanmasına ve sıkı bir düzende yer almalarına neden olur. Bu tür yapılar, 'kristalin' düzende (sıkı ve düzenli veya paketlenmiş) bölgeler oluştururlar. Kristalinite seviyesi %0-90 arasında değişebilir. Düzgün paketlerin fazlalığı yüksek kristaliniteyi gösterir; bu tür ürünlere 'kristal' polimer denir. %100 kristal yapı polimer yoktur.

Yarı kristalin polimerler opak veya yarı şeffaftır, büzülme özelliği yüksektir, kimyasal maddelere ve aşınmaya dayanıklıdır. Tipik yarı kristalin polimerler arasında Polietilenler (LDPE, HDPE, v.s.), polipropilen, asetal, polibütilen tereftalat, poliamidler, polimetilpenten, polifenilen sülfür, polietereterketon sayılabilir.



Şekil 2.3. Polimerik ürünlerin ısıtma-soğutma durumundaki davranışları (Bilsenbesergil, 2023)

Uzun dallanmalar veya fonksiyonel gruplar içeren polimer zincirleri serttir, hacimli yan gruplar eğilip bükülmeye veya katlanarak yeterli derecelerde sıkı bir düzene girmeye olanak vermez. Bu tür maddeler ‘amorfl’ polimerler olarak tanımlanır. Amorfl polimerlerin düzgün bir iç yapıları yoktur (spagettiye benzer), moleküler düzenlenme rastgeledir, dolaşık ip veya sarım şeklindedir; büzülme özelliği zayıftır, kimyasal maddelere ve aşınmaya dayanıklılıkları orta derecelerdir.

Tipik amorf polimerlere örnek olarak polistiren, polimetilmetakrilat, akrilonitril bütadien-stiren, stiren akrilonitril, polikarbonat, polivinilklorür, polisülfon, polieter sülfon, polieterimid gösterilebilir (Bilsenbesergil, 2023).

Kristalleşme soğutma sırasında meydana gelir. Zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Soğutma hızının çekirdeklenme ve çekirdek büyümesi üzerinde ve dolayısıyla gelişen yapı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Soğutma ne kadar yavaş gerçekleşirse (yüksek kavite yüzey sıcaklıkları aracılığıyla), kristalleşme derecesi o kadar yüksek ve büzülme seviyesi de o kadar yüksek olur.

Ancak Timm, W., Marty ve arkadaşlarına (2003) göre düzgün yarı kristal malzemelerin normalde daha fazla kalıp büzülmesine sahip olması beklenirdi, ancak yaptıkları çalışmada kayma gerilimine karşı daha az duyarlı görüldüğü ve oryantasyon

kaynaklı çarpılma ve büzülme ile ilgili olarak da amorf malzemelerin daha duyarlı olduğunu gösterdiler. Çelişkili olarak, Seyler, R. ve ark. (2003), yarı kristal malzemelerin daha yüksek büzülmelere sahip olmasına rağmen, amorf ve yarı kristal malzemelerin çarpılmada farklılıklar ürettiğini, bunun da yüksek gerilim ve çarpılma potansiyelini artıracaklarını bildirmiştir. Amorf malzemeler genellikle daha az büzülür. Bu nedenle, büzülmedeki varyasyon daha azdır ve bu da daha küçük bir çarpılma ile sonuçlanır. Daha yüksek büzülme değerleri, büzülmede sapmaya neden olan varyasyon için daha fazla fırsat yaratır (Seyler ve ark., 2003).

Ayrıca, Akkerman, R. ve diğerleri (1995), kalıp sıcaklığının hafif ama ilgili bir etkiye sahip olduğu, daha yüksek kalıp sıcaklığının biraz daha büyük bir büzülmeye neden olduğu sonucuna varmıştır. Aynı görüşte olan Gibson, Patrick M. ve ark. (1999), daha yüksek kalıp duvarı sıcaklıklarının daha yavaş soğutma hızlarına yol açtığını, kristalliği arttırdığını ve dolayısıyla büzülmeyi arttırdığını gösterdi.

Yukarıda verilen bilgilerde de bahsedildiği üzere polimerlerin bağlanma şekilleri, kristal düzlemleri gibi özelliklerinin parçanın soğuma sonrası göstereceği davranış ile birebir ilişkilidir.

Plastikler, çeşitli şekil ve formlarda kalıplanabilen, polimerlerden elde edilen ürünlerdir. Şekil 2.2.'de belirtildiği gibi termoplastiklerden elde edilmektedir. Tipik olarak petrol veya doğal gaz gibi sentetik malzemelerden yapılırlar ve paketleme, inşaat ve tüketim malları dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılırlar.

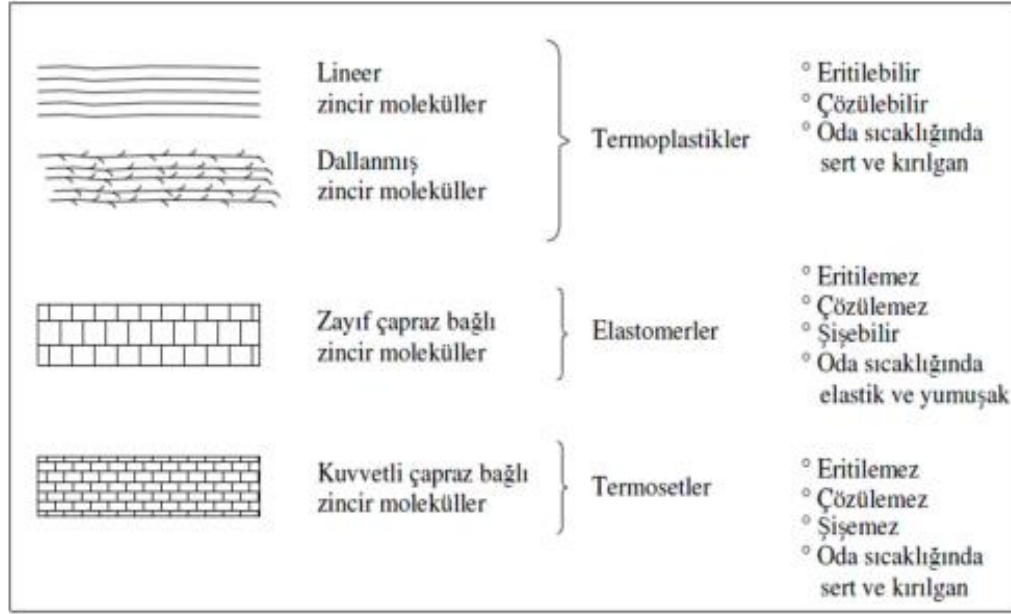
Genel olarak, polimerler ve plastikler modern toplumda önemli bir rol oynamaktadır, ancak bunların çevresel etkileri, daha sürdürülebilir üretim ve imha uygulamaları yoluyla ele alınması gereken, büyüyen bir endişe kaynağıdır (Billmeyer 2007).

Bir sonraki bölümde, endüstride çok sık kullanılan plastikler hakkında bilgi verilmiş ve sınıflandırmalarından bahsedilmiştir. Yapılan çalışmada plastic seat rib (PSR) maddesinin üretiminde kullanılan polipropilen hakkında da detaylı bilgiler verilmiştir.

2.2. Plastikler

Kolaylıkla şekillenebilen veya deforme olabilen anlamına gelen plastik terimi eski Yunanca'dan gelmektedir. Selüloz nitratin 1868 yılında bulunmasından sonra plastik terimi makro molekül yapılı organik bileşikler için kullanılmaya başlanmıştır. 1925 yılına kadar önemli bir gelişme olmamıştır. Bu tarihten sonra yaşanan hızlı bir gelişme

ile plastik endüstrisi sayılı ve temel endüstriler arasında yerini almayı başarmıştır. "Türkiye'de plastiklerin kullanımına 1940'lı yıllarda başlanmıştır. 1949 yılında, termoset plastiklerin çoğunlukta olduğu yaklaşık 100-200 ton/yıl tüketim görülmüştür. Ancak günümüzde polietilen, polipropilen, polistiren ve PVC gibi termoplastikler için bu tüketim miktarının bir milyon ton/yıl değerine ulaştığı görülmüştür (MEGEP, 2006).



Şekil 2.4. Plastik malzemelerin moleküllerinin dizilişi (Akyüz 1998)

Plastikler, belirli bir sıcaklık, basınç ve katalizör yardımı ile polimerin reaksiyona girmesi sonucu oluşur.

Plastiğin tanımlayıcı özelliklerinden birkaçı, kalıplanabilme ve çeşitli biçimlerde şekillendirilebilme şeklinde sıralanabilir. Plastikler, ısı ve basınç etkisiyle istenilen geometride elde edilebilmektedir. Bu durum da onları çok yönlü malzemeler haline getirir.

Her biri kendine özgü özelliklere ve kullanımlara sahip birçok farklı plastik türü vardır. Bazı yaygın plastik türleri arasında polietilen, paketleme ve kaplarda; polivinil klorür, borularda ve kaplamalarda; polikarbonat, elektronik ve tıbbi cihazlarda kullanılır..

Plastikler, uygun maliyetli bir malzeme olmaları, istenilen tasarıma uygun oluşları ve gündelik kullanımda tercih edilen malzemeler olmaları nedeniyle yenilikçi teknolojilerde büyük talep görmektedir. Plastik malzemeler, karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik veya inorganik elementlerin birleşerek

oluşturduğu monomer adı verilen basit moleküllerin bağlarının koparılması ve polimer adı verilen uzun ve zincirli yapıya dönüştürülmesiyle elde edilir. Şekil 2.4'te plastik malzemelerin moleküler düzenlemesi görülmektedir (Akyüz, 1998).

Plastikler, polimerlerden ve kullanılabilirliğini artırmak için eklenen diğer katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Plastiklerdeki polimer içeriği %20 ile %100 arasında değişebilir. Kullanılan diğer katkı malzemelerinin tipleri ve oranları, plastikten beklenen özelliklere göre değişir (Savaşçı ve ark., 1998). Plastikler, fiziksel özelliklerine göre üç ana sınıfa ayrılır. Bunlar: termoplastikler, termoset plastikler ve elastomerler (Goodship, V. 2004).

2.3. Termoset Plastikler

Termosetler, genellikle ısı, katalizör veya mor ötesi ışık gibi etkilerle çapraz bağlı bir yapı oluşturarak sertleşen ve tekrar ısıtıldığında yumuşamayan plastiklerdir. Bu nedenle, bu malzemeler çözünmezler. Makromoleküller, kovalent bağlarla birbirlerine çeşitli noktalardan yakın aralıklarla bağlanarak ağ yapı oluştururlar. Bu ağ yapısı basınç ve sıcaklık altında sertleşir ve çözünmez hale gelir. Bu nedenle, kimyasal yapısı bozulana kadar tekrar şekillendirme, yumuşatma veya eritme işlemleri yapılamaz. Termoset malzemeler, kimyasal yapısı bozulmadığı sürece yeniden şekillendirilemezler. Ayrıca, yüksek sıcaklıklara kadar dayanıklı olmaları, evlerden iş yerlerine kadar birçok alanda kullanılmalarını sağlar. Termosetlerin uygun maliyetli olması, kullanımlarını artıran en önemli etkenlerden biridir. Ayrıca, 300 °C'ye kadar ısı direnci, yüzey parlaklığı, sertlik, yüksek mekanik özellikler, soğukta kırılgan olmama, boyut stabilitesi, yüksek elektrik izolasyonu, yağ ve solvent direnci, hava şartlarına dayanıklılık ve yanmazlık gibi özellikler de tercih sebepleridir.

Yaygın olarak kullanılan termoset plastik malzemeler arasında şunlar bulunmaktadır:

- Epoksi reçine
- Fenol formaldehit
- Polyester kalıplama bileşimleri
- Üre formaldehit
- Melamin formaldehit
- Poliüretan

2.4. Termoplastikler

Termoplastikler, termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, şekil değiştiren ve soğutulduğunda tekrar sertleşebilen malzemelere denilmektedir. Bu özelliklerinden ötürü geri dönüşüm yoluyla tekrar tekrar kullanılabilirler. Termoplastiklerin moleküler yapısı şekil verildiğinde de herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramaz, bu nedenle bu malzemeler buharlaştırılarak veya eritilerek tekrar şekillendirilebilir veya birleştirilebilirler.

Günümüzde en fazla tercih edilen termoplastik malzemeler şunlardır:

- Polietilen
- Polipropilen
- Akrilik polimerler
- Naylon
- Asetal homopolimerler ve kopolimerler
- Akrilonitril-bütadien-stiren (ABS)
- Polikarbonat
- Polivinilklorür (PVC)

2.4.1. Polikarbonat (PC)

Boyutsal ölçülerinde minimal değişiklik gösteren birçok termoplastik arasında en çok tercih edilen, çekme payı %0,0125 mm'den daha az olan polikarbonat malzemesidir. 140 °C'ye kadar sıcaklığa dayanıklıdır, renksizdir ve ışık kırılma indeksi ise 1,586'dır. Mekanik özellikleri oldukça iyidir, çekme dayanımı 668 kg/cm²'dir. Ayrıca, 60 °C'ye kadar olan sıcak su etkisine karşı dayanıklıdır ve gres, makine yağı, deterjan ve asitlere karşı yüksek direnç göstermektedir.

Elektrik iletkenliği yoktur, bu nedenle izolasyon malzemesi olarak da tercih edilmektedir. Nemden etkilenmez. Şeffaf olsa bile, masterbach kullanılarak çeşitli renkler verilebilir. Ayrıca, ışıktan ve açık havadan etkilenmeyen bir yapıya sahiptir.

Hafif, dayanıklı ve şeffaf olması nedeniyle bu malzeme otomotiv sektöründe sinyal lambaları dahil olmak üzere kullanılır. Bu termoplastik malzeme, çeşitli uygulama

alanlarında tercih edilen bir malzemedir. Örneğin, pencere camları, elektronik ve telekomünikasyon parçaları, büro ve iş makineleri gövdeleri, gıda ambalajı, ev aletleri, inşaat ve dekorasyon parçalarının yapımında kullanılmaktadır. Bu geniş uygulama yelpazesi, malzemenin dayanıklılığı, şeffaflığı, kimyasal direnci ve işlenebilirliği gibi özelliklerine dayanmaktadır.

2.4.2. Polietilen (PE)

2.4.2.1. AYPE – alçak yoğunluklu polietilen

Süt beyaz renkte olan bu malzeme kimyasal maddelere ve korozyona karşı dayanıklıdır. Ancak ışığa ve açık havaya dayanıklı değildir. Bu sorun, katkı maddeleri eklenerek giderilebilir. Malzeme, 80-85 °C'ye kadar kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklarda yumuşar ve parçalanabilir. Mekanik dayanımı orta düzeydedir, uzama ve darbe dayanımı ise oldukça yüksektir. Çekme dayanımı 100-300 kg/cm² arasındadır. Elektrik yalıtımı çok iyidir ve yüksek frekanslı yerlerde teflon grubu plastiklerden sonra tercih edilen bir malzemedir. Levha ve parça halinde farklı yöntemlerle kaynaklanabilir. Ayrıca sıcak dikişle yapıştırılabilir.

Bu malzeme, ambalaj torbaları, sera örtüleri, şişe, bidon, beyaz eşya, oyuncak ve çeşitli makine parçalarının yapımında kullanılmaktadır.

2.4.2.2. YYPE – yüksek yoğunluklu polietilen

Bu malzemenin suya ve kimyasal maddelere karşı direnci iyidir. Ancak, ışığa ve açık havaya karşı dayanıklılığı düşüktür. Bu sorun, katkı maddelerinin eklenmesiyle giderilebilir. Mekanik özellikleri çok iyidir. Özellikle darbe ve çekme dayanımları oldukça yüksektir. Çekme dayanımı 225-350 kg/cm² arasındadır ve sıcaklık dayanımı 100 °C üzerindedir. Ayrıca, elektriksel uygulamalara da uygundur.

Bu malzeme basınçlı borular, gaz dağıtım boruları, şişeler, beyaz eşyalar, makine parçaları, oyuncaklar, elektrik ve elektronik eşyalar, tekne ve depo gibi suya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, poşet ve torba yapımında da tercih edilen bir malzemedir.

2.4.3. Polivinil klorür (PVC)

Bu malzeme kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Ayrıca, kolayca renklendirilebilir. Çekme dayanımı 140-240 kg/cm² arasındadır. Açık

havadan etkilenmez ve su emme özelliği çok düşüktür. Aynı zamanda iyi bir elektrik yalıtım özelliğine sahiptir.

Bu malzeme yalıtım amaçlı olarak çeşitli uygulamalarda kullanılır. İnce zil tellerinde, kalın yeraltı kablolarında, borularda, elektrik süpürgesi parçalarında, dalgıç ayakkabılarında, oyuncaklarda, koltuk ve yatak süngerlerinde kullanılabilir. Ayrıca, ince film halinde kağıt ve kumaş gibi maddelerin kaplanması da kullanılabilir.

2.4.4. Polistiren (PS)

Bu malzeme şeffaf ve renksizdir. Işık kırılma indeksi 1,59 olarak ölçülür ve tüm renklere boyanabilir. Mekanik özellikleri çok iyidir ve çekme dayanımı 4,9 kg/mm²'dir. Açık havaya karşı dirençlidir ve kapalı ortamlarda iyi performans gösterir. Cam tozu ile güçlendirildiğinde büzülme miktarı çok azdır. Üretimi kolaydır, ancak zaman alabilir. Elektrik yalıtım özelliği iyidir.

Bu malzeme paketleme işlerinde, oyuncaklar, ev eşyaları, taraklar, kapaklar, tek kullanımlık tabaklar, çöp sepetleri, ışıklandırma panoları, döşemeler, çeşitli makine aksamaları, telefonlar, bilgisayarlar ve elektrik/elektronik endüstrisinde kullanılan parçalarda, gıda ve tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılır.

2.4.5. Polisülfon (PSU)

Bu polimerin çekme, basma ve sürtünme dayanımları oldukça yüksektir. Işık kırılma indeksi 1.633'tür. Bu malzemeden yapılan ürünler, -150 °C'den 300 °C'ye kadar uzun bir süre boyunca özelliklerini koruyabilir. Ayrıca, asitler, bazlar ve tuz çözeltilerine karşı dirençlidir ve deterjanlar, yağlar ve alkollere karşı etkilenmez.

Bu malzemeden yapılan ürünler, tıbbi eşyalar, gıda üretim donanımı, elektrik bağlantıları, bobin gövdeleri, TV malzemeleri, korozyona dayanıklı borular, pompalar, kamera ve saat gövdeleri, batarya-pil yalıtım plakaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, uzay ve havacılık sektöründe de sıkça tercih edilen bir malzemedir.

2.4.6. Akrilonitril butadien stiren (ABS)

Bu malzeme, katkısız halde yüksek bir çekme dayanımına sahiptir, 560 kg/cm² gibi. Cam elyaf katkısıyla bu değer 773 kg/cm²'ye, karbon elyaf katkısıyla ise 1125 kg/cm²'ye ulaşabilir. ABS-PC alaşımında ise çekme dayanımı 635 kg/cm²'dir. Sertlik, darbe dayanımı ve uzama değerleri, bu değişikliklere paralel olarak artar veya azalır.

Ayrıca, iyi bir yüzey kalitesine sahiptir ve aşınmaya karşı direnci yüksektir. Elektrik izolasyon maddesi olarak iyi bir performans gösterir. Su ve rutubetten etkilenmez, ancak nem alma özelliğine sahip olduğu için kullanımdan önce kurutulması gerekebilir.

Bu malzeme, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Televizyon ve güç donanımı kabinleri, anahtar kutuları, ızgara ve gövde panelleri gibi elektronik ve elektriksel ekipmanlarda kullanılabilir. Ayrıca takım çantaları, dekoratif eşyalar, oyuncaklar, telefon gövdeleri, büro ve iş makineleri gövdeleri, depo ve soğutucu iç astarları gibi farklı endüstrilerde çeşitli parçaların üretiminde kullanılır. Sert ve dayanıklı yapısı nedeniyle çanta, bavul ve tüfek dipçikleri gibi ürünler için idealdir. Hassas ölçülü askeri amaçlı ürünlerde, antitank plastik mayınlarında ve bina inşaat malzemelerinde de kullanılabilir. Ayrıca eğitim malzemeleri yapımında da tercih edilebilir

Tablo 2.1. Plastik hammaddeler ve enjeksiyon özellikleri

PLASTİKLER	ÖZELLİKLERİ					
	YOĞUNLUK (g/cm ³)	KALIP ÇEKME (%)	ENJEKSİYON SICAKLIĞI (°C)	NEM ALMA SICAKLIĞI (°C)	NEM ALMA ZAMANI (Saat)	KALIP SICAKLIĞI (°C) MIN-MAX
Polipropilen (PP)	0,91	0,6 - 2,0	200 - 260	-	-	20 - 60
Polikarbonat (PC)	1,2	0,5 - 0,7	260 - 310	120	3	80 - 95
Polietilen (PE)	Az Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	0,91	2,0 - 4,0	190 - 250	70 - 80	30 - 50
	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	0,95	1,5 - 3,5			50 - 70
Polivinil Klorür (PVC)	Yumuşak Polivinil Klorür (PPVC)	1,18 - 1,36	1,0 - 5,0	140 - 190	50 - 60	20 - 40
	Sert Polivinil Klorür (RPVC)	1,32 - 1,54	0,5 - 0,8			20 - 60
Polistiren (PS)	1,05	0,3 - 0,6	180 - 280	80	2- 4	20 - 50
Polisülfon (PSU)	1,25	0,76	330 - 380	120	5	90 - 150
Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)	1,05	0,4 - 0,7	200 - 280	85 - 95	2 - 4	60 - 80
Termoplastik Poliüretan (PUR)	1,18 - 1,25	1,0 - 2,0	170 - 240	110	2 - 3	20 - 45
Polioksimetilen (POM)	1,41	1,7 - 2,0	190 - 230	80	2	80 - 110
Poliamid 6 (PA 6)	1,13	0,8 - 1,4	230 - 270	80	2 - 4	20 - 100
Polifenilen Sülfür (PPS)	1,6	0,1 - 0,3	280 - 330	140	4	60 - 80
Polibütilen Tereftalat (PBT)	1,31	0,9 - 2,3	230 - 265	140	3	40- 80
Polietilen Tereftalat (PET)	1,34	2,0 - 2,2	270	120 - 180	4 - 6	140

2.4.7. Polipropilen (PP)

PP, farklı polipropilen monomerlerin bir karışımından oluşan kristalin bir termoplastiktir. Dayanıklılığı ve sertliği ile tanınır. Yüksek mukavemeti, mükemmel kimyasal direnci ve iyi termal kararlılığı gibi benzersiz özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalara sahip çok yönlü bir malzemedir (Muhsin, 2022).

Birçok dış etkene dayanıklı olması polipropileni plastik imalat sanayinde en çok tüketilen termoplastiklerden biri yapmaktadır. Polipropilen, dünya çapında çeşitli endüstrilerde birçok farklı türde ürünün üretilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen (PP), yüksek çekme direnci gösteren bir termoplastiktir. Katkı maddeleriyle güçlendirildiğinde çekme dayanımı önemli ölçüde artabilir. Özünde kırılgan olmayan bir malzemedir ve iyi bir aşındırma direncine sahiptir. Sürtünme katsayısı orta düzeydedir. Isıya karşı dayanıklıdır ve 150 °C'nin altındaki buhar etkisinden etkilenmez. Açık havaya karşı direnci yüksektir. Asitlere karşı dirençlidir. Elektrik iletkenliği olmadığı için iyi bir izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Kaynak ve talaşlı imalat işlemlerine uygunluğu vardır. Uygun yapıştırıcılarla birleştirilebilir, baskı ve markalama işlemleri uygulanabilir. PP'nin kimyasal ve mekanik özellikleri hakkında daha fazla bilgi Tablo 2.2'de verilmiştir.

PP'den İstenilen Özellikler (Muhsin,2022) :

- Yarı sert
- Yarı saydam
- İyi kimyasal direnç
- Sert
- İyi yorulma direnci
- İyi ısı direnci

PP, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır:

Ambalaj: PP, hafifliği, dayanıklılığı ve neme karşı direnci nedeniyle popüler bir ambalaj malzemesidir. Gıda ambalajlarında olduğu kadar ev ve kişisel bakım ürünleri kaplarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv: PP, yüksek ısı direnci nedeniyle iç ve dış kaplamalar gibi otomotiv uygulamalarında ve ayrıca kaput altı bileşenlerde kullanılır.

Tüketim malları: PP, gücü ve dayanıklılığı nedeniyle oyuncaklar, ev aletleri ve elektronik dahil olmak üzere çok çeşitli tüketim mallarında kullanılır.

Tıbbi: PP, yüksek kimyasal direnci ve sterilizasyon işlemlerine dayanma kabiliyeti nedeniyle cerrahi aletler ve tıbbi ambalaj gibi tıbbi uygulamalarda kullanılır.

PP, enjeksiyonlu kalıplama, ekstrüzyon ve üfleli kalıplama gibi çeşitli teknikler kullanılarak işlenebilir. Farklı özellikler ve performans özellikleri sunan homopolimer ve kopolimer sınıfları dahil olmak üzere çeşitli sınıflarda ve formülasyonlarda mevcuttur.

Tablo 2.2. Polipropilen'in kimyasal ve mekanik özellikleri

Polipropilen	Değer	Birim
Yapı	Kristal	
Yoğunluk	0.93	g/cm ³
Erime Sıcaklığı	160	°C
Kristalleşme Sıcaklığı	111	°C
Camsılaşma Sıcaklığı	-10	°C
Doğrusal Genleşme Katsayısı (CTE)	115	µm/m-°C
Yük altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	102	°C
Azami servis sıcaklığı (Hava)	78	°C
Mekanik Özellikleri		
Gerilme Mukavemeti	31	Mpa
Basma Mukavemeti	45	Mpa
Çekme Modülü	1.3	Gpa
Kopma Esnemesi	200	%
Darbe Dayanımı (Çentiksiz izod)	8.39	J/cm
Sertlik	R95	Shore Ölçeği
*Tabloda ortalama değerler verilmiştir. Bu değerler polimerin molekül ağırlığına ve numunenin üretim şekline göre farklılık göstermesi mümkündür.		

Genel olarak PP, geniş bir uygulama yelpazesine sahip popüler ve çok yönlü bir malzemedir ve bu da onu birçok endüstri için ortak bir seçim haline getirir.



3. PLASTİK ÜRETİM SÜREÇLERİ

Plastik malzemelerin şekillendirilmesinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır, bunlar arasında basınçlı kalıplama, döner kalıplama, basınç altında ısı ile biçimlendirme, şişirme ve enjeksiyon kalıplama bulunmaktadır. Plastik enjeksiyon prosesi, plastik malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan ve önemi her geçen gün artan bir yöntemdir. Bu yöntemde, termoplastik malzeme belirli bir ısı altında akışkan hale getirilir ve basınç uygulanarak kalıp içinde şekillendirilir. Plastik enjeksiyon işlemi, seri üretim için uygun olması, tek bir işlemle istenen şeklin elde edilebilmesi ve son işlem gerektirmemesi gibi avantajlara sahiptir (Keçe, 2006).

Plastik enjeksiyon yönteminin avantajları şunlardır:

1. Hızlı ve yüksek hacimli üretim imkanı sağlar.
2. Otomatizasyona uygundur ve genellikle son işlem gerektirmez.
3. Farklı yüzey, renk ve şekillerde ürünler üretilebilir.
4. Seri üretim imkanı olmayan küçük parçalar bile seri üretilebilir.
5. Malzeme kaybı minimum seviyede tutulabilir.
6. Aynı makine ve kalıpta farklı malzemeler kullanılabilir.
7. Düşük toleranslarda çalışabilir.
8. Metal veya ametaller eklenerek enjeksiyon yapılabilir.
9. İmal edilen ürünler iyi mekanik özelliklere sahip olabilir.

Ancak plastik enjeksiyon yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır:

1. Rekabet nedeniyle kar marjı düşüktür.
2. Kalıp maliyetleri yüksektir.
3. Enjeksiyon makineleri ve yedek parçaları oldukça pahalıdır.
4. İşlem kontrolü tam anlamıyla sağlanamamaktadır.

5. Yeni ürün devreye alma süreçleri uzun olabilir.

Bu dezavantajlara rağmen, plastik enjeksiyon yöntemi hala birçok endüstride tercih edilen bir üretim yöntemidir (Akyüz,2001).

3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıpları

Plastik enjeksiyon kalıbı, eriyik plastik hammaddenin içindeki parçanın şeklini oluşturacak olan boşluğa doldurulup sonra katılaşmasını sağlayan bir "takım"dır. Kalıp, genellikle çelik veya alüminyumdan yapılmış olup çekirdek ve boşluk olmak üzere iki yarıdan oluşur. Plastik enjeksiyon kalıbının temel görevleri aşağıdaki gibidir (Turaçlı,2003):

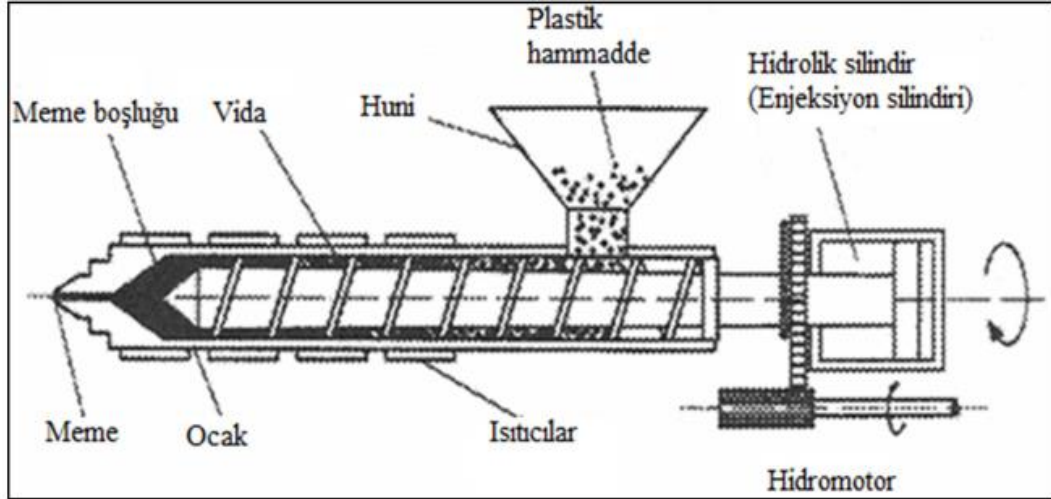
1. Kalıp boşluğunu eriyik hammadde ile doldurup parçaya son halini vermek: Kalıp içindeki eriyik plastik malzeme, enjeksiyon sistemi aracılığıyla kalıp boşluğuna enjekte edilir. Kalıp, eriyik malzemenin istenen şekli almasını sağlar ve parçaya son halini verir.
2. Kalıp boşluğunu doldurmuş eriyik hammaddeyi soğutmak: Enjeksiyon sonrası, kalıp içindeki eriyik malzeme soğutulur. Soğutma sistemi, kalıp yüzeyine uygulanan soğutma suyu veya hava akışıyla malzemenin hızlı bir şekilde katılaşmasını sağlar. Bu adım, parçanın istenen şeklini ve boyutlarını korumasını sağlar.
3. Soğumuş parçayı kalıptan dışarı çıkarmak: Parça tamamen soğuduktan sonra, itici sistemi kullanılarak kalıptan çıkarılır. İtici sistem, parçayı dışarı iterek çıkarmaya yardımcı olan bir mekanizmadır. Kalıp, parçanın kolayca çıkarılmasını sağlayacak şekilde tasarlanır.

Plastik enjeksiyon kalıplarının temel işlevsel grupları aşağıdaki gibidir:

1. Enjeksiyon sistemi: Eriyik plastik malzemenin enjekte edildiği ve kalıp boşluğunu doldurduğu sistemdir. Enjeksiyon ünitesi, eriyik malzemeyi eritme, enjeksiyon basıncını sağlama ve malzemeyi kalıp boşluğuna taşıma işlevlerini yerine getirir.
2. Soğutma sistemi: Kalıp içindeki eriyik malzemenin hızlı ve homojen bir şekilde soğumasını sağlayan sistemdir. Soğutma kanalları, kalıp yüzeyine

soğutma suyu veya hava akışı sağlayarak malzemenin katılaşmasını hızlandırır.

3. İtici sistemi: Soğumuş parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlayan mekanizmadır. İtici pimler veya plakalar kullanılarak parça dışarı itilir ve kalıptan çıkarılır.



Şekil 3.1.Enjeksiyon makinesi ocak ve vidası (Akyüz 1998)

Bir plastik enjeksiyon kalıbının temel bileşenleri şunları içerir:

Boşluk: Boşluk, kalıbın plastik parçanın dış yüzeyini oluşturan kısımdır.

Maça: Maça, plastik parçanın iç yüzeyini oluşturan kalıbın parçasıdır.

Yolluk sistemi: Yolluk sistemi, erimiş plastiği kalıp boyunca dağıtan bir kanallar ağıdır.

İtici sistemi: Fırlatma sistemi, bitmiş parçanın soğutulup katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılması için kullanılır.

Bir plastik enjeksiyon kalıbı tasarlamak, istenen parça şekli, kullanılan plastik malzemenin özellikleri ve gerekli üretim hacmi dahil olmak üzere çeşitli faktörlerin dikkate alınmasını gerektirir. Tasarım ayrıca kalıp soğutma, yolluk ve fırlatma gibi faktörleri de hesaba katmalıdır.

Enjeksiyon kalıpları, CNC işleme, EDM (elektrik deşarjlı işleme) ve 3D baskı gibi çeşitli teknikler kullanılarak üretilir.

Kalıp tamamlandıktan sonra, bir enjeksiyon kalıplama makinesine yerleştirilir, burada kelepçelenir ve erimiş plastik kalıp boşluğuna enjekte edilir.

Genel olarak plastik enjeksiyon kalıpları, plastik enjeksiyon kalıplama işleminin kritik bir bileşenidir ve bunların tasarımı ve üretimi, parça kalitesi ve üretim verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir.

3.1.1. Kalıp boşluğu (Göz)

Kalıp boşluğu, kalıp yarımlarının birleştiği ve plastik malzemenin enjekte edildiği boşluktur. Kalıp kapandıktan sonra oluşan bu boşluk, plastik parçanın istenen şeklini almasını sağlar.

Kalıp boşluğu sayısına göre kalıplar, tek gözlü veya çok gözlü olarak adlandırılır. Tek gözlü kalıplarda yalnızca bir adet kalıp boşluğu bulunurken, çok gözlü kalıplarda birden fazla kalıp boşluğu bulunur. Çok gözlü kalıplar, aynı anda birden fazla parçanın üretimini sağlar ve üretim verimliliğini artırır. Hangi tür kalıbın kullanılacağı, üretim ihtiyaçları ve maliyet faktörleri gibi etkenlere bağlıdır.

3.1.2. Erkek kalıp

Kalıbın erkek kısmı, parçanın iç kısmını oluşturmaktadır. Erkek kalıbın sektördeki diğer adı hareketli kalıptır. Parçanın kalıptan çıkarılması için iticiler, kalıbın hareketli kısmına yerleştirilir. Erkek kalıp genellikle makinenin sabit kısmına monte edilir, çünkü itici sistem genellikle makinenin sabit kısmında bulunur (Turaçlı 2003).

3.1.3. Dişi kalıp

Basılacak parçanın dış yüzeyini oluşturan kısım dişi kalıp olarak adlandırılır. Dişi kalıba sabit plaka da denilebilir. Enjeksiyon ünitesi genellikle makinenin sabit kısmında yer alır. Kalıp tasarımında yolluk kısmı genellikle dişi kalıp yarımının üzerinde bulunduğu için dişi kalıp hareketsiz kısma monte edilir. Kalıp tasarımı yapılırken itici sistem erkek kalıba, yolluk (besleme) ünitesi ise dişi kalıp tarafına yerleştirilmelidir (Turaçlı 2003).

3.2. Enjeksiyon Makineleri

Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik malzemelerden yapılmış parça ve ürünler üretmek için kullanılan bir üretim sürecidir. İşlem, plastik hammaddelerin eritilmesini ve erimiş plastiğin, istenen şekli oluşturmak için soğuduğu ve katılaştığı bir kalıp boşluğuna enjekte edilmesini içerir.

Plastik enjeksiyon kalıplamanın temel adımları şunları içerir:

Sıkıştırma: Kalıbın iki yarısı bir araya getirilir ve sıkıştırılır.

Enjeksiyon: Erimiş plastik, kalıp boşluğuna yüksek basınç altında enjekte edilerek boşluğu doldurur ve kalıbın şeklini alır.

Soğutma: Plastiğin kalıp içinde soğumasına ve katılaşmasına izin verilir.

Çıkarma: Kalıp açılır ve parça kalıp boşluğundan dışarı çıkarılır.

Plastik enjeksiyon kalıplama, otomotiv, medikal, elektronik ve tüketim malları dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlem, yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirliğe sahip parçalar üretebilir ve büyük hacimlerde parça üretmek için kullanılabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi tasarlarken ve uygularken, kullanılan plastik malzemenin özellikleri, kalıbın tasarımı ve plastiğin soğuma hızını kontrol etmek için kullanılan soğutma sistemi gibi birkaç faktörü dikkate almak gerekmektedir. İyi tasarlanmış bir plastik enjeksiyon kalıplama işlemi, tutarlı parça kalitesi sağlamaya, döngü süresini azaltmaya ve genel verimliliği artırmaya yardımcı olabilir.

Plastik enjeksiyon makinesi, kalıbın bağlandığı kalıp ünitesi, kalıbın kitleme ve açma işlevini gerçekleştirdiği kapatma ünitesi, plastikleştirme işleminin gerçekleştiği enjeksiyon ünitesi ve enjeksiyon parametrelerinin kontrol edildiği kontrol ünitesi olmak üzere dört birimden oluşmaktadır. (Ozansoy, 2005).

Plastik enjeksiyon makineleri, pistonlu enjeksiyon makineleri ve vidalı enjeksiyon makineleri olmak üzere iki farklı grupta incelenir. Pistonlu enjeksiyon makineleri günümüzde sınırlı kullanım alanına sahiptir çünkü üretilen parçaların küçük gramajlı olması gerekmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan ve tercih edilen makineler ise vidalı enjeksiyon makineleridir. Vidalı enjeksiyon makinelerinde, vidanın hareketi hem pistonun görevini hem de malzemenin erimesini sağlar. Hammadde huniye konulur ve yerçekimi yardımıyla vidanın önüne doğru ilerler. Vida döndüğünde, silindir üzerinde bulunan ısıtıcı bantlar sayesinde hammadde ısıtılarak eriyik hale getirilir.

Vida basınç uygulayarak erimiş malzemeyi kalıba doğru iter. Bu hareket sırasında vidanın ucundaki bilyalı valf, geri hareketi engelleyerek malzemenin silindire geri dönmesini önler. Vidalı enjeksiyon makinesinin bir örneği Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

3.2.1. Enjeksiyon makinesi bölümleri

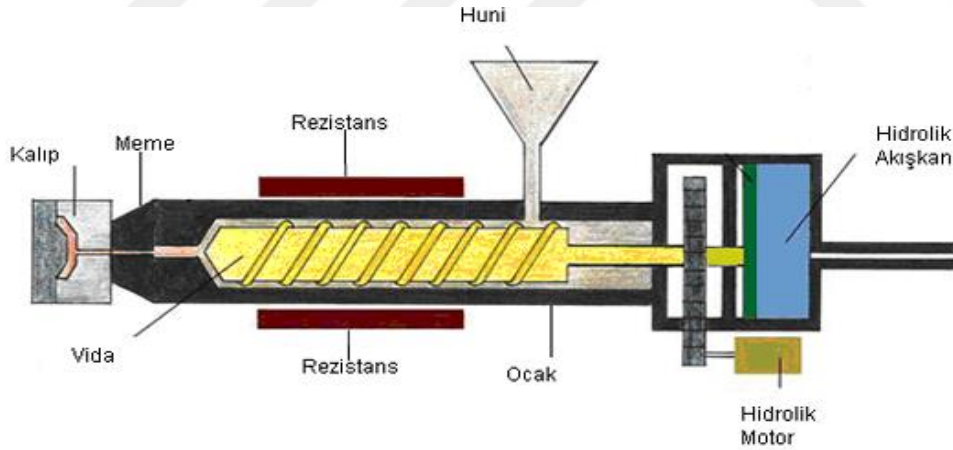
3.2.1.1. Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi

Enjeksiyon ünitesi, vida, çek-valf, huni, ısıtıcılar, enjeksiyon memesi, hidromotor ve hidrolik silindirden oluşmaktadır. Şekil 3.2'de Enjeksiyon ünitesine ait bölümler gösterilmiştir.

Huni, plastik malzemenin düzgün bir şekilde kovaya doğru akmasını sağlar. Enjeksiyon memesi, erimiş malzemeyi yolluk temasıyla kalıba geçiren görevine sahip olan enjeksiyon ünitesinin son parçasıdır. Vida ise plastik hammaddeyi eritip kalıb içerisine ileten sistemin bir parçasıdır. Vida, genellikle üç bölmeden oluşur: ölçme bölümü, sıkıştırma bölümü ve besleme bölümü.

Ölçme bölümü, hammaddeyi doğru miktarlarda ölçmek için kullanılır. Sıkıştırma bölümünde, erimiş malzeme daha sıkıştırılır ve homojen bir şekilde karıştırılır. Besleme bölümü ise hammaddenin kalıba ilerlemesi için basınç uygular ve enjeksiyon sürecini gerçekleştirir.

Bu bileşenler bir araya gelerek enjeksiyon ünitesinin işleyişini sağlar ve erimiş plastik malzemenin doğru miktarda kalıba iletilmesini sağlar (Palabıyık, 2008).



Şekil 3.2. Vida bölümleri



Şekil 3.3. Plastik enjeksiyon hunisi (silo)

Sonsuz vida sisteminin önemli özellikleri arasında yeterli eritme performansı, malzemelerin hızlı taşınması ve etkili erime sayesinde katkı maddelerinin homojen dağılımı bulunur. Bu özellikler, sistemin sonsuz vidadan elde edilmesi beklenir.

Çek-valf, sistemin sonsuz vidanın ucuna yerleştirilen bir yapıdır. Çek-valf, vidanın tutma ve doldurma anlarında hareketini sağlar ve hammadde geri yönde hareket etmesini engeller. Bu sayede enjeksiyon süreci daha kontrollü ve verimli bir şekilde gerçekleşir.

Vidanın kovan içinde ısıtılması için rezistanslı bantlar kullanılır. Bu bantlar, vidanın etrafında bulunan silindirin ısınmasını sağlar ve malzemenin erime sürecini destekler. Isıtıcılar, malzemenin istenen sıcaklıkta ve viskozitede olmasını sağlamak için önemli bir bileşen olarak kullanılır.

Bu şekilde, plastik enjeksiyon kalıplama işleminde eritme performansının artırılması, malzemelerin etkili bir şekilde taşınması ve homojen dağılması için sonsuz vida sistemi, çek-valf ve ısıtıcılar gibi önemli bileşenler kullanılır.

3.2.1.2. Kapatma ünitesi

Sistemin ana görevleri arasında kalıbın açılıp kapanma hareketini gerçekleştirmek ve kalıp ayrılma düzleminde çapak oluşumunu engellemek yer alır. Bu görevler, kalıpların kapanmasını sağlayarak tamamlanır.

Kalıbın kapanma hareketini gerçekleştirmek için üç farklı türde mengene yapısı kullanılır: hidrolik, hidro-mekanik ve mekanik mengeneler.

Hidrolik mengene yapısında, kalıbın hareketi hidrolik silindirler aracılığıyla kontrol edilir. Hidro-mekanik mengene yapısında ise kalıbın kapatma hareketi hidrolik silindirler tarafından gerçekleştirilirken, kalıbın kilitlenmesi özel mekanik parçalarla sağlanır.

Mekanik mengene yapısında ise ayarlanabilir makas kullanılarak kapatma aralığının kontrolü sağlanır. Bu tür mengene yapısında hareket mekanik sistem yardımıyla gerçekleştirilir.

Bu şekilde, hidrolik, hidro-mekanik ve mekanik mengene yapıları kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplama işleminde kalıbın kapanması ve açılması kontrol edilir. Mengene yapısının seçimi, kalıbın boyutu, şekli ve uygulama gereksinimleri göz önünde bulundurularak yapılır (Ozansoy, 2005).

3.2.1.3. Kontrol ünitesi

Enjeksiyon sistemi, plastik enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında enjeksiyon sürecinin tüm değerlerini ayarlayan bir sistemdir. Günümüzde enjeksiyon cihazlarında genellikle PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) yapıları bulunur.

PLC, enjeksiyon sürecindeki önemli değerleri dolaylı ve doğrudan kontrol etmek için kullanılır.

Enjeksiyon sistemi, enjeksiyon cihazının kontrol ünitesi aracılığıyla çalışır. Kontrol ünitesi, enjeksiyon hızı, basınç, zaman ve sıcaklık gibi önemli enjeksiyon değerlerini ayarlamak için PLC tarafından programlanır. Bu sayede istenen enjeksiyon parametreleri hassas bir şekilde kontrol edilebilir.

Şekil 3.3'te Haitan marka bir enjeksiyon cihazının kontrol ünitesi görülmektedir. Bu kontrol ünitesi, enjeksiyon sürecinin izlenmesi ve yönetilmesi için kullanılır.

PLC'nin sağladığı programlanabilirlik sayesinde, enjeksiyon sürecinin parametreleri kolaylıkla ayarlanabilir ve optimize edilebilir.

Enjeksiyon sistemi, plastik malzemenin doğru miktarlarda ve doğru zamanda kalıba enjekte edilmesini sağlar. Bu, parça kalitesinin tutarlılığını ve üretim verimliliğini artırır. Enjeksiyon sistemi, kalıp tasarımı, malzeme özellikleri ve üretim gereksinimlerine göre optimize edilerek en iyi sonuçların elde edilmesine yardımcı olur.



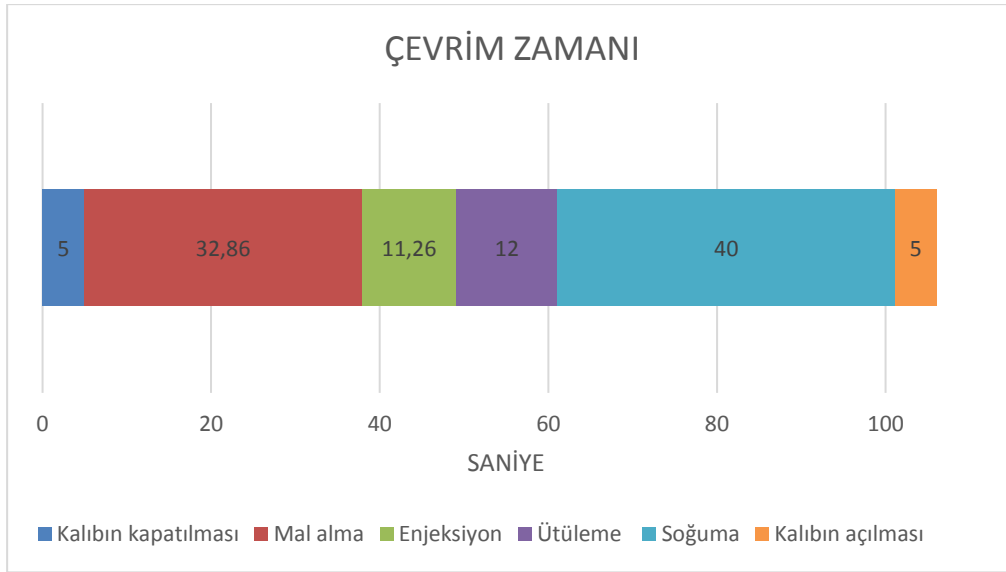
Şekil 3.4.Kontrol Ünitesi

3.3. Plastik Enjeksiyon Prosesi

Enjeksiyon prosesi detaylı olarak söylersek yedi adımdan oluşur. Bunlar;

- 1) Plastikleşmenin başlaması,
- 2) Plastikleşmenin bitmesi,
- 3) Kalıbın kapatılması,
- 4) Enjeksiyonun başlaması,
- 5) Enjeksiyonun bitmesi,
- 6) Parçanın soğuması ve son olarak
- 7) Parçanın kalıptan çıkarılmasıdır.

Bu yedi adımın süre olarak toplamı çevrim zamanını oluşturur. Her parça için uygun parametre değerleri farklı olacağı için çevrim zamanları da farklıdır. Şekil 3.5’de örnek bir çevrim zaman dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.5. Özgürmetal firmasında üretilen bir parçanın çevrim zamanı yayılım grafiği

3.3.1.1. Plastikleşmenin başlaması

Vida dönme hareketiyle malzeme, huni içindeki hammaddeyi ocağa aktarır. Ocağı saran ısıtıcılar ve sürtünme sayesinde hammadde erimeye başlar. Eriyen hammadde, vida tarafından meme ucuna iletilir. Bu sırada, meme ucuna dolan erimiş hammadde miktarı arttıkça, vida geri yönlü hareket yapar.

Bu durumda, vida sistemin hidrolik yapısında "geri basınç" oluşturur. Ancak kalıbın açılabilmesi için geri basıncın sıfırlanması gerekir. Bu amaçla, vidanın geri çekilmesiyle geri emme veya dekompresyon işlemi gerçekleştirilir.

Geri emme veya dekompresyon, enjeksiyon işleminden sonra kalıbın açılmadan önce vidanın geri çekilmesi işlemidir. Bu işlem, kalıp açılmadan önce enjeksiyon sisteminde oluşan geri basıncın azaltılmasını sağlar. Geri emme işlemi, enjeksiyon sonrası basıncın kontrol altına alınmasını ve kalıptan çıkan parçanın düzgün bir şekilde çıkmasını sağlar.

Geri emme işlemi, plastik malzemenin kalıptan tamamen çıkarılabilmesi için önemlidir. Vida geri çekilerek, enjekte edilen erimiş plastik malzeme miktarı azaltılır ve basınç azalır.

Bu sayede, parçanın kalıptan kolaylıkla çıkarılması sağlanır. Geri emme işlemi, enjeksiyon sürecinde parça kalitesini ve üretim verimliliğini artırmaya yardımcı olur.

3.3.1.2. Plastikleşmenin bitmesi

Vida, hammaddeyi meme ucuna taşıdıktan sonra hareketini tamamlar ve dönmesi durur. Bu aşamada, memede enjeksiyon için yeterli miktarda malzeme toplanmıştır. Vida, hammaddeyi doğru miktarda ve kalıba uygun bir şekilde ileterek enjeksiyon sürecinin düzgün bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Vida hareketinin durmasıyla birlikte enjeksiyon bir sonraki aşamaya geçer, yani enjeksiyon ünitesi erimiş plastik malzemeyi kalıba enjekte etmeye başlar.

3.3.1.3. Kalıbın kapatılması

Makinenin hidrolik veya mekanik olarak çalışabilen mengene ünitesi, hareket ederek kalıbı kapatır ve sıkıştırır. Mengenin kapanması için gereken kuvvet, enjeksiyon baskısı için gereken kuvvetten daha büyük olmalıdır. Bu şekilde, kalıp doğru bir şekilde kapatılır ve sıkıştırılır, parçanın kalıp içinde istenen şekli alması sağlanır. Mengene ünitesi, kalıbın açılıp kapanma hareketini kontrol eder ve kalıp ayrılma düzleminde çapak oluşumunu engelleyerek parça kalitesini artırır. Hidrolik veya mekanik mengene yapısı, kalıp kapatma işlemini güvenli ve doğru bir şekilde gerçekleştirmek için tasarlanmıştır.

3.3.1.4. Enjeksiyonun başlaması

Vida, hidrolik pistonun yatay olarak ileri doğru itmesiyle dönme hareketi yapmadan hareket eder. Bu hareket sayesinde plastik malzeme, enjeksiyon meme ucundan kalıp boşluğuna doğru akar. Bu süreçte basınç oluşur ve bu basınca enjeksiyon basıncı denir. Enjeksiyon basıncı, kalıp içine plastik malzemenin dolması sırasında artar. Çünkü plastik malzeme kalıp içinde yerleşmeye başlar ve soğumaya başlar, bu da akışkanlık direncini artırır.

Kalıp içi hammadde ile dolmaya başladığında, meme ucunda sıcaklık azalmaya başlar ve viskozite direnci artar. Vida, bu direnci aşabilecek basıncı uygulayamaz. Bu durumda basınç kontrol devreye girer. Hızdan basınca geçiş noktası olan noktada bu kontrol gerçekleşir.

3.3.1.5. Enjeksiyonun bitmesi ve parçanın soğuması

Kalıp içi boşluğun tamamen dolmasından sonra, eriyen plastik malzeme soğumaya başlar ve küçülme gösterir. Bu küçülmeyi engellemek için, kalıp içine düşük basınca sahip bir miktar plastik hammadde eklenir. Bu işleme "ütüleme" adı verilir. Enjeksiyon işleminin ilk aşamasında, kalıp içi enjeksiyon basıncıyla boşluk tamamen doldurulur

ve ulaşılabilecek en yüksek basınca ulaşıldıktan sonra düşük bir basınçla plastik malzeme enjekte edilir. İkinci malzemenin uygulanan bu basınına "tleme basıncı" veya "tutma basıncı" denir. Bu basınç, plastik malzemenin kalıp içinde tutulmasını sağlar.

3.3.1.6. Parçanın kalıptan çıkarılması

Kalıp içindeki plastik hammadde yeterince soğduktan ve homojen olarak dağıldıktan sonra, kalıp mengenesi yardımıyla açılır. Oluşan parça dikkatlice kalıptan çıkarılır. Malzeme çıkarken, vida yatay ekseninde geriye doğru çekilir ve aynı işlemleri tekrarlamak için üretim evresini başa döndürür. Bu aşamaya kadar olan süreç, parçanın çevrim süresini (cycle time) oluşturur. şekil 3.4'te bir enjeksiyon grafiği rneği grlmektedir.

3.3.2. Plastik Enjeksiyon Prosesinde Ana Parametreler

Plastik enjeksiyon parametreleri, plastik parçaların üretilmesi için enjeksiyon kalıplama işlemini kontrol eden ayarlardır.

Bu parametreler, kullanılan plastik malzemenin tipine, parçanın tasarımına ve kullanılan spesifik enjeksiyon kalıplama makinesine bağlı olarak değişebilir.



şekil 3.6. Enjeksiyon grafiği

Örneğin, enjeksiyon yöntemiyle çalışırken, malzemeye bağlı olarak enjeksiyon makinesi üzerindeki kontrol edilebilir parametrelerin uygun değerlerde olması da önemlidir. şekil 3.7'de bir örnek parametre ayar ekranı verilmiştir. Bu ekran, operatörün enjeksiyon sürecini kontrol etmek için kullanabileceği parametreleri ve ayarları gösterir.

Parametreler arasında enjeksiyon hızı, basınç, zaman ve sıcaklık gibi değerler bulunabilir. Bu değerlerin doğru bir şekilde ayarlanması, istenen kalite ve verimlilik düzeyini elde etmek için önemlidir. Enjeksiyon makinesinin kontrol ünitesinde değiştirilebilen dört temel parametre bulunur. Bunlar sıcaklık, basınç, zaman ve hızdır.



Şekil 3.7. Özgür Metal firmasında üretilen bir parçanın parametre ekranından birkaç örnek

Bu parametreler, enjeksiyon sürecinin kontrol edilmesi ve ayarlanması için kullanılır. İşlem sırasında malzemenin eritilmesi, enjeksiyonun hızı, malzemenin kalıp içine basılması ve soğutma süresi gibi faktörler bu parametrelerle yönetilir. Operatör, bu parametreleri kontrol paneli veya ayar ekranı üzerinden değiştirerek enjeksiyon sürecini optimize edebilir ve istenen sonuçları elde edebilir.

Enjeksiyon basıncı: Bu, erimiş plastiğin kalıp boşluğuna enjekte edildiği basınçtır. Tipik olarak inç kare başına pound (PSI) veya bar cinsinden ölçülür.

Enjeksiyon hızı: Bu, erimiş plastiğin kalıba enjekte edilme hızını ifade eder. Genellikle inç/saniye (IPS) veya milimetre/saniye (MPS) cinsinden ölçülür.

Enjeksiyon sıcaklığı: Bu, plastik malzemenin eritildiği ve daha sonra kalıba enjekte edildiği sıcaklıktır. Genellikle derece Fahrenheit (°F) veya derece Celsius (°C) cinsinden ölçülür.

Kullanılan hammaddenin sıcaklığı hammaddenin yapısına uygun olmalıdır. Meme ucundaki malzemenin sıcaklığı çok önemlidir. Malzeme sıcaklığı için en uygun sıcaklık, tedarikçiler tarafından teknik data dökümanında verilen sıcaklık aralığının ortasıdır.

Kalıp sıcaklığı: Kalıp sıcaklığı enjeksiyon işlemi sırasında önemli bir faktördür ve bitmiş parçanın kalitesi üzerinde etkili olabilir. Kalıp sıcaklığı, çevrim süresini ve

parça yüzeyini etkileyen kritik bir parametredir. Sıcak kalıp yüzeyleri plastiğin akışını kolaylaştırırken, plastiğin soğuması ve sertleşme süresini uzatır. Soğuk kalıp yüzeyleri ise plastiğin hızlı soğumasına neden olur, ancak plastiğin viskozitesi düşer ve kalıbı tam olarak doldurma süresi kısalmır. İdeal şartları elde etmek için kullanılan plastik malzemeye, parçanın kalınlığına ve istenen kaliteye dikkat etmek önemlidir.

Kalıp dolum aşamasında, en sıcak eriyik plastik kalıp yolluk girişinde bulunurken, en soğuk nokta yolluk girişinden en uzak noktadır.

Kalıp sıcaklığı doğru bir şekilde ayarlanmadığında, kalıpta sıcaklık farklılıkları oluşur ve istenmeyen gerilmelere ve birleşim izlerine yol açabilir. Bu nedenle, homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak için uygun soğutma sistemleri tasarımı önemlidir.

Eriyik plastik malzeme, basınç kullanılarak kalıp boşluğuna enjekte edilir ve istenen ürün elde edilir. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için yeterli dayanıma ve deformasyona uğramadan kalıbı terk edebilme yeteneğine sahip olması gerekir.

Bu nedenle, itme çevrimi sırasında plastiğin sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığına göre daha düşük olmalıdır. Kalıp, bir ısı değiştirici gibi işlev görürken, eklenen soğutma sistemleri de bu etkiyi artırır.

Yüksek üretim kapasitesine sahip kalıplar için zaman kaybının en aza indirilmesi önemlidir. Soğutma sistemleri tasarlanırken, tasarımcının göz önünde bulundurması gereken genel tasarım prensipleri bulunmaktadır.

Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Bu tablo, farklı malzemelerin enjeksiyon işleminde kullanılan sıcaklık aralıklarını göstermektedir. Bu aralıklar, malzeme özelliklerine ve kalıp tasarımına bağlı olarak değişebilir.

Tablo 3.1. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları (Esenlik, 2001)

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polietilen (PE)	170 – 320	0 – 70
Polistyren (PS)	200 – 250	0 – 60
Polyamide (Naylon)	240 – 320	40 – 120
Acrylonitrile styren	230 – 260	50 – 80
Polikarbonat (PC)	280 – 310	85 – 140
Poliasetal	180 – 230	70 – 130
Polipropilen (PP)	180 – 280	0 – 80
ABS	180 – 240	50 – 120

Plastik malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları oldukça geniş bir aralığa sahiptir. Bu nedenle, tasarımcı ve malzeme tedarikçisi, tecrübelerine dayanarak en uygun sıcaklık değerlerini seçmelidir. Kalıp tasarımında deneyimli bir kişi, kalıplanan ürünün plastik malzemenin fiziksel özellikleri ve görünümü üzerinde soğutma sistemi tarafından nasıl etkilendiğini bilmelidir. Örneğin, kalıplanan ürün kırılğan veya yetersiz parlaklıkta ise, bu durum hızlı soğuma veya çok düşük kalıp sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olabilir. Aynı şekilde, yavaş soğuma veya yeterli soğutma sağlanmaması durumunda istenmeyen kristalleşme oluşabilir (Esenlik, 2001).

Soğuma süresi: Çevrim süresi, bir parçanın enjeksiyon prosesinin başından sonuna kadar tamamlandığı süreyi ifade eder. Bu süre boyunca eriyik malzeme, kalıbın içini tamamen doldurmalıdır.

Parçanın enjeksiyondan sonra kalıpta soğuyup katılaştığı süre, çevrim süresinin bir parçasıdır. Bu süre, parçanın boyutu ve karmaşıklığına bağlı olarak değişebilir ve genellikle saniyelerle ölçülür. Malzeme soğumaya başladığında, yeterince katı hale gelir ve bir çevrim süresi tamamlanır. Ardından makine, bir sonraki çevrim için hazır hale gelir. Malzemenin nasıl soğuduğu, önemli bir faktördür. Çevrim sürelerini azaltmak için minimum zamanlar kullanılmalıdır.

Paketleme basıncı: Enjeksiyondan sonra plastik malzemeye kalıbı tamamen doldurması ve istenilen şekle kavuşması için uygulanan basınçtır.

Tutma süresi: Bu, plastik malzemenin katılaşmasını ve tutarlı bir şekil oluşturmalarını sağlamak için paketlenme basıncının sürdürüldüğü süredir.

Kalıp Açık Kalma Süresi Kalıp açık kalma süresi, kalıbın açılması, iticilerin vurması, parçanın çıkarılması ve kalıbın tekrar kapatılması sürelerinden oluşur. Bu sürenin mümkün olan en kısa ve sabit tutulması önemlidir.

Kısa bir kalıp açık kalma süresi, üretkenliği artırır ve çevrim sürelerini azaltır. Parçanın hızlı bir şekilde çıkarılması ve kalıbın hızlıca kapatılması, üretim sürecinin hızını etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle, makine ayarlarının ve işçilik süreçlerinin optimize edilmesiyle kalıp açık kalma süresi minimum seviyede tutulmalıdır.

Ancak, kalıp açık kalma süresinin parça kalitesini etkilemeden minimum seviyede tutulması önemlidir. Parçanın tam olarak soğuması ve istenen özelliklere sahip olması için yeterli zamanın sağlanması gerekmektedir. Bu dengeyi sağlamak, kalıp tasarımı, malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin doğru şekilde ayarlanmasıyla mümkündür.

Soğutma Hızı: Plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma hızı, nihai ürünün kalitesini, üretkenliğini ve maliyetini etkileyen kritik bir faktördür. Enjeksiyon kalıplama sırasında soğuma hızı, erimiş plastik malzemenin enjekte edildikten sonra kalıp içinde soğuma ve katılaşma hızını ifade eder.

Daha hızlı bir soğutma hızı, üretim çıktısını artırabilen ve maliyetleri azaltabilen daha kısa döngü süreleri ile sonuçlanabilir. Bununla birlikte, nihai üründe daha yüksek kalıntı gerilime, eğrilmeye ve yüzey kusurlarına da yol açabilir. Öte yandan, daha yavaş bir soğutma hızı artık gerilimi azaltabilir ve yüzey kalitesini iyileştirebilir ancak aynı zamanda daha uzun döngü sürelerine ve daha düşük üretkenliğe yol açabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma hızını optimize etmek için kalıp tasarımı, soğutma sistemi tasarımı, malzeme özellikleri ve işleme parametreleri gibi çeşitli faktörlerin dikkate alınması gerekir. Enjeksiyon kalıplamada soğutma hızını kontrol etmek için bazı yaygın stratejiler şunları içerir:

Kalıp tasarımı: İyi tasarlanmış bir kalıp, tek tip soğutma kanalları sağlayarak, kalıbın boyutunu ve şeklini optimize ederek ve yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemeler kullanarak soğutma verimliliğini artırabilir.

Soğutma sistemi tasarımı: Soğutma sistemi tasarımı, soğutma suyunun akışını ve sıcaklığını kontrol ederek, soğutma bölmelerini kullanarak ve soğutma kanallarının yerleşimini optimize ederek soğutma oranını da etkileyebilir.

Malzeme özellikleri: Termal iletkenlik ve ısı kapasitesi gibi malzeme özellikleri soğutma hızını etkileyebilir. Bu nedenle, uygulama için uygun malzemeyi seçmek, istenen soğutma hızına ulaşmak için çok önemlidir.

İşleme parametreleri: Enjeksiyon hızı, paketleme basıncı ve tutma süresi gibi işleme parametreleri de soğutma hızını etkileyebilir. Bu parametrelerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi, soğutma hızının optimize edilmesine ve istenen ürün kalitesine ulaşılmasına yardımcı olabilir.

Özetle, plastik enjeksiyon kalıplamada istenen ürün kalitesi, verimlilik ve maliyete ulaşmak için soğutma hızı dikkatle kontrol edilmesi gereken temel bir faktördür.

Bu plastik enjeksiyon parametrelerini optimize etmek, yüksek kaliteli parçalar elde etmek ve kusurları en aza indirmek için çok önemlidir. Deneyimli enjeksiyonlu kalıpcılar, tipik olarak, üretilen parçanın özel gereksinimlerine göre bu parametreleri ayarlayabilirler.

Enjeksiyon parametreleri, malzeme özellikleri ve ürün üzerinde doğrudan etkileri olan önemli faktörlerdir. Ancak, kalıp dışında çevre şartları ve makine enjeksiyon parametrelerinin de bilinmesi yüksek kalitede ürün üretimi için gereklidir ve büyük önem taşır.

Çevre şartları, üretim ortamının sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi faktörleri içerir. Bu faktörler, enjeksiyon sürecinin istikrarını etkileyebilir ve malzemenin akış özelliklerini, soğuma süresini ve parça kalitesini etkileyebilir.

Örneğin, yüksek sıcaklık veya nemli bir ortam, malzemenin viskozitesini ve soğuma süresini değiştirerek ürünün boyutlarında sapmalara ve şekil bozukluklarına neden olabilir.

Makine enjeksiyon parametreleri, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, sıcaklık kontrolü ve soğutma süresi gibi faktörleri içerir. Bu parametrelerin doğru şekilde ayarlanması, malzemenin doğru şekilde akmasını, kalıbın tam olarak doldurulmasını ve istenen parça kalitesinin elde edilmesini sağlar. Yanlış enjeksiyon parametreleri, parçada sıcaklık dalgalanmalarına, dolgu eksikliklerine, çekme gerilmelerine ve diğer

kusurlara neden olabilir. Dolayısıyla, enjeksiyon parametrelerinin yanı sıra çevre şartlarının ve makine enjeksiyon parametrelerinin de bilinmesi, istikrarlı bir üretim süreci ve yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesi için önemlidir.

Bu bilgi, kalıp tasarımı, malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin doğru şekilde ayarlanmasını destekler. Kaynaklarda belirtildiği gibi (Akyüz, 1998; Çetin, 2016), bu faktörlerin bilinmesi ve dikkate alınması, başarılı bir enjeksiyon işlemi için gereklidir.

3.4. Yolluk Çeşitleri

Erimiş malzemenin enjeksiyon kalıp içine dolmasını sağlayan kanallara yolluk sistemi adı verilir. Yolluk sistemi toplamda 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar merkezi yolluk, yan yolluklar ve giriş yolluğudur. Şekil 3.8’de örnek bir parçaya ait muz tipi yolluk görülmektedir. Ürünün kaliteli olması ve maliyetinin az olması için yolluk sisteminin uzunluğu önemli bir faktördür. (Palabıyık 2008)



Şekil 3.8. Örnek yolluk şekli (muz tipi yolluk-soğuk yolluk)

Yolluk sistemi ürün kalitesi ve ürün başına düşen birim maliyet ile doğrudan ilişkilidir. Yolluk kesitinin küçük olması ürün başına düşen maliyeti daha az hammadde kullanılacağından azaltmaktadır. Yolluk sistemi sıcak ve soğuk yolluk olarak iki ana gruba ayrılır.

Yolluk sistemi, erimiş plastiği kalıptaki çeşitli boşluklara dağıtmaktan sorumlu olduğu için plastik enjeksiyon kalıbının kritik bir bileşenidir. Yolluk sistemi, enjeksiyon noktasını veya geçidi kalıptaki boşluklara bağlayan bir kanal ağıdır.

Aşağıdakiler dahil olmak üzere plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılan çeşitli yolluk sistemleri vardır: Sıcak yolluk, soğuk yolluk ve yalıtılmış yolluk sistemleri.

3.4.1. Sıcak yolluk sistemi

Sıcak yolluk sistemi, erimiş plastiği kalıp boşluklarına dağıtan ve ısıtılmış kanallardan oluşan bir ağ içeren daha karmaşık bir yolluk sistemidir. Bu sistem, atıkları azaltmak ve üretim verimliliğini artırmak için kullanılabilir, çünkü plastiği tutarlı bir sıcaklıkta tutarak döngü süresini azaltır ve soğuk yolluk ihtiyacını ortadan kaldırır.

Sıcak yolluk sistemi, erimiş plastiği enjeksiyon memesi üzerinden kalıp boşluğuna aktarırken sıcaklık kaybını minimize eder. Bu sayede, plastiği düşük basınç kaybıyla ve hasarsız bir şekilde kalıp boşluğuna enjekte etmek mümkün olur. Sıcak yolluk sistemi, beş ana bileşenden oluşur: sıcaklık kontrol ünitesi, sıcaklık kontrol materyalleri, ısıtıcılar, sıcak yolluk sistemi memesi ve sıcak yolluk dağıtıcısı. Şekil 3.9'da sıcak yolluk, sıcaklık kontrol cihazı verilmiştir.

Sıcak yolluk sisteminin en önemli avantajlarından biri, malzeme kaybının neredeyse sıfır olmasıdır. Bu, parça enjekte edildikten sonra yolluk temizleme işlemine gerek olmadığı anlamına gelir. Bu durum, hem zaman hem de iş gücü açısından tasarruf sağlar.

Bu sayede sıcak yolluk sistemi, atık miktarını azaltır, kalıp döngü süresini optimize eder ve üretim verimliliğini artırır. Ayrıca, plastiği tutarlı bir sıcaklıkta tutarak parça kalitesini iyileştirir ve kalıp boşluklarına daha hassas ve kontrol edilebilir enjeksiyon sağlar. Bu avantajlar, sıcak yolluk sisteminin endüstriyel uygulamalarda tercih edilmesini sağlar (Köse, 2006)



Şekil 3.9. Sıcak yolluk cihazı

3.4.2. Soğuk yolluk sistemi

Soğuk yolluk: Bir soğuk yolluk sistemi, en basit ve en yaygın yolluk sistemi türüdür. Enjeksiyon noktasından kalıp boşluklarına giden bir kanal veya kanalları içerir. Plastik katılaştıktan sonra yolluktaki fazla malzeme tipik olarak atılır veya geri dönüştürülür.

Soğuk yolluk sistemi, sıvı haldeki hammaddeyi daha sıcak olan kalıp boşluğuna ileten bir sistemdir. Bu sistemde, ürünü basmak için kullanılan hammaddenin yanı sıra yolluk sistemi tarafından da hammadde kullanılır ve bu durum ürün israfına neden olabilir (Köse, 2006). Soğuk yolluk sistemleri, kullanılan giriş yolluğunun tipine göre farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Sıvı haldeki hammadde, yan yolluktan kalıp boşluğuna iletilir. Yan yolluğa ise sıvı hammadde beslemesi giriş yolluğu tarafından yapılır. Soğuk yolluk tipleri şunlardır:

1. Tünel Yolluk: Sıvı hammadde, kalıp boşluğuna tünel şeklindeki bir yoldan iletilir.
2. Muz Yolluk: Yolluk, bir muz şeklinde tasarlanır ve sıvı hammaddeyi kalıp boşluğuna iletmek için kullanılır.
3. Kenar Yolluk: Yolluk, kalıbın kenarından geçerek sıvı hammaddeyi kalıp boşluğuna taşır.
4. Fan Yolluk: Yolluk, kalıbın çeşitli noktalarından dışarı doğru dallanır ve sıvı hammaddeyi kalıp boşluğuna dağıtır.
5. Diyafram Yolluk: Yolluk, diyafram şeklinde tasarlanır ve sıvı hammaddeyi kalıp boşluğuna iletmek için kullanılır.

3.4.3. Yalıtılmış yolluk

Yalıtılmış bir yolluk sistemi, sıcak yolluk sistemine benzer, ancak kanallar, tutarlı bir sıcaklığın korunmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olmak için yalıtılmıştır.

Yolluk sisteminin tasarımı, parça kalitesi ve üretim verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğinden, plastik enjeksiyon kalıplamada önemli bir husustur. Kullanılan malzeme, parçanın boyutu ve şekli ve gereken üretim hacmi gibi faktörlerin tümü yolluk sisteminin tasarımını etkileyebilir.

Genel olarak, yolluk sistemi plastik enjeksiyon kalıplama işleminde kritik bir rol oynar ve optimum parça kalitesi ve üretim verimliliği sağlamak için tasarımına ve uygulamasına dikkatli bir şekilde bakılmalıdır.

3.5. İtici Sistemi

Plastik enjeksiyon itici sistem, bitmiş plastik parçanın soğuduktan ve katılaştıktan sonra kalıptan itilmesine veya çıkarılmasına yardımcı olmak için kullanılan bir mekanizmadır.

İtme sistemi tipik olarak, parçaya kuvvet uygulamak, onu kalıp boşluğundan dışarı ve bir toplama kutusuna veya bir konveyöre itmek için kullanılan bir dizi pim veya çubuktan oluşur.

İtici sistem tipik olarak kalıbın enjeksiyon noktası ve yolluk sisteminin karşı tarafında bulunur. Pimler veya çubuklar genellikle, bitmiş parçayı kalıbın dışına itmek için kalıp boşluğunun içine ve dışına hareket edebilen bir plaka veya plaka düzeneği üzerine monte edilir.

Parçanın boyutu ve şekli, kullanılan plastik malzemenin özellikleri ve istenen püskürtme yöntemi dahil olmak üzere bir plastik enjeksiyon kalıbı için bir itici sistem tasarlariken dikkate alınması gereken birkaç faktör vardır. İtme sistemi, parçaya zarar vermeden çıkartmak için yeterli kuvveti uygulayacak ve bunu tutarlı ve verimli bir şekilde yapacak şekilde tasarlanmalıdır.

Plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılan en yaygın itici sistem türlerinden bazıları şunlardır:

Hidrolik iticiler: Hidrolik iticiler, parçaya kuvvet uygulamak ve onu kalıptan çıkarmak için hidrolik basınç kullanır.

Pnömatik iticiler: Pnömatik iticiler, parçaya kuvvet uygulamak ve onu kalıptan çıkarmak için basınçlı hava kullanır.

Mekanik iticiler: Mekanik iticiler, parçaya kuvvet uygulamak ve onu kalıptan çıkarmak için kaldıraç veya kam gibi mekanik bir mekanizma kullanır.

İtici sistemin seçimi, kalıbın boyutu, karmaşıklığı, üretim hacmi ve otomasyon seviyesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. İyi bir itici sistemi, plastik enjeksiyon

kalıplama işleminde önemli bir role sahiptir ve parça kalitesi ile üretim verimliliğini optimize etmek için dikkatli bir şekilde tasarlanmalı ve uygulanmalıdır.

İtici sistemi tasarlariken, aşağıdaki özelliklere dikkat edilir:

1. Ürüne zarar vermeden çıkartma: İtici sistemin, parçaya zarar vermeden ve iz oluşturmada kalıptan çıkartılmasını sağlaması önemlidir. Parça üzerinde deformasyona neden olmamalıdır.
2. Dengeli kuvvet dağılımı: İtici sistemin kuvvet dağılımı dengeli olmalıdır, böylece parça simetrik bir şekilde çıkartılabilir. Bu, parçanın düzgün bir şekilde formunu korumasını sağlar.
3. Ayarlanabilirlik: İtici pimin istenen konuma ayarlanabilmesine olanak vermelidir. Bu, farklı parça tasarımlarına ve gereksinimlere uyum sağlayabilme yeteneği anlamına gelir.
4. Soğutma sistemiyle uyumluluk: İtici sistemi, soğutma sistemiyle çalışmadan uyumlu bir şekilde çalışabilmelidir. Bu, parçanın doğru soğuma sürecini geçirmesini ve istenen kaliteye ulaşmasını sağlar.

İyi bir itici sistemi, yukarıdaki özelliklere sahip olmalıdır. Bu, optimum parça kalitesi, verimli üretim süreçleri ve daha az atık oluşumu için önemlidir (Kafalı, 2011).

3.6. Kalıp Şartlandırma

Plastik enjeksiyon makinelerinde üretilen ürünler bazen kalıp ısısının uygunsuzluğu dolayısı ile istenilen fiziksel özelliklere sahip olamaz.

Bu problemler çoğu zaman ürünün yüzey veya şekil bozukluğu, mukavemeti ve ürünün kalıptan eksik çıkması gibi problemlerdir. Bunun çözümü kalıbın sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Bazı ürünlerde bu sıcaklık düşük, bazı ürünlerde yüksek tutulmalıdır. Kalıp şartlandırıcılar, belirtilen problemlerin giderilmesi için tasarlanmış cihazlardır. Şekil 3.10'da kalıp şartlandırıcı örneği verilmiştir. Kalıp boyutlarına, ihtiyaç duyulan kalıp sıcaklığına bağlı olarak su veya yağlı tip olarak farklı tasarımlar mevcuttur.



Şekil 3.10. Kalıp şartlandırma cihazı

3.7. Soğutma Sistemi

Soğutma sistemi, eriyik malzemenin kalıpta katılaşmasını sağlamak için önemli bir rol oynar. Bu işlem, hem parça kalitesini etkiler hem de soğuma süresini belirler, bu nedenle enjeksiyon işlemi için önemlidir.

Enjeksiyon sırasında, kalıp eriyik plastikle temas ederek ısınır. Bu sıcaklık artışı, kalıbın performansını, parça kalitesini ve çevrim süresini doğrudan etkiler. Seri üretimde aynı kalitede ürünler elde etmek için, aynı kalıpta kullanılan değerlerin (sabit kalıp sıcaklığı, sabit malzeme sıcaklığı, basınç, hız vb.) sabit tutulması önemlidir.

Kalıp sıcaklığının sabit kalabilmesi için, dişi ve erkek kalıp yarımlarına soğutma kanalları eklenerek soğutma sağlanmalıdır. Bu kanallar, soğutma suyu veya başka bir soğutma sıvısı kullanılarak kalıbın soğutulmasını sağlar. Soğutma kanalları, kalıp yüzeyine yakın ve etkili bir şekilde yerleştirilmelidir.

Doğru soğutma sistemi, eriyik malzemenin hızlı ve homojen bir şekilde katılaşmasını sağlar. Bu, parçanın istenen boyut ve şekle sahip olmasını, deformasyon veya çekme gerilmeleri gibi sorunların önlenmesini sağlar. Ayrıca, uygun bir soğutma sistemi, çevrim süresini kısaltabilir ve üretim verimliliğini artırabilir (Turaçlı, 2003).

Plastiğin kalıba dolarak eriyik olması için verilen ısı, kalıba dolduktan sonra katılaşma süresince geri alınır. Plastik malzemenin kalıp içine enjeksiyonu malzeme cinsine

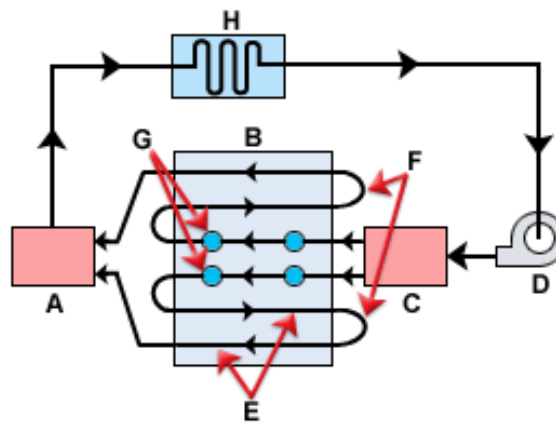
bağlı olarak yaklaşık 200°C civarında yapılmakta (bkz. Tablo 1) ve kalıp ortalama sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Soğuma işlemi enjeksiyon çevriminin en uzun bölümüdür, bu yüzden olabildiğince kısa zamanda kalıptan büyük miktarda ısı çekilmeye çalışır. Kalıp tasarımının en zorlayıcı kısmıdır, çünkü duruma etki eden birçok parametre vardır ve bunların hepsini içeren bir denklem yazmak mümkün değildir. Isı geçişinin temel kanunları göz önünde bulundurularak ve ampirik yöntemlerle elde edilen tavsiyelere dayanılarak bazı hükümler çıkarmak mümkündür (Abalı ve Koçak, 2005).

İmalat sırasında kalıpların soğutulması ürün kalitesi ve kapasitenin artırılması için önem teşkil eder. İmal edilen plastiğin cinsine göre kalıp belli bir sıcaklıkta tutulmalı bu sayede üretimin hatasız yapılması hedeflenmelidir. Gerektiği gibi soğutulmayan kalıplarda kireç oluşumu, ürün yüzeylerinde pürüzlülük, defolar ve renk değişimleri görülebilir. Yeterli soğutulmayan bir kalıp, üretim-çevrim süresini uzatacağı için kapasitede düşüşe sebep olur (Abalı ve Koçak, 2005).

Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik hammaddelerin eritilmesini ve bir parça veya ürün oluşturmak için bir kalıp boşluğuna enjekte edilmesini içerir. Erimiş plastik, parçanın dışarı atılabilmesi için kalıp içinde soğutulmalı ve katılaştırılmalıdır.

Soğutma sistemi bileşenleri

Bir soğutma sisteminin aşağıdaki diyagramı (Şekil 3.11), tipik soğutma elemanlarını göstermektedir.



Şekil 3.11. Kalıp şartlandırma cihazı (Autodesk, 2023)

A = Toplama manifoldu

B = Kalıp

C = Besleme manifoldu

D = Pompa

E = Soğutma Kanalları

F = Hortumlar

G = Bölmeler

H = Sıcaklık kontrolörü

Soğutma sistemi, plastiğin soğuma hızını kontrol etmeye ve nihai ürünün istenen özelliklere sahip olmasını sağlamaya yardımcı olduğundan, plastik enjeksiyon kalıplama işleminin önemli bir bileşenidir. Aşağıdakiler dahil plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılabilecek birkaç farklı soğutma sistemi türü vardır:

Su soğutmalı sistemler: Plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılan en yaygın soğutma sistemi türüdür. Su, erimiş plastikten ısıyı uzaklaştırmak ve katılaşmasına yardımcı olmak için kalıptaki kanallardan dolaştırılır.

Hava soğutmalı sistemler: Bu tip soğutma sistemlerinde, plastikten ısıyı uzaklaştırmak için kalıba basınçlı hava üflenir. Hava soğutmalı sistemler, su soğutmalı sistemlerden daha az yaygındır ancak suyun bulunmadığı veya su bazlı soğutmanın kalıba veya ürüne zarar verebileceği durumlarda kullanılabilir.

Yağ soğutmalı sistemler: Bu tip soğutma sisteminde, plastikten ısıyı uzaklaştırmak için yağ gibi bir ısı transfer sıvısı kalıp içinde dolaştırılır.

Yağ soğutmalı sistemler, su soğutmalı sistemlerden daha az yaygındır ancak çok yüksek sıcaklıkların gerekli olduğu durumlarda kullanılabilir.

Soğutulmuş su sistemleri: Bazı durumlarda, soğutma işlemi sırasında daha hassas sıcaklık kontrolü sağlamak için normal su yerine soğutulmuş su kullanılabilir.

Genel olarak, plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılan soğutma sisteminin türü, parçanın boyutu ve karmaşıklığı, kullanılan plastiğin özellikleri ve istenen soğutma hızı gibi çeşitli faktörlere bağlı olacaktır. İyi tasarlanmış bir soğutma sistemi, döngü süresini azaltmaya, parça kalitesini iyileştirmeye ve üretim verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplamada, su soğutmalı sistemler en yaygın kullanılan soğutma sistemi türüdür. Bu sistemler, erimiş plastikten ısıyı uzaklaştırmak ve katılaşmasına yardımcı olmak için kalıp içinde bir dizi su kanalı kullanır.

Soğutma sisteminde kullanılan su tipik olarak kullanılan plastiğin erime noktasından daha düşük bir sıcaklığa soğutulur. Soğutulmuş su daha sonra kalıptaki kanallardan dolaştırılır, erimiş plastikten ısı emilir ve uzaklaştırılır.

Plastik enjeksiyon kalıplamada su soğutmalı bir sistem kullanmanın çeşitli avantajları vardır. Önemli bir avantaj, su soğutmalı sistemlerin çok hassas sıcaklık kontrolü sunabilmesidir, bu da tutarlı parça kalitesinin sağlanmasına ve kusur riskinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Su soğutmalı sistemler, soğutma sürecini hızlandırarak ve parçaların daha hızlı çıkarılmasını sağlayarak döngü süresini azaltmaya da yardımcı olabilir. Bununla birlikte, su soğutmalı sistemlerin bazı potansiyel dezavantajları da vardır. Pahalı olabilen ve her yerde bulunmayabilen sürekli bir su kaynağı gerektirirler. Su bazlı soğutma, uygun şekilde muhafaza edilmezse, kalıpta korozyon veya diğer hasar riskini de artırabilir.

Genel olarak, su soğutmalı sistemler plastik enjeksiyon kalıplama için yaygın olarak kullanılan ve etkili bir soğutma seçeneğidir. Ancak, su soğutmalı bir sistemin en iyi seçenek olup olmadığını belirlemek için belirli bir üretim sürecinin özel ihtiyaçlarını dikkatle değerlendirmek önemlidir. Plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma işlemi, kalıbın çeşitli kısımlarına yerleştirilen deliklerden sürekli su akışı sağlanarak gerçekleştirilir.

Soğutma sıcaklığı, üretilen parçanın boyutu, şekli ve kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Şekil 3.12'de, çalışma yapılacak olan plastic seat rib (PSR) parçasına ait bir örnek soğutma kanalı görüntüsü verilmiştir.

Kalıbın tasarımı soğutmanın verimi açısından oldukça önemli bir parametredir. İyi bir soğutma sağlanması sadece soğutma suyu sıcaklığına ve kalıp içerisinden geçen soğutma suyunun debisine bağlı değil, önemli ölçüde kalıptaki soğutma sistemi tasarımına da bağlıdır. Kalıbın soğutma tasarımı homojen bir yapıya sahip olmalıdır. Homojen soğutma, kalıbı soğutmakla görevli akışkan malzemenin, kalıba girdiği ve kalıptan çıktığı noktalar arasında oluşan sıcaklık farklarını azaltmak anlamına gelmektedir.

Soğutma ortamının kalıp duvarında yaklaşık üniform bir sıcaklık profilinin oluşumunu sağlayacak şekilde olması gereklidir (Hastek Plastik Sistemleri, 2022).

Soğutma suyunun temizliği, soğutma sisteminin sağlıklı ve etkili bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir. Soğutma suyu, zaman içinde oksitlenme yaparak kanalların içinde çürümeye neden olabilir. Bu nedenle, uygun önlemler alınmalı ve uygun su temizliği sağlanmalıdır.

Paslanmaz çelik kullanımı, soğutma suyunun kanalları çürütmesini önlemek için avantaj sağlar. Ayrıca, soğutma suyunun kirlerden ve kireçten arındırılmış olması da önemlidir. Su içinde bulunan kir ve kireç, zamanla soğutma kanallarının köşelerinde ve birleşme noktalarında birikebilir ve tıkanmalara neden olabilir. Özellikle soğutma kanal çapları küçük ve kanallar kalıp içinde çok fazla dolaşıyorsa, zamanla kanal çaplarının azalması ve tıkanmalar kaçınılmaz hale gelebilir.

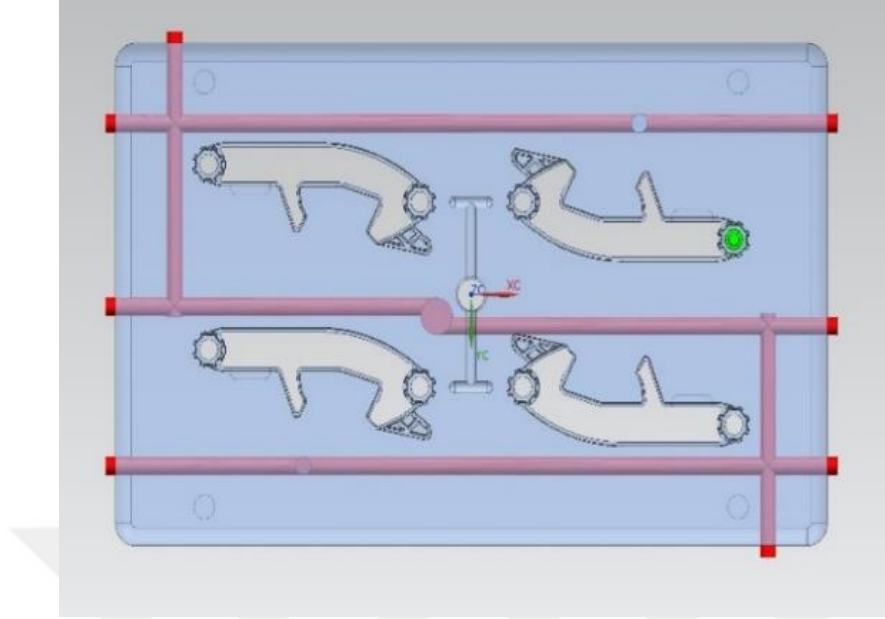
Soğutma kanallarının tıkanması, daha sık kalıp bakımı gerektirir ve bakım süresini uzatır, böylece gereksiz maliyet artışına neden olur. Pas ve kireç tabakası, soğutma suyundan kalıp sıcaklığının doğru bir şekilde aktarılmasını engelleyerek soğutma sisteminin verimini düşürebilir.

Soğutma sisteminin verimliliğini artırmak için, tortu ve kireç birikimini önlemek önemlidir. Bu amaçla, soğutma suyuna kum filtresi ve su yumuşatma cihazları gibi önleyici önlemler eklenmelidir. Ayrıca, suyun pH dengesini kontrol etmek için pH kontrolü ve dozajlama pompaları kullanılabilir (Abalı ve Koçak, 2005).

Plastik hacim kalıplarında suyun etkili olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba ve kalıplanan parçaya zarar verdiği durumlarda, basınçlı havayla soğutma işlemi tercih edilebilir. Hava ile yapılan soğutmanın etkisi su soğutmalı sistemlere göre daha yavaş olabilir. Bu nedenle, ince duvarlı parçalarda ve kalıp sıcaklığının hızlı bir şekilde değişmesinin istenmediği kalıplama işlemlerinde basınçlı hava ile soğutma kullanılabilir.

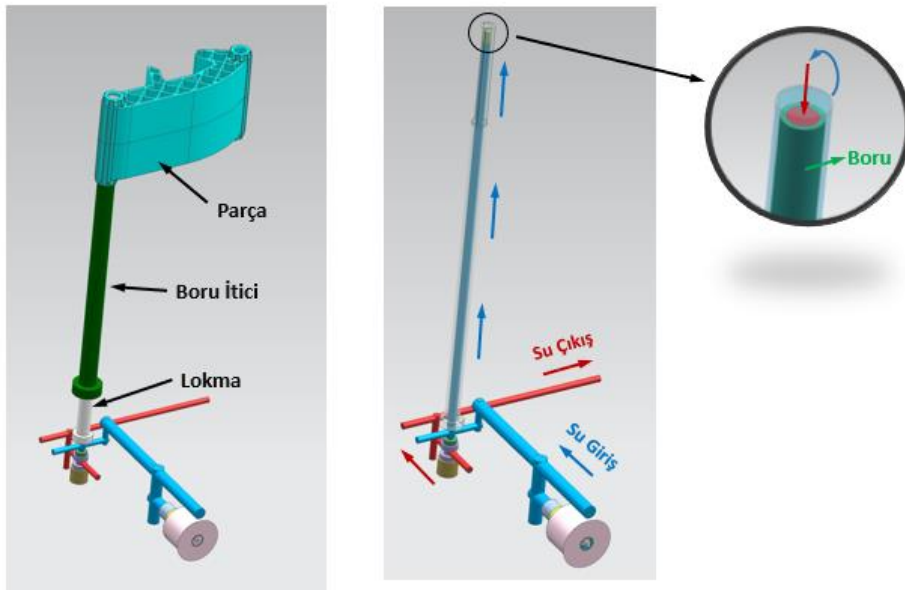
Hava soğutması, su soğutmalı sistemlere göre daha az etkili bir soğutma yöntemidir. Ancak su kullanımının mümkün olmadığı veya plastik malzemeye su temasının uygun olmadığı durumlarda, basınçlı hava ile soğutma etkili bir alternatif olabilir. Özellikle parçaların ince duvarlara sahip olduğu ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesinin istenmediği durumlarda tercih edilebilir. Bu sayede kalıp ve parçaların zarar görme riski azaltılmış olur (Hastek Plastik Sistemleri, 2022).

3.7.1. Soğutma kanalları



Şekil 3.12. PSR parçasına ait kalıpta soğutma kanalları

Soğutma kanalları, plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan ve plastik malzemenin kalıptan çıkarken şeklini korumasına yardımcı olan kanallardır. Plastik enjeksiyon kalıbında, plastik malzeme kalıba enjekte edildikten sonra, kalıp içinde şekil alır ve soğumaya başlar. Soğutma kanalları, kalıbın çeşitli bölgelerinde yer alarak malzemenin soğumasını hızlandırır ve homojen bir şekilde soğutulmasını sağlar.



Şekil 3.13. Soğutma kanalları iç kesit görüntüsü

Soğutma kanalları, kalıbın tasarımında dikkatlice hesaplanmalıdır. Kanalların doğru boyutlandırılması, plastik malzemenin homojen bir şekilde soğutulmasını sağlar ve kalıp çıkışında ürünün kalitesini artırır. Soğutma kanalları aynı zamanda kalıbın ömrünü de artırır, çünkü daha iyi soğutma, malzemenin kalıbın içinde yapışmasını önler ve aşınmayı azaltır.

Soğutma kanalları genellikle kalıp tasarımında özel olarak yerleştirilir ve kanalların sayısı, boyutu ve konumu, ürünün şekline ve büyüklüğüne göre belirlenir. Bazı durumlarda, soğutma kanalları kalıp içinde dolaşarak, diğer durumlarda ise kalıp çekirdeklerine yerleştirilerek plastik malzemenin soğuması sağlanır.

Soğutma kanalı kesit alanı, kanalın içinden geçen soğutma suyunun miktarını ve hızını etkiler. Bu da plastik malzemenin soğumasını ve şekil almasını etkiler.

Soğutma kanalı kesit alanı, kanalın boyutlarına ve şekline bağlı olarak değişir. Kanalın daha geniş veya daha dar olması, soğutma suyunun akış hızını etkiler. Örneğin, daha geniş bir kanal, daha fazla soğutma suyu akışına izin verirken, daha dar bir kanal daha yüksek bir akış hızı sağlar.

Şekil 3.13' de PSR parçasına ait soğutma kanalının iç kesit görüntüsü görülmektedir.

Su Giriş Kesit Alanı: 7,07 mm²

Su Çıkış Kesit Alanı: 7,07 mm² 'dir.



4. MALZEME / METOD

Bu çalışmanın amacı, plastik enjeksiyon üretiminde kalıp sıcaklığının önemini vurgulamaktır. Kalıp sıcaklığı kullanılan hammaddeye, parça geometrisi ve boyutuna, parçanın görsel-fonksiyonel oluşuna göre değişiklik göstermektedir. Bu değişkenliklere göz önünde bulundurularak proje başlangıcında ürün denemeleri esnasında parça için özel parametreler belirlenir. Kalıp sıcaklığı da bu parametreler arasındadır.

Bizim çalışmamızda ele aldığımız PSR ürünü fonksiyonel bir ürün olarak kullanılan otomotiv parçasıdır. Araç içinde koltuğun alt kısmında kullanılmaktadır.

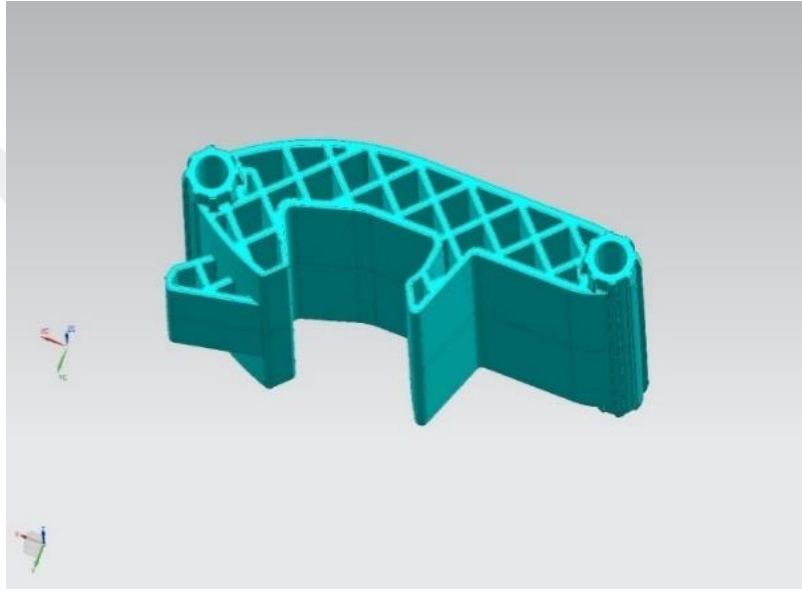
Bu üründe yaşanan kronik sorun şekil 4.1 de parça datasında görünen delik kısımlarındaki ölçüsel hatadır. Bu problemin yaşanmasının başlıca nedeni kalıp sıcaklığının olması gereken değerde olmamasıdır. Parça yaşanan uygunsuzluklar nedeni ile kalıba su kanalları açılarak parçanın üretimi soğuk su bağlı şekilde yapılmaktadır. Kalıp soğuk su bağlı olarak ortalama 50°C sıcaklığında çalışmaktadır. Fakat zaman zaman su borularında tıkanmalar yaşanmakta olup bu durum da tıkanan gözdeki kalıp sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda da o parça hatalı üretilmektedir. Parçanın soğuk su bağlı şekilde üretilmesi hızlı bir şekilde soğumasına yol açmaktadır. Literatüre bakıldığında yavaş soğutmanın parçanın kristal yapısını iyileştirdiği görülmektedir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda plastik malzemelerin yavaş soğutulması daha az gerilim, çarpılama, pürüzsüz yüzey, daha iyi mekanik özellikler gibi etkileri olduğundan tercih sebebidir. Fakat bizim parçamız soğutma sistemi olmadığından delik kısmında yüksek çekme nedeni ile hatalı üretilmektedir. Aynı zamanda soğutma sistemi kullanılmaması yavaş üretim hızına neden olduğundan seri üretime uygun değildir ve daha maliyetlidir.

Yine yapılan literatür araştırması sonucu hızlı soğutma yüzey kusurları, düşük mekanik özellikler, çarpılma gibi olumsuz etkilere sebep olabilir. Firmada PSR parçası üretilirken soğutma sistemi kullanılmadığında hatalı parça oluşacağının mecburen soğutma sistemi kullanılarak üretim yapılmaktadır.

Bu durumda üretici firma hızlı soğutmanın parçanın kristal yapısında olumsuz bir etkisi olup olmadığını görmek istemiştir. Bu çalışmada soğutma sistemi kullanımının parçanın özelliklerini ne kadar etkilediği ölçülmek istenmiştir. Bu nedenle soğutma sistemi bağılyken ve değılken iki farklı üretim yapılmıştır.

Değışken olan sadece soğutma sisteminin varlığıdır. Bütün parametreler sabit bırakılmıştır. Yapılan üretimler sonucu mekanik özellikler, kristal yapısında ki değışiklikler ve boyutsal değışimi ölçmek için bir dizi test yapılmıştır. Yapılan testler ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir. Test sonuçları bölüm 5 de irdelenmiştir.



Şekil 4.1. PSR parçası datası

4.1. Plastik Parçanın Hammaddesi

Çalışmadaki plastik parçanın hammaddesi RESINEX-BMY firmasına ait PP malzemedir. Bu malzemeye ait genel özellikler tablo 4.1 de verilmiştir.

Polipropilen, mükemmel mekanik özellikleri, kimyasal direnci ve düşük maliyeti nedeniyle çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan termoplastik bir polimerdir.

Polimerlerin yaygın olarak uygulanmasıyla, yalnızca makro özellikler iyileştirilemez, aynı zamanda mikroskobik davranışlar da daha derin bir düzeyde araştırılmalıdır. Ayrıca, mikroskobik davranışların daha iyi anlaşılması, özelliklerin iyileştirilmesi için de faydalı olabilir. Mikroskobik davranışlardan biri, soğuma hızıyla yakından ilişkili olan kristalleşme davranışdır (Li ve arkadaşları, 2004).

Tablo 4.1. Poliprepilen PPC 7642 hammaddesi genel özellikleri

Özellikler	Birim	Değer	Test Yöntemi
Eriyik Akış İndeksi (230 °C/2.16 kg)	G/10 Min	18	ISO 1133
Eğme Modülü	Mpa	1390	ISO 178
İzod Darbe Gücü (23 °C)	KJ/M ²	9.8	ISO 180/1A
Yoğunluk	G/Cm ³	0.9	ISO 1183-1
Sertlik	Shore D	55	50411
Ergime Isısı	°C	165	50568
Yanma Hızı	mm/Dk	100	ISO 3795

Polipropilenin kristalleşme davranışı, özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür ve işleme sırasındaki soğuma hızı, malzemenin nihai mikro yapısını ve özelliklerini belirlemede önemli bir rol oynar.

Polipropilen hızla soğutulduğunda, moleküllerin kendilerini düzenli bir kristal yapıda düzenlemek için yeterli zamanları olmaz. Sonuç olarak, malzeme yüksek derecede şekilsizliğe sahiptir, bu da daha düşük sertliğe ve çekme mukavemetinde azalmaya yol açar. Öte yandan, polipropilen yavaşça soğutulduğunda, moleküllerin kendilerini daha düzenli bir kristal yapı halinde düzenlemek için daha fazla zamanları olur. Sonuç olarak, malzeme daha yüksek sertliğe, çekme mukavemetine sahip olur.

Soğutma hızı aynı zamanda malzemedeki kristal bölgelerin boyutunu ve dağılımını da etkiler. Polipropilen hızla soğutulduğunda, kristalli bölgeler daha küçük olma ve daha rastgele dağılma eğilimindedir. Tersine, polipropilen yavaşça soğutulduğunda, kristalli bölgeler daha büyük olma ve daha düzgün dağılma eğilimindedir.

Soğutma hızına ek olarak, polimerizasyon derecesi, moleküler ağırlık dağılımı ve işleme koşulları gibi diğer faktörler de polipropilenin kristalleşme davranışını etkileyebilir. Bu nedenle, nihai üründe istenen mikro yapı ve özellikleri elde etmek için işleme sırasında bu faktörlerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi önemlidir.

4.2. Parametreler

Enjeksiyon işlemi yapılan makine HAITAN marka yatay enjeksiyon makinesidir. Makine tonajı 250 ton dur. Tablo 4.2’de PSR parçasının üretimine ait parametreler verilmiştir. Parçanın cycle time’ı 88 saniyedir. Parametreler soğutma sistemi bağlıyken ve değilken yapılan üretimlerde sabit tutulmuştur. PSR parçasının kalıbına ait bilgiler Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.2. Enjeksiyon işleminde kullanılan parametreler

Parametreler	Pozisyon1	Pozisyon2	Pozisyon3	Pozisyon4	Pozisyon5
Çalışma sıcaklığı (°c)	200	190	180	175	170
Enjeksiyon Basıncı (Bar)	200	160	120	80	40
Enjeksiyon Zamanı (S)	25 Saniye				
Tutma Basıncı (Bar)	30	30	30	30	30
Tutma Süresi (S)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Soğuma Süresi (S)	55 Saniye				

Soğutma sistemi aktifken ve değilken yapılan üretim sonucunda her iki üretimden de yapılacak olan testler için 5 er adet parça alınmıştır.

Tablo 4.3. PSR parçasının kalıbına ait bilgiler

	Kalıp Bilgileri
Ağırlık	345 kg
Boyut	440x360x378 cm
Göz Sayısı	4
Malzeme	2344 Sıcak iş çeliği

4.3. Boyutsal Ölçüm

Plastik enjeksiyon üretiminden sonra boyutsal ölçüm, üretilen plastik parçaların boyutlarının ve geometrik toleranslarının doğrulanması sürecinde kritik bir adımdır.

Bu ölçümler, parçaların tasarım özelliklerine uygunluğunu kontrol etmek ve kalite standartlarını karşılamak için kullanılır. Çalışmada ölçüm yapılacak yere göre koordinat ölçme makinesi (CMM) ve dijital kumpas kullanılmıştır.

Plastik enjeksiyon üretimi sonrası boyutsal ölçümler, parçaların doğru ölçülerde ve geometrik toleranslara uygun olarak üretildiğini doğrulamak için önemli bir kalite kontrol adımıdır. Bu ölçümler, üretim sürecindeki sapmaları tespit etmek, hatalı parçaları tespit etmek için kullanılır.

4.4. Sertlik Testi

Shore sertlik değeri, plastik veya esnek malzemelerin sertlik seviyesini belirlemek için kullanılan bir ölçüm yöntemidir. Shore sertlik ölçümü, elastomerler, kauçuklar, polimerler, kumaşlar ve süngerler gibi malzemelerin sertliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Ölçümlerde en sık Shore-A ve Shore-D skalaları kullanılır, ve kullanılan batıcı uç ve uygulanan ağırlık değerlerine göre sınıflandırılır.

Shore-A yöntemi, elastomerler, vinil, kauçuk, deri, PVC, silikon kauçuk, teflon, neopren gibi yumuşak malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılırken, Shore-D yöntemi daha rijit malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır. Shore-D yöntemi, polyester, ABS, naylon, poliüretan, poliamid, kevlar, akrilik, ahşap ve polistren gibi malzemelerin sertlik değerlerini belirlemek için kullanılır. Mühendislik plastiklerinin sertlik ölçümlerinde genellikle Shore-D skalası tercih edilir.

Sertlik ölçümünde, sertlik ucu malzemeye ne kadar nüfuz ettiği ölçülür. Dalma ucu, uluslararası standartlara uygun yaylı bir sistemle hareket ettirilir. Malzemenin sertlik değeri arttıkça, dalma derinliği azalırken uygulanan kuvvet de artar.

Farklı şekillerdeki sertlik uçları ve yay karakteristikleri, farklı Shore sertlik skalalarına uygun olarak tasarlanır. En yaygın kullanılan Shore sertlik skalaları Shore-A ve Shore-D'dir. Shore-A skalası genellikle yumuşak elastomer malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılırken, Shore-D skalası daha rijit termoplastik malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır. Bununla birlikte, özel uygulamalar için farklı sertlik skalaları da kullanılabilir. Örneğin, Shore-B, C, 0, 00, 000 ve D0 gibi skalalar belirli malzemelerin özelliklerini daha hassas bir şekilde değerlendirmek için kullanılabilir.

Shore skalası geniş bir sertlik aralığını kapsar ve çeşitli malzemelerin sertlik testlerinin uygulama alanlarını kapsar. Bu sayede, malzemelerin farklı sertlik özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak mümkün olur.

Plastik malzemelerde sertlik ölçümleri genellikle Shore ve IRHD yöntemleriyle yapılır. Bu yöntemlerde malzeme üzerinde kalıcı bir deformasyon oluşmadığı için

sertlik, ucun malzemeye batma miktarı üzerinden hesaplanır. Çok sert plastiklerde ise bazen Rockwell yöntemi kullanılabilir.

Shore-A ve Shore-D yöntemlerinin yanı sıra Shore-B, Shore-C, Shore-E, Shore-M, Shore-O, Shore-OO gibi yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemler, ölçülecek malzemenin özelliklerine göre seçilir. Ölçümde kullanılan cihazın iğnesinin sivrilik açısı, iğne kalınlığı ve yay kuvvetine bağlı olarak yöntemler farklılık gösterebilir.

Sertlik ölçümleri genellikle ASTM D2240 standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Referans ve numunenin aynı Shore birimine sahip olması önemlidir. Yani biri Shore-A ile ölçülürken diğeri Shore-D ile ölçülüp karşılaştırılmamalıdır. Shoremetre cihazı, diğeri adıyla Durometre olarak da bilinir.

Sertlik, malzeme özelliği olduğu kadar sıcaklığın da bir fonksiyonudur, bu yüzden referans ve numunenin aynı ortam sıcaklığında değerlendirilmesi daha doğru sonuçlar verir. Genellikle ürünün sertlik değeri, düz bir zemine ~3mm kalınlığında ve numunenin zemine sert bir yüzeye yapışık olduğu durumda 15 saniye boyunca uygulanan kuvvete bağlıdır. Shore'un birimi yoktur, boyutsuzdur.

Özetlemek gerekirse, Shore ve IRHD yöntemleri plastik malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılır ve farklı Shore skalaları malzeme türüne ve özelliklerine bağlı olarak seçilir. Doğru sertlik ölçümleri için standartlara uygun olarak kalibrasyon yapılmalı ve referans ve numune aynı sıcaklıkta değerlendirilmelidir (Aldemir plastik, kalıp ve makine, 2022).

4.5. XRD Analizi

X-ışını kırınımı (XRD) analizi, malzemelerin atomik ve moleküler yapılarını incelemek için kullanılan tercih edilen bir tekniktir. XRD analizinde, bir X-ışınları demeti bir numuneye yönlendirilir ve elde edilen kırınım modeli, malzemedeki atomların düzenini belirlemek için analiz edilir.

Kırınım modeli, X-ışınları numunenin atomlarındaki elektronlarla etkileşime girerken üretilir. Kırınım modeli, numunenin atomik yapısına özgüdür ve malzemedeki atomların düzeninin yanı sıra kristal bölgelerin boyutu ve şekli hakkında bilgi sağlar.

XRD analizi, her bir kristal yapı benzersiz bir kırınım modeli ürettiğinden, bir malzemenin kristal yapısını belirlemek için kullanılabilir. Ayrıca, kristallik derecesini, safsızlıkların varlığını ve malzemenin tane boyutunu belirlemek için de kullanılabilir.

Genel olarak, XRD analizi, malzemelerin atomik ve moleküler yapısını analiz etmek için güçlü ve çok yönlü bir tekniktir ve çeşitli uygulamalarda malzemelerin özelliklerini ve davranışlarını anlamak için değerli bilgiler sağlar.

Polipropilenin işlenmesi sırasında kullanılan soğutma sistemi, kristalleşme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Polipropilen, yarı kristalli bir polimerdir, yani yapısında hem kristalli hem de amorf bölgeler içerir. Soğutma hızı kristal bölgelerin boyutunu, şeklini ve yönünü etkileyebilir ve bu da malzemenin mekanik, termal ve bariyer özelliklerini etkileyebilir.

İşleme sırasındaki yavaş soğuma hızları, daha büyük ve daha iyi tanımlanmış kristal bölgelere yol açarak daha yüksek kristallik seviyeleri ve sertlik ve dayanıklılık gibi daha iyi mekanik özellikler sağlar. Öte yandan, hızlı soğuma hızları daha küçük ve daha rastgele yönlendirilmiş kristal bölgelerine yol açarak daha düşük kristallik seviyelerine ve daha zayıf mekanik özelliklere yol açabilir.

X ışını kırınımı (XRD) analizi, farklı soğutma hızlarına sahip polipropilen malzemelerin kristal yapısını ve kristallik derecesini incelemek için sıklıkla kullanılır. XRD analizi, kristal yapı, kristal bölgelerin boyutu ve şekli ve kristallik derecesi hakkında bilgi sağlayabilir.

Örneğin, Journal of Applied Polymer Science dergisinde yayınlanan bir çalışma, soğutma hızının polipropilenin kristalleşme davranışı üzerindeki etkisini araştırdı. Yazarlar, XRD modelindeki değişikliklerle gösterildiği gibi, polipropilen numunelerinin kristallik derecesinde ve farklı soğutma hızlarında kristal yöneliminde değişiklikler gözlemlediler.

Genel olarak, polipropilenin işlenmesi sırasında kullanılan soğutma sistemi, kristalleşme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve XRD analizi, farklı soğutma hızlarına sahip polipropilen malzemelerin kristal yapısını ve kristallik derecesini incelemek için kullanılabilir.

X-ışını kırınımı (XRD) analizi, polipropilenin kristal yapısını ve morfolojisini incelemek için yararlı bir tekniktir. XRD analizinde, bir X-ışını demeti numuneye yönlendirilir ve elde edilen kırınım modeli, malzemedeki atomların düzenini belirlemek için analiz edilir. Polipropilenin XRD paterni tipik olarak sırasıyla (110) ve (040) düzlemlerine karşılık gelen yaklaşık 14° ve 17° 'lik 2θ açılarında iki ana tepe noktası gösterir. Bu tepe noktaları, polipropilenin, zincirlerin altıgen bir sıkı

paketlenmiş kafes içinde düzenlendiği, ağırlıklı olarak kristal bir yapıya sahip olduğunu gösterir.

Kırınım tepe noktalarının yoğunluğu, polipropilen örneğinin kristallik derecesi hakkında bilgi sağlayabilir. Kırınım tepe noktalarının daha yüksek bir yoğunluğu, daha yüksek bir kristallik derecesini gösterir. Bununla birlikte, XRD modelinin, numunedeki diğer fazların veya safsızlıkların varlığına karşılık gelen ek tepe noktaları da içerebileceğini not etmek önemlidir.

Parçanın kontrolsüz bir şekilde soğutulması veya su soğutmalı sistem kullanılarak yapılan soğutma, polipropilen gibi polimerlerin kristalleşmesi ve son özellikleri üzerinde farklı etkilere sahiptir. Kontrolsüz soğutma, malzemenin doğal olarak soğuması anlamına gelir ve kristalizasyon hızı kontrol edilemez. Bu nedenle, kontrolsüz soğutulan polipropilen örnekleri, genellikle daha düşük bir kristalinlik oranına sahip olma eğilimindedir. Ayrıca, kontrolsüz soğutma ile üretilen parça örnekleri, daha düzensiz bir kristal yapısına sahip olabilirler.

Diğer yandan, soğutma sistemi kullanılarak soğutulan parça örnekleri, kontrol edilen bir soğutma hızına sahip olur. Bu nedenle, soğutma sistemi kullanılarak üretilen parçalar, daha yüksek bir kristalinlik oranına sahip olabilirler. Ayrıca, daha düzenli bir kristal yapısına sahip olmaları da mümkündür.

Bu farklılıklar, polipropilen örneklerinin mekanik özelliklerinde de farklılıklara neden olabilir. Kontrolsüz soğutulan parçalar, genellikle daha düşük bir mukavemet ve sertlik gösterirken, soğutma sistemi kullanılarak üretilen parçalar daha yüksek bir mukavemet ve sertlik gösterebilirler.

Özetle, kontrolsüz soğutulan ve soğutma sistemi kullanılarak soğutulan polipropilen parçalar, kristal yapısı, kristalinlik oranı ve mekanik özellikleri açısından farklılıklar gösterebilir. Bu farklılıkların seviyesini ortaya koymak için her iki üretim sonucu XRD analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu bölüm 5 de irdelenmiştir.

4.6. Moldflow Analizi

Kalıp akış analizi, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında bir kalıp boşluğu içindeki plastik malzemenin akışını simüle etmek ve analiz etmek için enjeksiyon kalıplamada kullanılan bir işlemdir. Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında plastik malzemenin

davranışı hakkında bilgi sağlayan ve üretim süreci başlamadan önce olası sorunları belirlemeye yardımcı olan bilgisayar destekli bir analizdir.

Analiz, kalıbın 3 boyutlu bir modelini oluşturmayı ve ardından kalıba enjekte edilen plastik malzemenin akışını simüle etmeyi içerir. Bu simülasyon, plastiğin kalıpta nasıl akacağını ve nasıl katılaşacağını tahmin etmek için sıcaklık, basınç, viskozite ve soğuma süresi gibi çeşitli faktörleri hesaba katar. Bu, tasarımcıların ve mühendislerin mümkün olan en iyi sonuç için kalıp tasarımını ve enjeksiyon kalıplama sürecini optimize etmelerine yardımcı olur.

Kalıp akışı analizi, kaynak hatları, hava tuzakları ve çöküntü işaretleri gibi potansiyel sorunları belirlemek ve geçit konumu ve boyutunu, yolluk tasarımını ve soğutma kanalı yerleşimini optimize etmek için kullanılabilir. Üreticiler bu analizi kullanarak kusur riskini azaltabilir ve nihai ürünün kalitesini ve tutarlılığını iyileştirerek üretim maliyetlerinin düşmesine ve verimliliğin artmasına yol açabilir.

Moldflow analizinin yorumlanması, simülasyonun sonuçlarının analiz edilmesini ve enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında plastik malzemenin kalıbın içinde nasıl aktığını ve katılaştığını anlamayı içerir. Moldflow analizi sırasında tipik olarak analiz edilen bazı temel parametreler şunlardır:

Doldurma Süresi: Doldurma süresi, plastik malzemenin tüm kalıp boşluğunu doldurması için geçen süredir. Daha uzun bir doldurma süresi, malzemenin çok viskoz olduğunu veya enjeksiyon hızının çok yavaş olduğunu gösterebilir, bu da akış çizgileri veya boşluklar gibi kusurlara neden olabilir.

Basınç: Basınç, kalıp boşluğunu plastik malzeme ile doldurmak için gereken kuvveti gösterir. Yüksek basınç, yanıp sönmeye, eğilme veya kısa atışlar gibi kusurlara neden olabilirken, düşük basınç, eksik doldurma veya batma izleriyle sonuçlanabilir.

Sıcaklık: Plastik malzemenin ve kalıp boşluğunun sıcaklığı, enjeksiyon kalıplama işleminin başarısı için kritik öneme sahiptir. Yüksek sıcaklıklar malzemenin bozulmasına neden olurken, düşük sıcaklıklar zayıf akışa ve soğumaya neden olabilir.

Eğilme: Eğilme, eşit olmayan soğuma nedeniyle kalıplanmış parçanın deformasyonudur. Genellikle zayıf kalıp tasarımından veya yetersiz soğutmadan kaynaklanır. Kalıp akışı analizi, parçanın bükülmeye daha yatkın olan alanlarını belirlemeye yardımcı olabilir ve bu sorunu azaltmak için tasarım değişiklikleri önerebilir.

Akış Çizgileri: Akış çizgileri, plastik malzeme akışının buluşup katılaşmasından kaynaklanan parçanın yüzeyindeki işaretler veya çizgilerdir. Bu çizgiler estetik bir sorun olabilir veya parçayı zayıflatabilir, bu nedenle bunları en aza indirmek önemlidir.

Üreticiler, bu parametreleri analiz ederek ve kalıp tasarımını ve enjeksiyon kalıplama sürecini buna göre ayarlayarak, mümkün olan en iyi sonuç için süreci optimize edebilir. Moldflow analizi, üretim süreci başlamadan önce potansiyel sorunları tahmin etmek için güçlü bir araç sağlayarak zamandan tasarruf sağlar ve deneme yanılma ile ilişkili maliyetleri azaltır.

Moldflow analizinin tahmin edebileceği önemli faktörlerden biri de son kısımdaki hacimsel çekme farklarıdır. Hacimsel büzülme, plastik malzemenin kalıp içinde soğudukça ve katılaştıkça hacmindeki değişimi ifade eder.

Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında, erimiş plastik malzeme yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilir. Plastik malzeme soğuyup katılaştıkça sıcaklık ve basıncın düşmesinden dolayı hacimsel büzölmeye uğrar. Bu büzölme son kısımda eğilme, batma izleri ve boyutsal yanlışlıklar gibi sorunlara neden olabilir.

Moldflow analizi, parçanın farklı alanlarındaki hacimsel çekme farklılıklarını tahmin edebilir ve bu da kalıp tasarımı ve işleme koşullarını optimize etmeye yardımcı olabilir.

Kalıp tasarımını ve işleme koşullarını ayarlayarak, son parçadaki hacimsel çekme farklarını en aza indirmek mümkündür, bu da daha iyi parça kalitesi ve boyutsal doğruluk sağlar.

Genel olarak, Moldflow analizi, enjeksiyon kalıplama sürecini optimize etmek için güçlü bir araçtır ve üreticilerin istenen parça kalitesini elde etmek için gereken fiziksel deneme sayısını azaltarak zamandan ve paradan tasarruf etmesine yardımcı olabilir.

Bilgisayar destekli analiz çalışmalarında Moldflow Mold Adviser 6.0 ve Moldflow Part Adviser 6.0 programları kullanılmıştır. Bu programlar, katı modelleme programlarıyla oluşturulan modellerin enjeksiyon proses modellemesi için *.stl formatına dönüştürölerek kullanılabilir. Analiz sonucunda, program sayesinde parçanın basınç dağılımı, dolum süresi, basınç değişimleri, hava tuzakları ve yüzey kalitesi gibi özellikler gösterilebilir.

Programın kütüphanesinde plastik hammadde üreticilerinin teknik verileri bulunmaktadır, bu da çok sayıda ürünün bilgisine erişim sağlama imkanı sunar. Bu geniş veritabanı kullanılarak tasarlanan parçanın farklı hammadde seçenekleriyle üretildiğinde nasıl bir sonuç elde edileceği incelenebilir. Ayrıca, program üzerinde kayıtlara ilave veri ekleme seçeneği bulunur, bu sayede listede bulunmayan bir hammaddeyle de çalışma yapma olanağı vardır.

Moldflow programları, enjeksiyon kalıplama sürecinin analizini yapmak için kullanılan güçlü araçlardır. Tasarımların optimize edilmesine yardımcı olur, malzeme seçiminde rehberlik eder ve enjeksiyon prosesinin kalitesini değerlendirmeye olanak sağlar. Bu şekilde, maliyetleri düşürmek, kaliteyi artırmak ve üretim süreçlerini iyileştirmek için önemli bilgiler elde edilebilir (Paksoy, 2008).

Soğutma sistemi kullanılarak ve kullanılmadan iki üretim yapılmıştır. Her iki üretim içinde moldflow analizi yapılarak enjeksiyon sonrası durum simüle edilmiştir. Moldflow analizi sonuçlar irdelenerek analiz bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



5. BULGULAR VE İRDELEME

5.1. Boyutsal Ölçüm Sonucu

Boyutsal ölçüm her iki üretimden de 2 şer adet numune alınarak yapılmıştır. Toplamda kritik olan 7 adet ölçü teknik resimdeki değerler baz alınarak ölçülmüştür. Tablo 5.1’de ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçüm yapılan noktaya göre ölçümler dijital kumpas ve CMM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarından da anlaşılacağı üzere soğutma sistemi kullanılmadan yapılan üretim sonucunda kritik ölçülerde (delik çapı) tolerans dışında küçük çıkmıştır. Soğutma sistemi kullanılmaması durumunda, plastik malzeme daha yavaş ve düzensiz bir şekilde soğur. Bu durumda, parça kalıp içinde daha uzun süre kalır ve sıcaklık dağılımı homojen olmaz. Bu, parçanın boyutsal olarak değişmesine neden olmaktadır.

Tablo 5.1. Yapılan boyutsal ölçüm sonuçları

Sample Name	Plastic Seat Rib (PSR)					Date	12.12.2022		
Sample Quantity	4								
Lab Temperature / Humidity	22 °C ± 2 °C / %50 ± %5					Measured	21 °C / %51		
No	Specification	Tolerance Limit		Measured Value				CMM	Caliper
		Min.	Max.	Product 1.1	Product 1.2	Product 2.1	Product 2.2		
1	65.80 - 0.3/+0	65.50	65.80	65,39	65.51	65.73	65.61		✓
2	65.80 - 0.3/+0	65.50	65.80	65,36	65.55	65.75	65.62		✓
3	8.1-0.1/+0	8.0	8.10	8.050	8.056	8.10	8.09	✓	
4	$\Phi 0.2 \pm 0.02$	0	0.2	0.121	0.155	0,2	0,2	✓	
5	106.4	105.53	107.27	106.12	106.18	107.25	106.63	✓	
6	7.9 +0.3/-0.12	7.78	8.20	7,65	7,8	8.19	8.15	✓	
7	83.78	83.07	84.49	83.04	83,79	84.37	84.06	✓	

Soğutma sistemi, plastik malzemenin kalıp içinde hızla soğumasını sağlayarak, istenen ölçülere ve boyutsal toleranslara ulaşılmasını destekler. Yapılan ölçüm analizi sonucu da soğutma sistemi kullanılarak yapılan üretim sonucu ölçümlerin hepsinin tolerans içinde olduğunu göstermektedir.

5.2. Sertlik Testi Sonucu

Polipropilen malzemelerin sertlik değeri, üretim yöntemi, soğutma hızı, kristal yapısı, ölçüm şartları ve ölçüm cihazının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Ancak genel olarak, kontrolsüz soğutulan polipropilen malzemelerin shore sertlik değeri daha düşük olabilir. Bu, malzeme kristallerinin daha büyük ve daha az sıkı olması nedeniyle olabilir. Hızlı soğutulan polipropilen malzemeler ise daha küçük ve daha sıkı kristaller oluşturarak daha yüksek shore sertlik değerlerine sahip olabilir.

Ancak, bu etkiler malzeme özelliklerine ve test koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, kesin sonuçlar elde etmek için kontrolsüz soğutulan ve hızlı soğutulan polipropilen malzemelerin aynı özellikleri taşıyan örneklerinin üretilmesi ve test edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, shore sertlik testi malzemenin yüzey sertliğini ölçen bir yöntemdir ve malzemenin tüm özelliklerini yansıtmayabilir. Bu nedenle, diğer test yöntemleri de kullanılabilir ve farklı sonuçlar elde edilebilir.

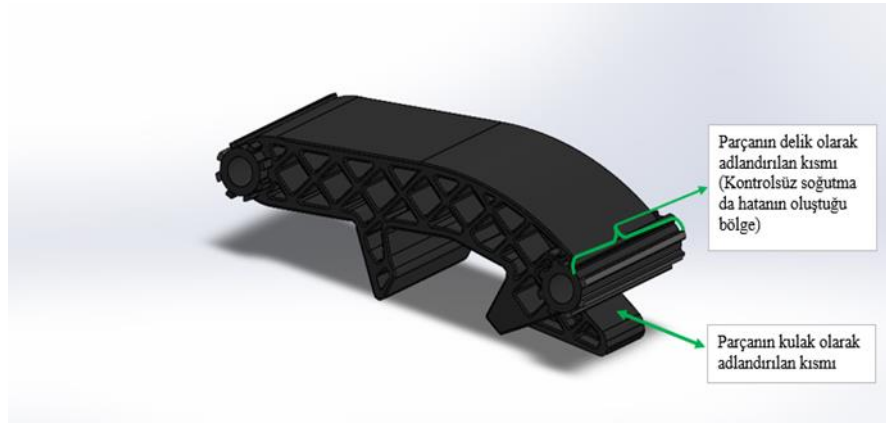
Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda her iki parçayada sertlik testi uygulanmıştır. 1. Üretim soğutma suyu bağlı değilken yapılan üretim. 2. Üretim soğutma suyu bağlıyken yapılan üretimdir. Tablo 5.2’de test sonuçları görülmektedir.

Shore sertlik ölçeği genellikle 0 ila 100 arasında bir değer alır. 5 Shore'luk bir sertlik değişimi, 5 birimlik bir fark anlamına gelir. Ancak, bu tür bir değişiklik genellikle görsel veya fiziksel olarak belirgin bir fark yaratmaz. Bu nedenle, 5 Shore'luk bir sertlik değişimi büyük bir değişim olarak kabul edilmez ve genellikle parça özelliklerinde göze çarpan bir fark yaratmaz. Ancak, her durumda, parçanın kullanım amacı ve gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Belirli bir uygulama için gereken sertlik toleransları, 5 Shore'luk bir değişimin önemli olabileceği durumlar olabilir. Özellikle, bazı hassas uygulamalarda, sertlik hassasiyeti daha yüksek olabilir ve daha küçük sertlik değişimleri bile önemli olabilir.

Tablo 5.2. Yapılan sertlik testi sonuçları

Yapılan Test	Test Metodu	Tolerans Aralığı	Bulunan Değerlerin Ortalaması
Sertlik	D Shore	1. Üretim	55 ±5.5
		2. Üretim	60 ±5.5

5.3. XRD Analiz Sonucu



Şekil 5.1. PSR parçasında XRD analizi yapılan kısımların gösterimi

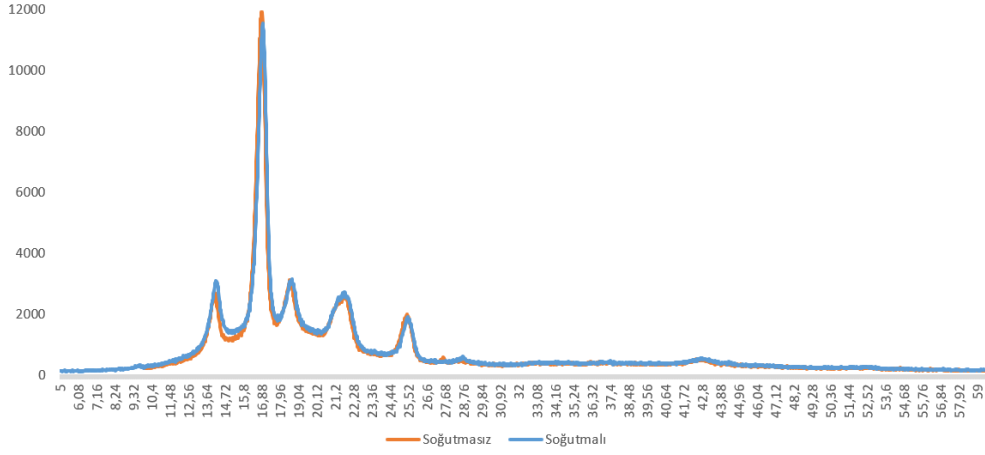
Polipropilen bir parçanın kontrolsüz ve hızlı soğutulması sonucu yapılan XRD analizinin parça geometrisiyle ilgisi, malzemenin kristalizasyon sürecindeki soğuma hızının malzeme geometrisine bağlı olarak değişmesi nedeniyle karmaşıktır.

Bir parçanın geometrisi, soğutma hızı ve kristalleşme sürecindeki sıcaklık farklılıklarına neden olur. Örneğin, ince bir parça daha hızlı soğutulurken, kalın bir parça daha yavaş soğutulur. Bu, kristal yapıların oluşum hızını ve kristal boyutlarını etkiler. XRD analizinde, kristal yapılarının oluşum hızı ve boyutları kristal diffraction paternlerine yansır.

Bununla birlikte, parça geometrisi sadece bir faktördür ve kristalizasyon sürecindeki diğer faktörler de sonuçları etkiler. Örneğin, kristalizasyon sıcaklığı, kristal oryantasyonu, kristal fazları vb. gibi diğer faktörler de sonuçları etkiler.

Sonuç olarak, bir parçanın geometrisi, kristalizasyon sürecindeki soğuma hızının malzeme geometrisine bağlı olarak değişmesi nedeniyle XRD analizi sonuçlarını etkileyebilir ancak sadece bir faktör olarak diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir.

Çalışmada yapılan XRD analizi parçaların iki bölgesinden alınarak yapılmıştır (bkz Şekil 5.1). PSR parçasının kulak kısmından alınan kesitlerin XRD analizi grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir. Soğutma sistemi kullanılmadan yapılan üretimin kulak ve delik kısımlarını karşılaştırsak kulak kısmı nispeten daha ince olduğundan delik kısmına göre daha hızlı soğuyacaktır fakat farklı kristal yapıların oluşmadığı görülmüştür.



Şekil 5.2. PSR parçasının kulak kısmından alınan kesitlerin XRD analiz grafiği

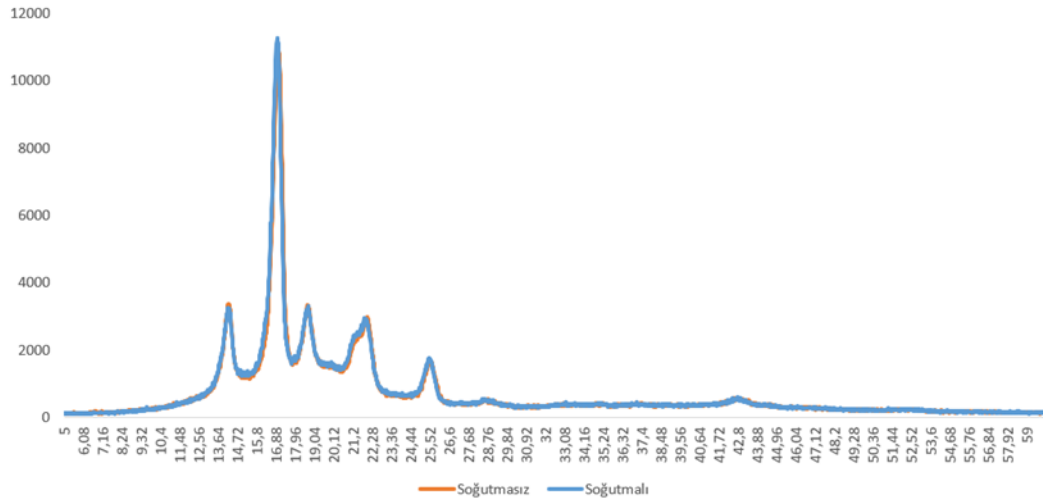
Polipropilen bir parçanın kontrolsüz soğutulması sonucu yapılan XRD analizinde farklı bölgelerde aynı kristal yapılarının oluşması, polipropilenin homojen bir yapıya sahip olmasıyla ilgilidir. Polipropilen, birçok kristal yapıyı içerebilen bir polimerdir, ancak çoğunlukla izotaktik polipropilen (iPP) kristalleri oluşur. Kontrolsüz soğutma, parçanın farklı bölgelerinde benzer soğutma hızlarına ve kristalleşme koşullarına neden olabilir, bu da benzer kristal yapılarının oluşmasına yol açar.

Plastic seat rib (PSR) parçasının delik kısmından alınan kesitlerin XRD analizi grafiği Şekil 5.3’de verilmiştir.

Hızlı soğutma işleminde parçanın homojen olarak soğuması beklenir. Soğutma sistemi kullanılan parçanın kulak ve delik kısımlarını da karşılaştıracak olursak, soğutma sistemi kullanılmayan üretime benzer olarak yeni kristal yapıların oluşmadığı görülmüştür.

Polipropilen bir parçanın hızlı soğutulması sonucu yapılan XRD analizinde, parçanın farklı bölgelerinde aynı kristal yapılarının oluşması beklenir. Hızlı soğutma, malzemenin daha hızlı kristalleşmesine ve daha homojen bir yapıya sahip olmasına neden olur. Bu da, farklı bölgelerin benzer kristal yapılarına sahip olmasına yol açar.

Bununla birlikte, bazı durumlarda, hızlı soğutma ile farklı bölgeler arasında farklı kristal yapılarının oluşması da mümkündür. Bu durum, soğutma hızının bölgeye bağlı olarak değişebileceği ve kristalizasyon koşullarının farklılığı nedeniyle oluşabilir. Bu nedenle, parçanın farklı bölgelerinde benzer veya farklı kristal yapıları oluşması, soğutma koşullarına ve parça geometrisine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5.3. PSR parçasının delik kısmından alınan kesitlerin XRD analiz grafiği

Yaptığımız çalışmada tek değişken faktör soğutma sisteminin varlığı olduğundan farklı kristal yapıları oluşturacak bir etken bulunmamaktadır.

Kontrolsüz soğutma ve hızlı soğutma yöntemleri polipropilen malzemenin kristal yapısını farklı şekillerde etkiler. Kontrolsüz soğutma yöntemi, polimerin yavaş ve doğal olarak soğumasını sağlar ve bu nedenle kristalleşme süreci daha yavaştır. Diğer yandan, hızlı soğutma yöntemi, polimerin hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlar ve bu nedenle kristalleşme süreci daha hızlıdır.

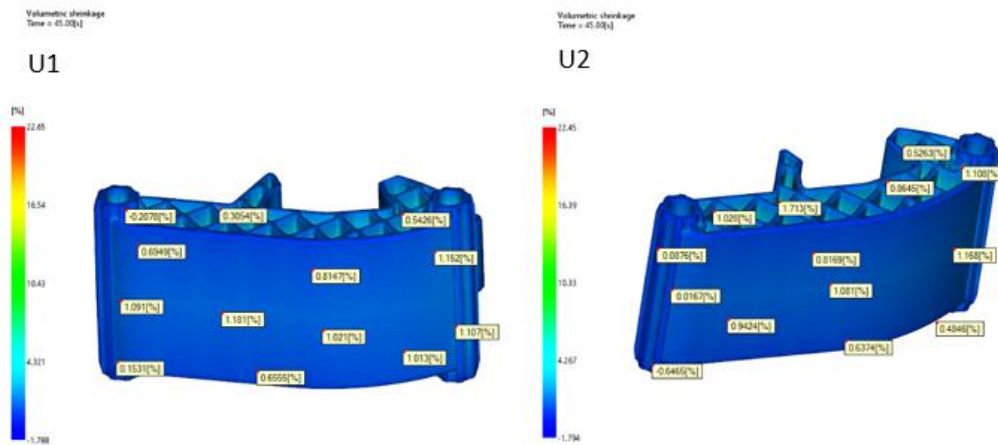
Ancak, XRD analizi, kristal yapıların varlığını ve kristal yapıların özelliklerini belirleyen bir tekniktir. XRD analizinde, malzeme örnekleri X-ışınlarına maruz bırakılır ve bu X-ışınları kristal yapılar tarafından saçılır. X-ışınlarının saçılma desenleri, malzemenin kristal yapısı hakkında bilgi sağlar. Kontrolsüz soğutma ve hızlı soğutma yöntemleri farklı kristal yapılar oluştursa da, XRD analizi sırasında ölçülen kristal yapıların saçılma desenleri benzer olabilir.

Bu nedenle, kontrolsüz soğutma ve hızlı soğutma sonucu üretilen polipropilen örneklerinin XRD analizi benzer sonuçlar vermektedir. Ancak, diğer karakterizasyon teknikleri kullanılarak kristal yapının farklılıkları belirlenebilir. Örneğin, SEM analizi ile polimer örneklerinin kristal yapısı daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilir ve bu şekilde farklılıklar belirlenebilir.

5.4. Moldflow Analiz Sonucu

Yüksek ısı genleşme katsayılarına sahip olan plastik malzemeler, kalıplandıktan sonra soğuma aşamasında önemli ölçüde çekme etkisi gösterirler. Bu çekme etkisi, plastik malzemenin sıcaklığın düşmesiyle birlikte daralması ve küçülmesi sonucunda ortaya çıkar. Bu nedenle, kalıplama işlemi için kullanılan kalıp boşluğu, parçanın tasarımında olması gereken çekme payından daha büyük olarak tasarlanır.

Plastik malzeme türü, parça geometrisi, kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametreleri, parçadaki hacimsel çekmeyi etkileyebilir. Farklı plastik malzemeler farklı termal davranışlara sahip olabilir ve bu da çekme etkisini etkileyebilir. Ayrıca, parçanın geometrisi ve kalıp tasarımı da çekmeyi etkileyen faktörlerdir. Örneğin, kalıp tasarımında soğutma kanalları kullanılarak malzemenin daha homojen bir şekilde soğuması sağlanabilir, bu da çekme etkisini azaltabilir.



Şekil 5.4. Yavaş ve hızlı soğutmada parçanın hacimsel büzülme farklılıkları

Enjeksiyonla kalıplama işlemi sırasında, erimiş plastik malzeme düşük bir basınçla kalıp boşluğuna enjekte edilir. Bu esnada, erimiş plastik malzeme kalıp cidarı ile temas halinde soğumaya başlar. Plastik malzemenin soğumasıyla birlikte özgül hacmi azalır, yani katılaşmış plastik, erimiş plastikten daha az yer işgal eder. Bu da plastik parçada çekme etkisinin ortaya çıkmasına neden olur.

Plastik malzeme, kalıp boşluğunu doldurduktan hemen sonra hızlı bir basınç artışı yaşar. Bu basınç, plastik malzemeyi sıkıştırır. Bir kalıplama döngüsü sırasında, çekmenin kontrolü için kalıp boşluğuna uygulanacak basınç belirleyici bir faktördür.

Normal koşullarda, kalıp basıncı giriş yolluğu donana kadar kalıp boşluğuna uygulanır. Plastik malzeme soğudukça ve çekme etkisi göstermeye başladıkça, kalıp içindeki basınç düşer. Sabit kalıp sıcaklıklarında, plastik parçanın nihai boyutlarını etkileyen en önemli faktör, kalıp boşluğundaki basınçtır.

Erimiş plastiğin sıcaklığı arttıkça viskozitesi düşer ve basıncı daha iyi iletebilir duruma gelir. Bu sayede, artan sıcaklığın etkisiyle daha uç kısımlarda daha yüksek bir basınç oluşur. Plastik parçaların çekme miktarı genellikle kısa yolluk sistemi ve büyük giriş yolluğuna sahip kalıplarda azaltılır. Parça kalınlığı, çekme miktarı üzerinde önemli bir faktördür. Parça kalınlığı arttıkça çekme miktarı da artmaktadır. Soğuma sırasında önce üst kısımlar katılaşırken iç kısımlarda hala sıcak eriyik bulunur ve bu sıcaklık farkı nedeniyle deformasyonlar meydana gelir (Pınar, 2010).

Hacimsel büzülme, plastik malzeme kalıp boşluğunda soğuyup katılaştığında meydana gelen hacim azalmasını ifade eder. PP, yaklaşık %1-2'lik bir hacimsel büzülmeye sahiptir, bu da kalıplanmış parçanın nihai boyutlarının kalıp boşluğunun boyutlarından daha küçük olacağı anlamına gelir.

Kalıp akış analizi işlemi sırasında PP'nin hacimsel çekmesi dikkate alınmalıdır. Nihai ürünün istenen özellikleri karşılmasını sağlamak için kalıp tasarımı ve enjeksiyon kalıplama işlemi bu büzülmeyi telafi edecek şekilde ayarlanmalıdır.

Tablo 5.3. Yavaş ve hızlı soğutmada parçanın hacimsel büzülme farklılıkları

Hacimsel büzülme farklılıkları	
[-5< Δ vol. shrinkage <+5]	
U1-Soğutma sistemi kullanılmayan üretim (yavaş soğutma-kontrolsüz soğutma)	% -0,2- %1,2
U2-Soğutma sistemi kullanılan üretim (hızlı soğutma)	% -0,6- % 1,7

Hacimsel büzülmeyi telafi etmenin bir yolu, kalıp boşluğunu parçanın istenen son boyutlarından biraz daha büyük olacak şekilde tasarlamaktır. Bu, "kalıp dengeleme faktörü" olarak bilinir ve PP için tipik olarak %1-2 civarındadır.

Ayrıca enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında plastik malzemenin soğuma hızı dikkatle kontrol edilmelidir.

Hızlı soğuma, daha yüksek seviyelerde büzülme ve eğilmeye neden olabilirken, daha yavaş soğuma, eksik doldurma veya batma izleriyle sonuçlanabilir.

Üreticiler, PP'nin hacimsel çekme farklarını hesaba katarak ve kalıp tasarımını ve enjeksiyon kalıplama sürecini buna göre ayarlayarak, yüksek kaliteli, doğru ve minimum kusurlu parçalar elde edebilirler. Kalıp akışı analizi, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında plastik malzemenin davranışını simüle etmek ve mümkün olan en iyi sonuç için süreci optimize etmek için etkili bir araçtır.

Şekil 5.4'deki değerlerden de anlaşılacağı üzere hacimsel büzülme farklılıkları hızlı soğutma sistemi kullanılarak yapılan üretimde, kontrolsüz soğutma ile yapılan üretime göre daha fazladır. Hacimsel büzülmenin tüm parça boyunca tekdüze olmadığına dikkat etmek önemlidir. Parçanın farklı alanları, soğutma hızları, parça kalınlığı ve parça geometrisindeki farklılıklar nedeniyle değişen seviyelerde büzülme yaşayabilir.

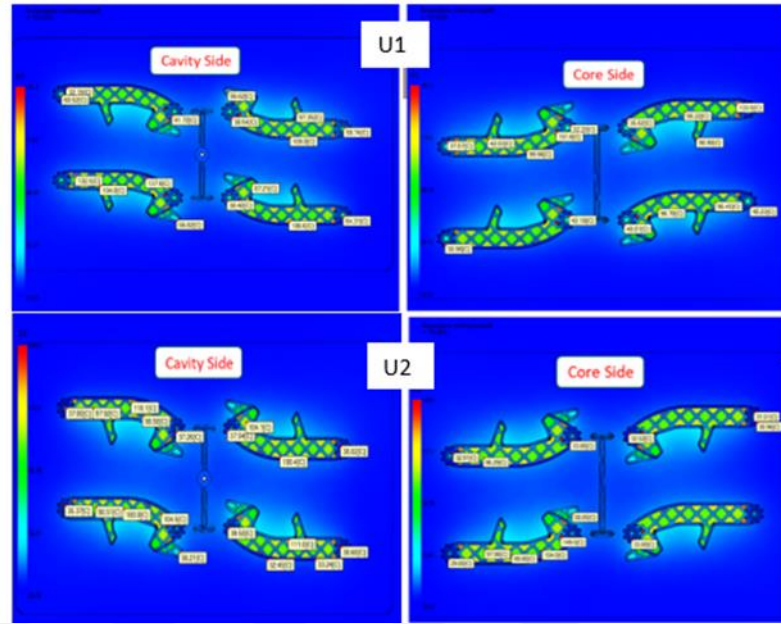
Bu muntazam olmayan büzülme, parçanın farklı bölgelerinde parça bozulmasına, eğilmeye veya boyutsal değişimlere neden olabilir. Tablo 5.3'de soğutma sistemi kullanılan ve kullanılmayan üretime ait parçada büzülme oranları verilmiştir. Sonuçlar yapılan literatür araştırmasını destekler niteliktedir. Soğutma sistemi kullanılan üretimde büzülme oranı kullanılmayan üretime göre daha fazladır. Fakat bu farklılık parça geometrisini etkilemeyecek seviyededir.

Kontrolsüz soğutma, son kalıplanmış parçadaki çekme miktarını ve dağılımını etkileyebilen hızlı soğutma yöntemlerine kıyasla malzemenin daha kademeli olarak soğumasını ve katılaşmasını sağlar. Kristaller yavaş ve düzenli bir şekilde yerleştiğinden çekme oranı daha düşüktür.

Polimerler, metallere kıyasla çok düşük bir termal iletkenliğe sahiptir, eriyikten katılaşmaya geçerken soğuma düzensiz ilerler. Yüzey, iç kısımdan daha hızlı soğur. Bu, kesit kalınlığı boyunca yapı ve kristallikte farklılıklara yol açar ve aşırı iç büzülmeden dolayı boşlukların veya deliklerin oluşmasına neden olabilir.

Genel bir kural olarak, büzülme artan parça kalınlığı ile artar. Daha kalın plaklar daha yavaş soğur ve daha yavaş soğuma hızları, moleküllerin daha büyük kristal alanlar ve daha yüksek derecede kristallik oluşturarak düzenli bir model benimsemesine olanak tanır (Gipson ve arkadaşları, 1999). Fakat bu çalışmada yavaş soğuma kalıp içinde değil parça dışarı çıkarıldıktan sonra gerçekleşmektedir.

Kontrolsüz bir yavaş soğuma olduğundan parçada kesit kalınlığı yüksek olan bölgelerde çekme ve büzülme olmaktadır.



Şekil 5.5. Yavaş ve hızlı soğutmada parça ve kalıp yüzey sıcaklıkları

Tablo 5.4. Yavaş ve hızlı soğutmada parça ve kalıp yüzey sıcaklıkları

Parça ve kalıp yüzey sıcaklıkları	
[Δ temp. diff. <20 ° C]	
U1-Soğutma sistemi kullanılmayan üretim (yavaş soğutma- kontrolsüz soğutma)	10 °C
U2-Soğutma sistemi kullanılan üretim (hızlı soğutma)	4 °C

Polipropilenin (PP) Moldflow analizinde, parça ve yüzey sıcaklıkları, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında dikkate alınması gereken kritik parametrelerdir. Akılda tutulması gereken bazı önemli noktalar şunlardır:

Parça Sıcaklığı: Enjeksiyon kalıplama sırasında parça sıcaklığının kontrol edilmesi önemlidir, çünkü plastik malzemenin soğuma hızını ve bunun sonucunda parçanın büzülmesini ve yamulmasını etkiler. Genel olarak, çekmeyi en aza indirmek için parça mümkün olduğu kadar çabuk soğutulmalıdır, ancak bükülmeye veya diğer kusurlara neden olacak kadar hızlı olmamalıdır. Optimum soğutma hızı, belirli parça geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlı olacaktır.

Yüzey Sıcaklığı: Kalıp boşluğunun yüzey sıcaklığı, enjeksiyon kalıplama işleminin başarısı için kritik öneme sahiptir. Yüzey sıcaklığı çok düşükse, plastik malzeme düzgün akamayabilir, bu da eksik doldurma veya batma izleriyle sonuçlanabilir. Yüzey sıcaklığı çok yüksekse, plastik malzeme kalıba yapışarak parlama veya diğer kusurlara neden olabilir.

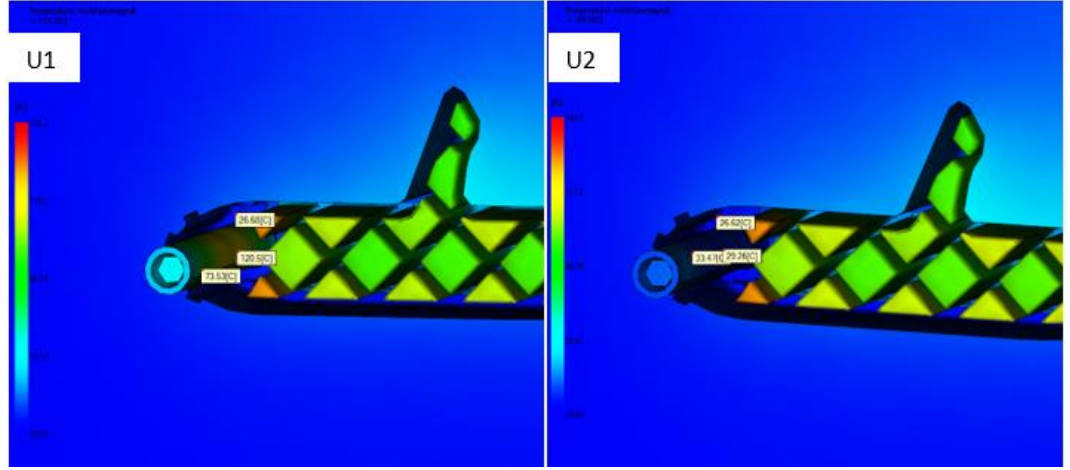
Soğutma Sistemi Tasarımı: Kalıptaki soğutma sisteminin tasarımı, enjeksiyon kalıplama sırasında parça ve yüzey sıcaklıkları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Soğutma kanalları, kalıp boşluğu boyunca üniform soğutma sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve soğutma hızını optimize etmek için soğutma suyunun akış hızı dikkatlice kontrol edilmelidir.

Termal Özellikler: Moldflow analizi sırasında polipropilen malzemenin termal özellikleri de dikkate alınmalıdır.

PP nispeten düşük bir termal iletkenliğe sahiptir, bu da diğer malzemelerle karşılaştırıldığında soğuması ve katılaşması daha uzun sürebileceği anlamına gelir. Bu, daha uzun döngü sürelerine ve daha karmaşık soğutma sistemlerine neden olabilir.

Plastik malzemenin davranışını simüle ederek ve Moldflow analizini kullanarak kalıp tasarımını ve enjeksiyon kalıplama sürecini optimize ederek, üreticiler polipropilen enjeksiyon kalıplama için istenen parça ve yüzey sıcaklıklarını elde edebilirler. Bu, minimum kusurlu yüksek kaliteli parçalar, azaltılmış döngü süreleri ve daha düşük maliyetlerle sonuçlanabilir.

Şekil 5.5’de iki üretime ait yüzey ve kalıp sıcaklıklarını gösteren moldflow analizi verilmiştir. Analizden de anlaşılacağı üzere soğutma sistemi kullanılarak yapılan üretim sonucu yüzey sıcaklığı daha düşüktür. Tablo 5.4’de iki üretime ait yüzey ve kalıp sıcaklık değerleri de verilmiştir. İki üretim sonucu da parça da gözle görülür bir yamulma ve çarpılma olmamıştır.



Şekil 5.6. Yavaş ve hızlı soğutmada parça yüzey sıcaklıkları

Tablo 5.5. Yavaş ve hızlı soğutmada parça yüzey sıcaklıkları

Parça yüzey sıcaklıkları			
[Δ temp. diff. <20 ° C]			
U1-Soğutma sistemi kullanılmayan üretim (yavaş soğutma- kontrolsüz soğutma)		94 ° C	
			Bu sıcaklık farkına artık stres neden olur.
			Böylece delik boyutu azalır.
U2-Soğutma sistemi kullanılan üretim (hızlı soğutma)		7 ° C	
			Bu sıcaklık farkı delik boyutunu etkilemez.

Kalıp akışı analizi, polipropilen (PP) parçaların enjeksiyonla kalıplanması sırasında kalıp boşluğunun yüzey sıcaklığını optimize etmek için kullanılabilir.

Yüzey sıcaklığı farkı, enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilen polipropilen (PP) parçaların kalitesi ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Yüzey sıcaklık farkının PP parçalar üzerindeki etkisi şu şekilde özetlenebilir:

Eğilme: Önemli bir yüzey sıcaklığı farkı, PP malzemenin diferansiyel büzülmesine neden olarak kalıplanmış parçanın eğrilmesine neden olabilir. Bu, parçanın boyutsal doğruluğunu ve genel görünümünü etkileyebilir.

Batık izleri: Yüzey sıcaklığı farkı çok yüksekse, plastiğin çok hızlı soğumasına neden olarak kalıplanmış parçanın yüzeyinde çöküntü izlerine yol açabilir. Çökme izleri, parçanın gücünü azaltabilir ve performansını tehlikeye atabilir.

Yapışma: PP malzemesinin eşit olmayan şekilde soğuması kalıba yapışmasına neden olarak parçanın kalıptan çıkarılmasını zorlaştırabilir. Bu, üretimde gecikmelere neden olabilir ve kalıbın hasar görme riskini artırabilir.

Yüzey kusurları: Yüzey sıcaklığı farklılıkları ayrıca akış izleri, parlaklık değişimi veya pus gibi başka yüzey kusurlarına da neden olabilir. Bu kusurlar, parçanın görsel çekiciliğini etkileyebilir ve genel değerini azaltabilir.

Yüzey sıcaklığı farkının PP parçaları üzerindeki etkisini en aza indirmek için üreticiler, soğutma sistemi tasarımını ve enjeksiyon kalıplama işlemi parametrelerini kalıp boşluğu boyunca tekdüze bir sıcaklık dağılımı elde edecek şekilde optimize etmelidir. Bu, enjeksiyon kalıplama sürecini simüle etmek ve potansiyel sorunları tasarım sürecinin başlarında belirlemek için Moldflow analizi kullanılarak elde edilebilir.

Yüzey sıcaklığı farkı, kalıp boşluğunun farklı bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını ifade eder. Bu, soğutma sistemi tasarımındaki veya enjeksiyonlu kalıplama işlemi parametrelerindeki farklılıklar dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir.

Büyük bir yüzey sıcaklığı farkı, eşit olmayan soğuma hızlarına ve PP malzemesinin diferansiyel büzülmesine neden olarak kalıplanmış parçada eğrilmeye, bozulmaya veya batma izlerine neden olabilir. Yüzey sıcaklığı farklılıklarını en aza indirmek için üreticiler, kalıp boşluğu boyunca eşit soğutma sağlamak için kalıptaki soğutma kanallarının tasarımını optimize edebilir.

Optimum yüzey sıcaklığı dağılımı elde etmek için PP'nin malzeme özellikleri, parçanın geometrisi ve kalıp tasarımı gibi diğer faktörleri de dikkate almak önemlidir.

Enjeksiyon kalıplama işlemine bütünsel bir yaklaşım benimseyen üreticiler, mümkün olan en iyi yüzey sıcaklığı dağılımını elde etmelerini ve nihai ürünlerdeki kusurları en aza indirmelerini sağlayabilir.

Polipropilenin (PP) Moldflow analizini gerçekleştirirken, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında yüzey sıcaklıkları ve artık gerilim dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

Yüzey sıcaklıkları: Enjeksiyon kalıplama sırasında kalıp boşluğunun yüzey sıcaklığı, kalıplanan parçanın kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir.

Kalıp sıcaklığı çok düşükse, plastiğin çok hızlı katılaşmasına neden olarak eksik doldurmaya, kısa atışlara veya batma izlerine neden olabilir. Öte yandan, kalıp

sıcaklığı çok yüksekse, plastik kalıba yapışarak parlamaya ve kalıbın ömrünün kısılmasına neden olabilir.

Plastik malzemenin soğuma hızı, kalıp boşluğunun yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Üreticiler, kalıptaki soğutma kanallarını optimize ederek, homojen bir sıcaklık dağılımı sağlayabilir ve kalıp yüzeyinde sıcak veya soğuk noktaları önleyebilir. İyi tasarlanmış bir soğutma sistemi, döngü süresini en aza indirmeye ve enjeksiyon kalıplama işleminin genel verimliliğini artırmaya da yardımcı olabilir.

Artık stres: Artık gerilim, enjeksiyonla kalıplanmış parçalarda performanslarını ve kalitelerini etkileyebilen yaygın bir sorundur. Özellikle PP, düşük elastik modülü ve soğuma hızına duyarlılığı nedeniyle yüksek artık gerilimler sergileyebilir.

Artık gerilim, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında ortaya çıkan farklı soğuma hızlarından kaynaklanır ve bu da kalıplanmış parçanın düzensiz büzülmesine ve eğrilmesine neden olur.

Yapılan moldflow analizi, PP parçalarındaki artık gerilimi tahmin etmeye ve analiz etmeye yardımcı olabilir. Dikkate alınması gereken bazı önemli noktalar şunlardır:

Malzeme Özellikleri: PP'nin malzeme özellikleri, kalıplanmış parçadaki artık gerilimi etkileyebilir. PP, nispeten düşük bir elastisite modülüne sahiptir, bu da daha yüksek modüllere sahip malzemelerle karşılaştırıldığında daha yüksek artık gerilim seviyelerine neden olabilir.

Soğutma Hızı: Enjeksiyon kalıplama sırasında PP malzemesinin soğuma hızı artık gerilim üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Hızlı soğuma, diferansiyel büzülme nedeniyle daha yüksek artık gerilim seviyeleri ile sonuçlanabilirken, daha yavaş soğutma daha düşük artık gerilim seviyeleri ile sonuçlanabilir.

Parça Tasarımı: Parçanın tasarımı artık gerilimi de etkileyebilir. Değişken duvar kalınlıklarına veya keskin köşelere sahip karmaşık geometriler, daha yüksek seviyelerde kalıntı gerilime neden olabilir.

Kalıp Tasarımı: Kalıbın tasarımı, kalıplanmış parçadaki artık gerilimi de etkileyebilir. Kalıp boşluğu boyunca tutarlı soğutma oranları sağlamak için kalıp, tek tip soğutma kanalları ile tasarlanmalıdır.

Şekil 5.6'da iki üretime ait yüzey sıcaklık farklılıkları moldflow analizi sonucu verilmiştir. 5.5 no'lu tabloda sıcaklık farkı değerleri verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere soğutma sistemi kullanılmadığında parça kontrolsüz olarak soğuyacağından parçada bölgesel sıcaklık farklılıkları oluşur. Bu farklılık artık strese neden olur. Bu da parça da et kalınlığı fazla olan bölgede çekmeye sebep olur.

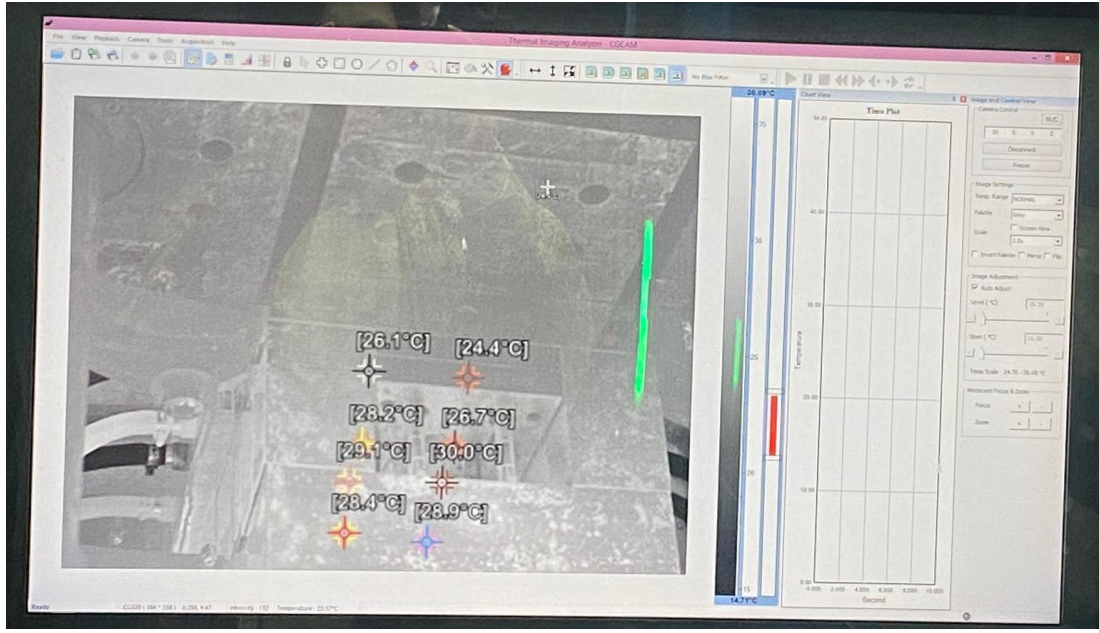
Üreticiler, Moldflow analizini kullanarak enjeksiyon kalıplama sürecini simüle ederek PP parçalardaki artık gerilimi tahmin edip analiz edebilir ve etkisini en aza indirmek için kalıp tasarımını ve enjeksiyon kalıplama sürecini ayarlayabilir. Bu, minimum kusur, azaltılmış bükülme ve geliştirilmiş boyutsal doğruluk ile yüksek kaliteli parçalarla sonuçlanabilir.



6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Plastik enjeksiyon üretiminde soğutma sistemi kullanıp kullanmamak ve parça özelliklerini etkilememek mümkün değildir. Ancak doğru soğutma sistemi tasarımı ve uygun soğutma parametreleri ile parça özelliklerinin olumsuz etkileri en aza indirilebilir.

- Moldflow analizinden de anlaşılacağı üzere soğutma sistemi kullanılmadığında sıcaklık farkından dolayı parçanın özellikle kalın kesitli kısımlarında artık gerilmeler oluşmakta ve bu da büzölmeye neden olmaktadır. Bu durumda parçanın ölçüsel olarak hatalı üretilmesine neden olmuştur. Soğutma sistemi kullanılarak bu durum ortadan kaldırılmaktadır.
- Sertlik testi sonucunu incelediğimizde, bu parça için diğer tüm değişkenler sabit ve tutarlı ise soğutma sistemi kullanmamanın yüksek düzeyde farklılık göstermediği görölmektedir.
- XRD analizine baktığımızda, hammadde ve diğer değişkenler bozulmadan bırakıldığında soğutma sisteminin kullanılmaması sonucunda kristal yapılarda herhangi bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir.
- Boyutsal ölçüm sonuçları Moldflow analiz sonuçlarını doğrular niteliktedir, soğutma sistemi kullanılmadığında boyutsal kalın kesitli bölgelerde artık gerilmeden dolayı büzölme meydana gelmiş ve sonuçlar tolerans dışında çıkmıştır.
- Soğutma sisteminin üretilen parçanın kalitesi üzerinde ki etkisi bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Soğutma sisteminde yaşanan teknik sıkıntılar nedeni ile çalışamaması durumunda oluşan anormallikleri ortadan kaldırmak için daha sıkı kontroller yapılması firmaya tavsiye edilmiştir.
- Bu çalışma sonunda firma soğutma borularında yaşanan tıkanıklıkları ön görmek için termal kamera sistemini devreye almıştır.
- Termal kamera sistemi için yatırım yapan firma, gözlerin birinde yaşanan tıkanıklıkları termal kamera sayesinde sıcaklık farkından görmektedir. Bu sayede uygunsuz parça üretimi ortadan kalkmıştır.



Şekil 6.1. PSR parçasının üretildiği makineye takılan termal kamera sistemi

KAYNAKLAR

- Ahmet, 2009 Ahmet akyürek Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı plastik enjeksiyon süreci optimizasyonunda yapay zeka tekniklerinin kullanımı
- Abalı b.e., koçak m., 2005. “Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı”, İTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Tasarım Projesi”
- Akkerman, R., Dijk, D. J., Klarenbeek, M., Tjil, H. - Residual Stresses In, And Shrinkage of PE and PS Injection Moulded Symmetrically cooled Flat Panels - 64th annual meeting of the polymer processing society. Stuttgart, 1995.
- Akyüz, Ö. F. 1998. Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş. İstanbul: Pagev Yayınları, 45-89.
- Akyüz, Ö. F., 2001. “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”. Pagev Yayınları, İstanbul.
- Aldemir Plastik, kalıp ve makine <https://www.aldemirltd.com/polymer-hardness-comparison-chart> Erişim tarihi: 12.12.2022
- Autodesk, 2023 <https://help.autodesk.com/view/MFAA/2021/ENU/?guid=GUID-A074736B-48D6-4AC1-BFF4-A7E4C696DF24> Erişim tarihi: 18.04.2023
- Billmeyer FW (2007) Textbook of polymer science. Wiley, Singapore
- Bilsenbesergil, 2023 http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_408.htmlErişim tarihi: 10.04.2023
- Çetin, A. 2016. Katkı maddelerinin ve enjeksiyon parametrelerinin plastik ürünün mekanik özelliklerine ve UV direncine etkisinin deneysel araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Esenlik, M., 2001. “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Fried JR (1995) Polymer science and technology. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs
- Gipson, Patrick M., Grelle, Peter F. and Salamon, Brent A. - The Effects of processing Conditions, Nominal Wall Thickness and Flow Length on the Shrinkage Characteristics of Injection Molded Polypropylene - Proceedings of 57th annual meeting of the Society of Plastic Engineers. New York, 1999.
- Goodship, V. 2004. Arburg Practical Guide to Injection Moulding. Smithers Rapra, 1-65
- Hastek Plastik Sistemleri, 2022. <https://www.industrialfrigo.com.tr/kutuphane/oku/plastik-endustrisinde-kalip-ve-yag-sogutma-sistemleri> Erişim tarihi: 07.10.2022

- Hu, S. Y.; Cheng, N. T.; Chen, S. C. (1995) *Plast Rubber Compos Process Appl*, 23, 221.
- Kafalı M. S. 2011. *Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi.
- Keçe, A., 2006. “Yapay Sinir Ağları ile Plastik Enjeksiyon Süreci Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Köse, E. 2006. *Plastik enjeksiyonda proses ve kalıp kaynaklı sorunların giderilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 43s.
- Li, J.X.; Wang, Q.; Chan, C.M.; Wu, J.S. Effect of molding temperature on crystalline and phase morphologies of HDPE composites containing PP nano-fibers. *Polymer* 2004, 45, 5719–5727.
- Lucyshyn T.; Knapp G.; Kipperer G. ; Holzer C., 2011 Wiley Periodicals, Inc. *J Appl Polym Sci* 123: 1162–1168
- Mark HF, Kroschwitz JI (1985) *Encyclopedia of polymer science and engineering*. Wiley, New York
- MEGEP 2006. *Temel plastik enjeksiyon kalıpları 1, meslekî eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi*, 3s.
- Muhsin Deniz GÜLER The Effect of Local Heating on the Weld Line Formation in Plastic Injection Molding of Acrylonitrile Butadiene Styrene and Glass Fiber Reinforced Polypropylene, İzmir Kâtip Çelebi University, Yüksek Lisans Tezi 03.2022.
- Ozansoy 2005. *Buzdolaplarında yeni bir uygulam “Kapı içi kapı tasarımı”*. Yüksek lisans tezi
- Paksoy, 2008. *Plastik enjeksiyon prosesinde elyaf yönlenmesinin incelenmesi*, İstanbul teknik üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Yüksek lisans tezi
- Palabıyık m. 2008. *Polimer esaslı kompozitler ile konstrüksiyon*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 48
- Pınar, 2010 Engin PINAR Yüksek Lisans Tezi *Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması*
- Savaşçı, Ö.T., Uyanık, N., Akovalı, G. 1998. *Plastikler ve Plastik Teknolojisi*. Çantay Kitabevi, 1-25; 199-203
- Seyler, R., Erie, P. and Schenck, A. - Warpage Index Based on Cooling and Orientational Effects - Proceedings of 61st annual meeting of the Society of Plastic Engineers. Nashville, 2003, p. 3353-3357.
- Sombatsompop, N.; Chonniyom, D.; Wood, (1999) *A. J Appl PolymSci*, 74, 3268.
- Timm, W. Marty and Coutts, J. Michael - Relationship of Predicted Shear Stress to Molded Plastics Parts - Proceedings of 61st annual meeting of the Society of Plastic Engineers. Nashville, 2003, p. 3373-3377.
- Turaçlı, H. 2003. *Enjeksiyon Kalıpları İmalatı*, Seçkin Yayınevi, İstanbul, 198 s.

Tuteski, O & Kočov, A (2018). Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tools–Design Considerations, International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials.", YEAR XII, ISSUE 11, P.P. 445-448.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hasret SEYHAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2020-2021 yılları arasında BQS Otomotiv’de Kalite Mühendisi olarak çalıştı.
- 2021-2022 yılları arasında Özgür Metal Kalıp Plastik Sanayi de Proses Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı
- 2023 - ~ Toyota Boshoku Türkiye firmasında Toplam Kalite Mühendisi olarak çalışıyor.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Seyhan H, Kurt A.O. (2023, Haziran). Effect Of Uncontrolled and Fast Cooling On Part Properties In Plastic Injection, Journal of Applied Polymer Science (Değerlendirme aşamasında)