



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIBINDA  
SOĞUTMA PARAMETRELERİNİN  
DEĞİŞTİRİLMESİ VE POLİPROPİLEN  
MALZEME ÜRETİMİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Hasan Birol KIZILÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Hasan Birol KIZILÖZ tarafından hazırlanan “Plastik Enjeksiyon Kalıbında Soğutma Parametrelerinin Değiştirilmesi ve Polipropilen Malzeme Üretimindeki Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 22.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. İlkey Hilal GÜBBÜK

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Türkan ALTUN

#### Üye

Doç. Dr. Serpil EDEBALI

### İmza

  
.....

  
.....

  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Hasan Birol KIZILÖZ

Tarih: 22.07.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# PLASTİK ENJEKSİYON KALIBINDA SOĞUTMA PARAMETRELERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ VE POLİPROPİLEN MALZEME ÜRETİMİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Hasan Birol KIZILÖZ**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Türkan ALTUN**

**2019, 62 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğretim Üyesi Türkan ALTUN  
Prof. Dr. İlky Hilal GÜBBÜK  
Doç. Dr. Serpil EDEBALI**

Plastik enjeksiyon teknolojisi kullanımı son yıllarda ülkemizde artış göstermektedir. Bu artışla birlikte plastik endüstrisinde iyileştirici ve geliştirici çalışmalar gündeme gelmektedir. Enjeksiyon makinesi, hammadde ve kalıp, plastik enjeksiyon teknolojisini oluşturan temel üç unsurdur. Çalışmamızda, plastik enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılmıştır. Genellikle kalıpların soğuması için kalıplara beslenen soğutma suyu sabit debi ile beslenmektedir. Sabit debi değiştirilerek, kalıp içi gerçekleşen plastik-kalıp ısı transfer farklılığı sağlanmıştır. Debi değişkenliğini yapabilecek bir prototip cihaz tasarlanmıştır. Sistemden kalıba gelen soğutma suyu, prototip cihazın üzerindeki oransal vana yardımıyla 2-3,5 m<sup>3</sup>/saat debi değerleri arasında 0,1 değer oranında artırılmış ve kalıbın farklı debilerde soğutulması sağlanmıştır. Değişken debi sonrası kalıp içi sıcaklık farkları ortaya çıkmıştır. Değişen her debi sonrası numune alınmıştır. Bunun sonucunda üretilen plastik ürünlerin kalitesi, mekanik özellikleri üzerindeki etkileri ve bu debi değişkenliğinin üretim verimliliğine olan katkısı araştırılmıştır. Mekanik özellikleri değerlendirilen plastik ürün bir ambalajdır. Random kopolimer polipropilen ile üretilmiştir. Debi değişkenliğinin etkilerini gözlemlemek için bütün numuneler aynı hammaddeyle ve sabit enjeksiyon makinesi parametrelerinde alınmıştır. Alınan numunelerin çekme oranları ve mukavemet testleri değerlendirilmiştir. Ayrıca prototip cihazın makine-kalıp performansına ve enerji verimliliğine olan etkileri yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Debi, enjeksiyon, kalıp, plastik, polipropilen

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**CHANGING OF COOLING PARAMETRES IN PLASTIC INJECTION MOULD  
AND INVESTIGATION OF EFFECTS ON PRODUCTION OF  
POLYPROPYLENE PRODUCT**

**Hasan Birol KIZILÖZ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Chemical Engineering**

**Advisor: Assist. Prof. Türkan ALTUN**

**2019, 62 Pages**

**Jury**

**Assist. Prof. Türkan ALTUN  
Prof. Dr. İlky Hilal GÜBBÜK  
Assoc. Prof. Dr. Serpil EDEBALI**

The use of plastic injection technology has increased in recent years in our country. With this increase, the improvement and development of the plastic industry is on the agenda. Injection molding machine, raw material and mold are the three basic elements that make up the plastic injection technology. In our study, plastic injection molding technique was used. Generally, the cooling water supplied to the molds for cooling of the molds is fed with constant flow rate. By changing the constant flow rate, the plastic-mold heat transfer difference realized in mold was achieved. A prototype device is designed to make flow variability. The cooling water coming from the system to the mold was increased by 0.1 value between 2 - 3.5 m<sup>3</sup> / h flow rate with the help of the proportional valve on the prototype device, and the mold was cooled at different flow rates. In mold temperature differences were observed after variable flow. Samples were taken after every changing flow. As a result of this, the effects of the plastic products produced on quality, mechanical properties and the contribution of this flow variability to the production efficiency were investigated. It is a plastic product packaging whose mechanical properties are evaluated. The random copolymer is produced with polypropylene. All samples were taken with the same raw material and fixed injection machine parameters to observe the effects of flow variability. Tensile ratios and strength tests of the samples were evaluated. In addition, the effects of prototype device on machine-mold performance and energy efficiency were interpreted.

**Keywords:** Flow, injection, mould, plastic, polypropylene

## ÖNSÖZ

Hayatımın her anında yanımda olan aileme, değerli bilgilerini, güvenini ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Türkan ALTUN' a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatımın önemli bir parçasını oluşturan firmam Pakset Plastik'e, manevi desteğini hissettiren ve tecrübesiyle her zaman destek olan Pakset Plastik Genel Müdürü Cengiz DERESAL başta olmak üzere, Fabrika Müdürü Turgut GÜRÜN'e, Üretim Koordinatörü Hasan EŞLİ'ye, Teknik Müdür Ferit KARACA' ya, çalışma boyunca yardım eden kardeşim Erkam KIVANÇ' a ve bütün Pakset Plastik çalışanlarına, bana vermiş oldukları destekten ötürü saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Birol KIZILÖZ  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Polimerler.....	2
1.2. Polimerlerin Fiziksel Bağlanış Şekilleri .....	3
1.3. Polimerin Monomer Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması.....	5
1.3.1. Homopolimer .....	5
1.3.2. Kopolimer .....	5
1.3.3. Terpolimer .....	6
1.4. Polimerlerin Zincir Yapılarına Göre Sınıflandırılması .....	7
1.4.1. Termoplastikler .....	7
1.4.2. Termosetler .....	8
1.4.3. Elastomerler .....	8
1.5. Polimerizasyon.....	8
1.5.1. Basamaklı polimerizasyon .....	9
1.5.2. Radikalik katılma polimerizasyonu .....	10
1.5.3. İyonik katılma polimerizasyonu .....	12
1.5.4. Polipropilen ve polimerizasyonu .....	14
1.6. Plastik Enjeksiyon Makineleri ve Özellikleri .....	17
1.7. Plastik Enjeksiyon Kalıpları .....	20
1.7.1. Chiller kalıp soğutma sistemleri .....	23
1.8. Soğutucu Akışkan Su.....	25
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>28</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>32</b>
3.1. Kullanılan Materyaller .....	32
3.2. Sistemin Çalışma Prensibi .....	32
3.3. Prototip cihazın yapılışı .....	34
3.4. Makine, hammadde ve ürün seçimi .....	38
3.5. Üretim ve numune alımı .....	41
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>51</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Sonuçlar .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Öneriler.....</b>	<b>57</b>

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>62</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- $^{\circ}\text{C}$  : Santigrat derece  
% : Yüzde  
\$ : Dolar

### Kısaltmalar

- ABS : Akrilonitril bütadien stiren  
AYPE : Alçak yoğunluklu polietilen  
Cm : Santimetre  
Dk : Dakika  
G : Gram  
ISO : International Organization for Standardization  
(Uluslararası Standartlar Teşkilatı)  
Kg : Kilogram  
M : Metre  
mA : Mili amper  
Mm : Milimetre  
MPa : Mega paskal  
N : Newton  
PA : Poliamid  
PET : Polietilen tereftalat  
PS : Polistiren  
PU : Poliüretan  
PVC : Polivinil klorür  
S : Saniye  
Tg : Camı geçiş sıcaklığı  
YYPE : Yüksek yoğunluklu polietilen

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan birçok malzemenin üretiminde polimer malzemeler kullanılmaktadır. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte tüketim de her geçen gün fazlaşmaktadır. Bu sebeple, her türlü üretimin düşük maliyetli ve verimli olması ana etkenler olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte polimer malzemelerin kullanımı da bu oranda bir artış göstermektedir. Ambalajlama, otomotiv, beyaz eşya, elektronik malzemeler, boya, sağlık ve inşaat sektörleri polimer malzemelerin kullanıldığı pazarlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Polimer malzemelerden elde edilen plastikler, yapıştırıcılar, kauçuk, lastik gibi malzemeler sert ve dayanıklı malzemeler olarak bildiğimiz demir, çelik, alüminyum gibi malzemelerin yerini almış durumdadır. Bu bağlamda polimer bilimi nitelikli bir hal almış ve malzeme biliminin içerisinde önemli bir yer edinmiştir. Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla birlikte istenilen mekanik ve kimyasal özellikler, polimer malzemelere kazandırılmaktadır. Günümüzde mühendislik polimerleri olarak adlandırılan birçok polimer malzeme, yüksek dayanım özelliği gösteren, ısı ve sıcaklık farklılıklarına karşı duyarlı olan, milimetrik boyutlardan devasa boyutlara kadar üretilen malzemeler haline gelmiştir.

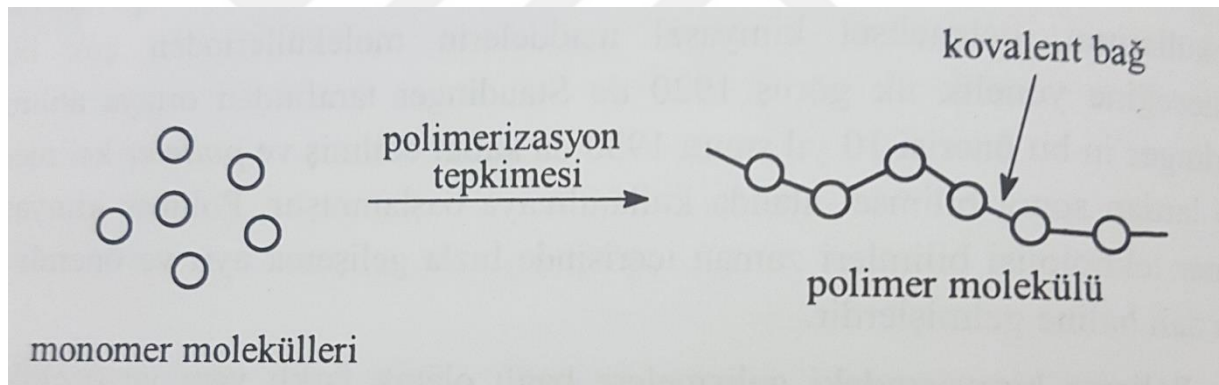
Polimer malzemelerin işlenmesi farklı tipte teknolojiler gerektirdiğinden dolayı, bağlı olduğu diğer teknolojik alanların da gelişmesine olanak sağlamaktadır. Plastik enjeksiyon, ekstrüzyon, presleme vb. teknolojileri de polimer biliminin gelişmesiyle yenilikçi gelişmelerin fazlaca olduğu alanlardandır. Bu teknolojiler kullanılarak üretilen polimerik ürünlerin üretimini etkileyen birçok yan etken de bulunmaktadır. Polimerin eritilmesi, eriyik polimerin şekil alması, soğutma gibi süreç basamakları, üretilecek olan ürünün kalitesini ve üretim verimliliğini etkileyen parametrelerdir.

Son zamanlardaki gelişmelere bakarak bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama tekniği irdelenmiştir. Enjeksiyon ile kalıplama tekniğinde kalıbın soğutulmasında kullanılan suyun ve iç sıcaklık değişkenliğinin plastik parça üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kalıbı soğutan su sıcaklığının ve debisinin üretilen plastik parçanın kalitesine katkı derecesi ve bu değişkenliklerin üretime olan etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmanın maliyete olan katkısı değerlendirilmiştir. Aradaki enerji farklılıkları da yorumlanmış olup, soğutma sistemlerindeki enerji verimliliği konusunda öngörülerde bulunulmuştur.

## 1.1. Polimerler

Polimer kelimesi, sırasıyla Yunan *poli* ve *meros* kelimelerinden türetilmiştir. Bazı bilim adamları polimer yerine makro molekül veya büyük molekül kelimesini kullanmayı tercih etmektedir. Polimerleri tam anlamıyla incelemek ve öğrenmek için tekrarlayan birim olarak monomerleri bilmek gerekir (Charles, 2003).

Polimerler, büyük moleküllerden oluşan yapılar olarak adlandırılır. En küçük birimine monomer adı verilir. Monomerler, tek-yapı anlamına gelen ve kovalent bağlarla birbirine bağlanarak daha büyük yapıları oluşturan yapılardır. Monomerlerin sahip olduğu mol kütlesi küçüktür. Monomerler bir araya gelerek polimerleri yani çok-yapılı molekülleri oluştururlar. Monomerlerin bir araya gelerek polimer oluşturmaya polimerizasyon tepkimeleri denir. Herhangi bir polimer molekülü, birbirinden farklı ve çok sayıda monomerin bir araya gelmesiyle de oluşabilir (Saçak, 2005).

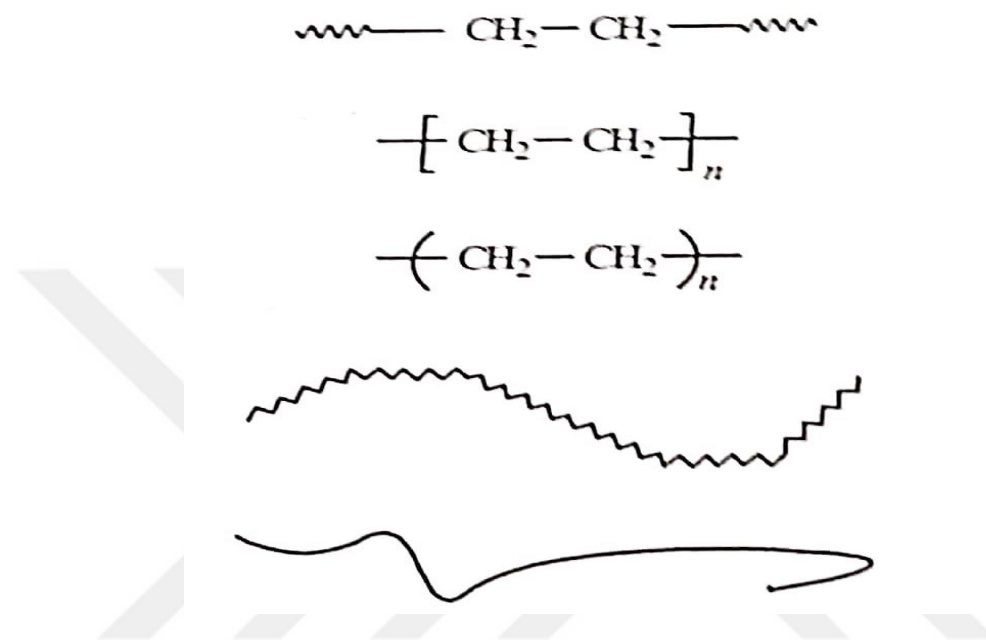


Şekil 1.1. Monomerlerden polimerizasyon tepkimesiyle polimer molekülü oluşumu (Saçak, 2005)

Yapı itibariyle polimerler bir zincire, birbirilerine bağlı olan monomerler ise halkaya benzerler. Bundan dolayıdır ki, polimer molekülü yerine çoğu zaman polimer zinciri olarak ifade edilir. Polimer zincirleri değişik yapıda veya biçimde yazılarak gösterilebilirler. Birbirine bağlı polimer zincirlerinin ana yapısını meydana getiren atomlar serisine ana zincir denir. Polietilen, polistiren gibi polimer yapılarının ana zincirlerinin üzerinde karbon atomları var iken, poli(etilen oksit) polimerinin ana zincirinde karbonun yanı sıra oksijen atomu da bulunmaktadır (Saçak, 2005).

Ana zincirlere bağlı gruplara, yan grup diye adlandırılan farklı kimyasal birimlerde bağlanabilir. Örneğin polietilen polimerinde yan grupları hidrojen atomları

oluştur iken, politetrafloretillen polimerinde yan gruplar flor atomlarıdır. Bahsedilen iki örnek polimerdeki gibi yan grupları aynı olan polimer sayısı çok değildir, birçok polimer değişik yan gruplara sahip monomerlerle sentezlenmektedir. Herhangi bir polimerin gösteriminde, tekrar eden monomer birimi esas alınarak farklı şekillerde gösterilebilir (Saçak, 2005).



Şekil 1.2. Polietilenin farklı şekillerde kısa gösterimleri (Saçak, 2005)

## 1.2. Polimerlerin Fiziksel Bağlanış Şekilleri

Polimerlere ait olan zincirler fiziksel şekillerine göre,

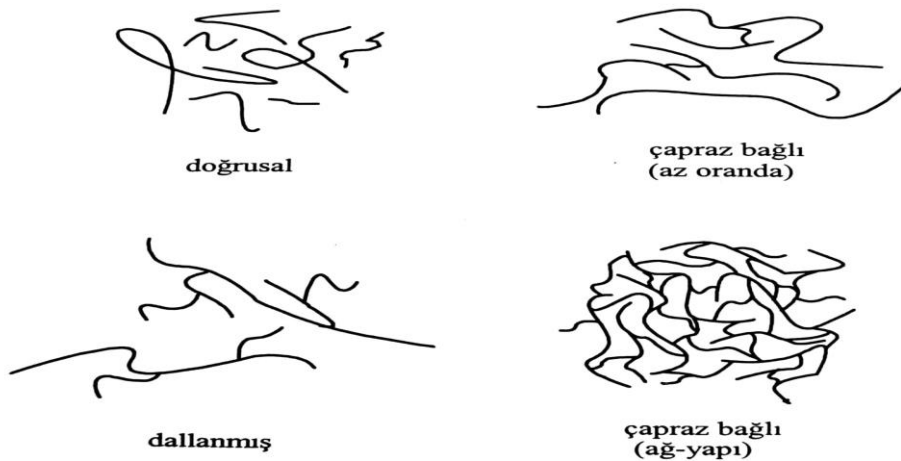
- doğrusal polimer
- dallanmış polimer
- çapraz bağlı (az oranda) polimer
- çapraz bağlı (ağ-yapı) polimer

şeklinde gruplara ayrılırlar.

Ana zincirlerin üzerinde bulunan atomlara, sadece yan grupların bağlanmasıyla oluşan polimerlere doğrusal polimer denir. Bu polimerin ana zincirleri, kovalent bağlar ile farklı zincirlere bağlı olmamakla beraber, uygun çözücüler içerisinde çözünebilir ve eritilebilir. Bu sayede birden fazla yeniden şekillendirme işlemlerine tabi tutulabilir (işleme veya kalıplama).

Dallanmış polimerlerde ise bir başka polimer grubuyla, ana zincirde bulunan ve kendi kimyasal yapısıyla benzer olan başka zincirlerde yer alır. Bu yapılar birbirilerine kovalent bağlarla bağlıdır ve dal görüntüsü oluşturdukları için yapısal ismi dallanmış olarak ifade edilir. Bu polimerler polimerizasyon esnasında dallanmaya sebep olan, yan tepkimelerle ya da ikincil tepkimelerle meydana gelir. Yan dallara ait bağların uzunlukları birbirinden farklı olabilir ayrıca bu yan dalların üzerlerinde başka dallarda bulunabilir. Doğrusal polimerler ile dallanmış polimerlerin özellikleri birbirilerine yakındır (Saçak, 2005).

Çapraz bağlanmış polimerler adındaki yapılarda ise, polimerin ana zincirleri, birbirlerine göre farklı uzunluklara sahip zincir yapılarıyla, kovalent bağlar üzerinden bağ yapmış şeklinde bulunurlar. Çapraz bağlanmanın fazla olması durumunda ağ-yapılı polimerler elde edilmektedir. Bu polimerlerde tüm zincirler birbirleriyle kovalent bağlarla bağlı oldukları için, tek bir molekül olarak esas alınabilir. Çapraz bağlı polimerler çözünme olayı gerçekleştirmezler. Ancak uygun çözücüler ile belirli oranlarda şişebilirler. Şişme durumu sahip oldukları bağ yoğunluğu ile alakalıdır. Bağ yoğunluğu arttıkça polimerin şişme özelliği azalır ve yoğun bulunan çapraz bağlanmalarda polimer herhangi bir çözücüden etkilenmemektedir. Bağ yoğunluğu az olan çapraz bağlı polimerler, kauçuk yapısına benzer yumuşak bir davranış gösterir.



Şekil 1.3. Polimerlerin fiziksel bağlanma şekilleri (Saçak, 2005)

Polimerler, farklı kimyasal tepkimeler ile gerçekleşen ve polimerizasyon denilen tepkimelerle sentezlenebilir. Bu tepkimeler belirli mekanizmalarla gerçekleşir. Genel anlamda basamaklı ve katılma polimerizasyonu olmak üzere iki temel yöntem kullanılır (Saçak, 2005).

### 1.3. Polimerin Monomer Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması

Monomerlerin çeşitleri ve bir arada bulunma şekillerine göre de polimerler ayrı bir sınıfta toplanır. Bu sınıflar homopolimer, kopolimer ve terpolimer olarak adlandırılır.

#### 1.3.1. Homopolimer

Homopolimerler, tek bir monomer çeşidinden oluşan polimerlere verilen isimdir. Buna örnek olarak saf haldeki polietilen verilebilir. Tek bir monomer çeşidi bulunduğu için homopolimerler, aşağıdaki sıralama gibi ifade edilirler (Fried, 2014; Megep, 2014).



Şekil 1.4. Homopolimer yapısının gösterimi

#### 1.3.2. Kopolimer

Kopolimerler, zincir yapılarında en az iki tane monomer barındıran polimerlerdir. Kopolimerlerin özellikleri içerdikleri farklı monomer yoğunluklarına göre değişiklik gösterirler. Kopolimerlerde monomerlerin birbirilerine bağlanış şekilleri önemlidir. Bağlanış şekillerine göre dört ayrı gruba ayrılırlar. Bunlar rastgele (gelişigüzel), blok, aş ve ardışık olarak isimlendirilir (Fried, 2014; Megep, 2014).



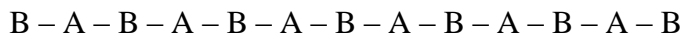
Şekil 1.5. Kopolimerlerin monomer dizilimi

Rastgele (gelişigüzel) kopolimerler, yapısında bulundukları monomerlerin tekrarlama düzeni yoktur. İsminden de anlaşılacağı üzere monomerler rastgele birbirlerine bağlanmışlardır. Bu kopolimerlerin özellikleri içerdikleri monomerlerin özelliklerden farklıdır (Fried, 2014; Megep, 2014).



Şekil 1.6. Rastgele kopolimerlerin monomer dizilimi

Ardışık kopolimerler ise, rastgele kopolimerlerin aksine belirli bir düzen içerisinde bağlanma gösterirler. Bu kopolimerlerin özellikleri de içerdikleri monomerlerin özelliklerinden farklıdır (Fried, 2014; Megep, 2014).



Şekil 1.7. Ardışık kopolimerlerin monomer dizilimi

Blok kopolimerler, kimyasal farklılıkları olan iki ayrı monomerin, uçlarından birbirleriyle bağlanarak oluşturdukları kopolimerlerdir. Bu kopolimerleri, diğerlerinden ayıran önemli bir özellik vardır. İçerdikleri monomerlerin özelliklerini gösterirler (Fried, 2014; Megep, 2014).



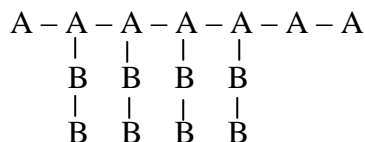
Şekil 1.8. Blok kopolimerlerin monomer dizilimi

Blok sayıları ikili, üçlü blok gibi adlandırılarak daha fazla blok içeren kopolimerler elde edilebilir.



Şekil 1.9. Üçlü blok kopolimerlerin monomer dizilimi

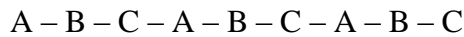
Aşı kopolimerleri, birbirinden farklı iki monomer yapısının, polimer zincirinin son bağlanma noktası haricinde birbirine bağlanarak oluşan kopolimerlerdir. Bağlandıkları noktalara aşılama noktası denir. Aşı kopolimerleri, içerdiği monomerlerin özelliklerini gösterir (Fried, 2014; Megep, 2014).



Şekil 1.10. Aşı kopolimerlerin monomer dizilimi

### 1.3.3. Terpolimer

Terpolimerler ise, içerisinde birbirinden farklı kimyasal özelliğe sahip üç monomer bulunan polimerlerdir. Akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimeri bu malzemelere en iyi örnektir (Fried, 2014; Megep, 2014).



Şekil 1.11. Terpolimerlerin monomer dizilimi

#### 1.4. Polimerlerin Zincir Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Günlük yaşantımızda ve sanayide kullanılan polimerlere endüstriyel polimerler denilmektedir. Bu polimerler oluşturdukları polimer zincirlerinin biçimlerine göre termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar.

##### 1.4.1. Termoplastikler

Termoplastikler, isminden de anlaşılacağı üzere plastik ürünlerin üretildiği polimerlerdir. Termoplastik polimerler amorf, kristal ve yarı-kristal yapılarında bulunabilir. Camsı geçiş sıcaklığı (Tg) noktasında kauçuk bir yapıda olurlar. Bu sıcaklık noktası polimerler için ayırt edici bir özelliktir. Sıcaklıkla yumuşayarak, istenilen şekle uyarlanabilen malzemelerdir. Ayrıca birden fazla işleme tabi tutuldukları zaman özelliklerini koruyabilen malzemelerdir. Uygun çözücülerde çözünebilirler (Saçak, 1998; Savaşçı ve ark., 1998; Goodship, 2004).

Çizelge 1.1. En çok bilinen termoplastik polimerler ve kullanım alanları

Termoplastikler	Kullanım Alanları
Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)	Paketleme, oyuncaklar, kapaklar, sebze ve meyve çantaları
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	Paketleme, şişeler, kasalar, borular, tanklar
Polipropilen (PP)	Gıda ambalajı, kaplar, şapkalar, bavullar, borular, halılar
Polistiren (PS)	Saydam plastik ürünler, yemek kapları, ambalajlama
Poliamid (PA)	Yataklar, dişliler, civatalar, misina
Polivinil klorür (PVC)	Yapı malzemeleri, ayakkabı
Polietilen tereftalat (PET)	Saydam içecek şişeleri



### 1.4.2. Termosetler

Termosetler, yoğun fazda çapraz bağ içeren malzemelerdir. Bu malzemeler serttir ve ağ-yapılı moleküllere sahiptir. Isıtıldıkları zaman oluşturdukları çapraz bağlar ve zincir kırılmaları nedeniyle tekrar kullanılamazlar. Isıtılmadan önce viskoz bir sıvı haldedirler. Bu durumda katkı malzemeleri ile karıştırıldığı zaman termoset reçineler diye adlandırılan malzemeler meydana gelir. Reçineler, ısı işlem ile birlikte sertleşir ve çapraz bağ oluşumu gerçekleşir. Bu reçinelerde endüstrinin farklı alanlarında kullanılmaktadır (Saçak, 1998; Savaşçı ve ark., 1998; Goodship, 2004)..

**Çizelge 1.2.** En çok bilinen termoset reçineler ve kullanım alanları

Termosetler	Kullanım Alanları
Epoksi	Yapıştırıcılar, elektrik yalıtımı
Melamin	Isıya dayanıklı yüzeyler, mutfak tezgâhları
Fenoliks	Tava, tencere, ütü
Poliüretan (PU)	Yalıtım, köpük yapımı
Doymamış poliester	Makine parçaları, uydular, duvarlar

### 1.4.3. Elastomerler

Elastomerlerin bir diğer isimleri de kauçuklardır. Bu malzemeler çok esnek ve elastik özelliktedir. Uygulanan çekme kuvveti ile fazlaca uzama özelliklerini gösterirler. Kuvvet kaldırıldığında tekrar eski hallerini alırlar. Bu durum, elastomerlerin yapılarındaki çapraz bağ oranının çok az olmasından kaynaklanır. Çekme kuvveti polimerik zincirler üzerinden kayma meydana getirir. Ancak, yapılarında bulunan çapraz bağlar, bu akışı önler ve kuvvet kaldırıldığında eski haline döner. Çapraz bağ oluşumu gerçekleşmiş bir elastomeri eritmek mümkün değildir (Saçak, 1998; Savaşçı ve ark., 1998; Goodship, 2004).

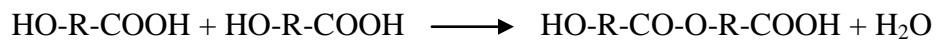
### 1.5. Polimerizasyon

Fazla sayıda aynı veya farklı monomerlerin bir kimyasal tepkimeyle birleşerek daha uzun zincirleri oluşturması ve özellikleri bakımından farklı polimerlerin meydana

geldiği olaya polimerizasyon denir. Polimerizasyonlar bağ oluşumu mekanizmalarına göre katılma-büyüme ve basamaklı-büyüme olarak iki ana sınıfa ayrılır. Polimerizasyon tepkimeleri sonucu, yüksek molekül ağırlıklı polimerler elde edilir. Ticari olarak kullanılan polimerlerin yaklaşık olarak molekül ağırlıkları  $10^{4-7}$  arasında değişmektedir. Makromoleküllü bu yapıların erimiş halleri ve çözeltilerdeki viskoziteleri fazlaca yüksektir. Polimerizasyon tepkimeleri ekzotermik tepkimeler olduğu için, ortamın ısı dengesini sürdürmek adına ısının ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Polimerler üretim ve kullanım amaçları doğrultusunda çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Organik kimya alanı polimer zincirindeki atom dizilişleri ile ilgilenirken, mühendislik uygulamalarında gerilme ve yoğunluk özellikleri ön plana çıkmaktadır (Beşergil, 2003).

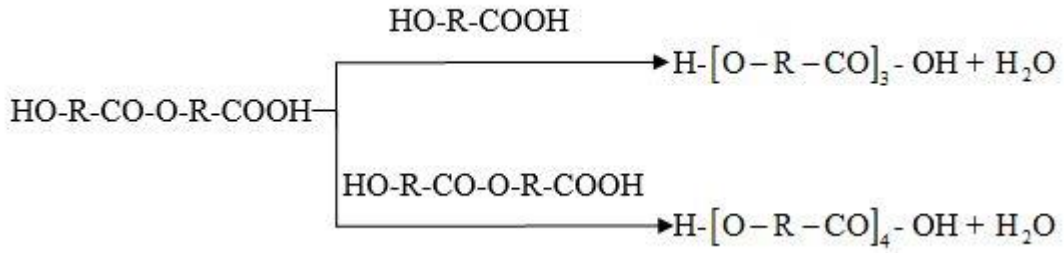
### 1.5.1. Basamaklı polimerizasyon

Günümüzde kullanım oranı düşük olan polimerler, sentetik kondensasyon polimerleridir. Bununla birlikte doğal polimerlere de bakılırsa, çoğunun kondensasyon polimeri olduğu görülmektedir. Kondensasyon polimerleri, aynı ya da birbirinden farklı iki fonksiyonel grubu taşıyan monomerlerden meydana gelen polimerlerdir. Basamaklı polimerizasyon yoğunlukla kondensasyon tepkimelerinin gerçekleşmesiyle ilerler. Kondensasyon polimerizasyonu yüksek basınç ve sıcaklıkta gerçekleşir. Başlayan polimerizasyonda, polimerin molekül ağırlığı devamlı artar ve yüksek değerlere kadar ilerlemeye devam eder. Yapısında OH – R – COOH gibi iki fonksiyonel grup bulduran bir hidroksi asitten poliester sentezi yapılabilir. Bu sentez de basamaklı polimerizasyona verilecek en iyi örneklemelerdendir. İki tane hidroksi asit molekülü ile başlayan polimerizasyon, asitlerin verdiği tepki ile başlar ve ortamda dimerlerin oluşumu görülür (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).



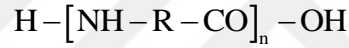
Şekil 1.12. Dimerlerin oluşumu (Saçak, 1998)

Dimerler, bir monomer ile ya da kendisi ile tepkimeye girer. Tepkime sonrası trimer ya da tetramer oluştururlar. Bu durum Şekil 1.13.' te gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Trimer ve tetramer oluşumu (Saçak, 1998)

Trimerler ile tetramerler zincirin büyümesi için monomerler, dimerler, trimerler gibi birimlerle ileri tepkime oluştururlar. Polimerizasyonun başlama aşamasında ortamda hiç monomer kalmaz. Oligomerler ve kısa zincirli polimerler bulunur. Ortamda bulunan bu zincirler birbiri ile eklenerek polimerin molekül ağırlığını giderek artırır ve polimerizasyon süreci bir poliesterin sentezlenmesi ile tamamlanmış olur (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).

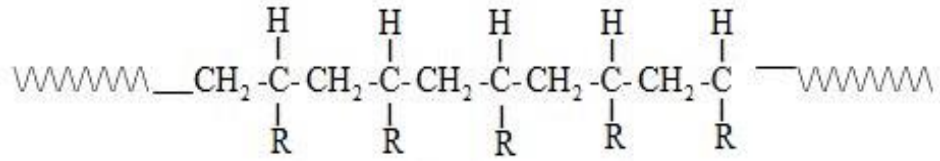


Şekil 1.14. Poliester (Saçak, 1998)

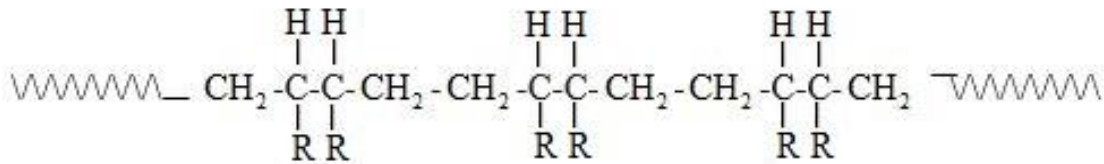
### 1.5.2. Radikalik katılma polimerizasyonu

Birçok sentetik plastik, elastomer ve bazı lifler serbest radikal polimerizasyonu ile hazırlanmıştır. Bu yöntem önemlidir. PVC, PP, AYPE gibi ticari olarak önemli polimerler de bu yöntemle elde edilir. Diğer zincir reaksiyonlarında olduğu gibi, serbest radikal polimerizasyonu, başlatma, çoğaltma ve sonlandırma karakteristik aşamalarından oluşan hızlı bir reaksiyondur. Serbest radikal başlatıcılar, kovalent bağların homolitik bölünmesi ve radyasyonla ilişkili sayısız yöntemle üretilir. Serbest radikal başlatma, ısı (termal), ultraviyole ve görünür ışık (fotokimyasal), iyonlaştırıcı ışık, redoks reaktifleri, elektrik (elektrokimyasal) gibi yöntemlerle başlatılabilir. Ultraviyole ve görünür aralıktaki ışık, serbest radikalleri oluşturan bağları bozabilir. Bu tür bir bozulma güneş ışığına maruz kaldıkça meydana gelir. Güneş uygulamaları genellikle, bu zararlı radyasyonu hafifletebilecek bazı bileşikler içerir. İlgili bileşikler ayrıca daha uzun raf ömrü vermek için gıdalarda kullanılır. Genellikle antioksidanlar olarak bilinir. Sentetik antioksidanlar arasında

benzofenonlar, benziller ve bazı organik ketonlar bulunur. Radikalik katılma polimerizasyonu daha önce de belirtildiği gibi başlama, çoğaltma ve sonlanma aşamalarından oluşur. Aktif olan polimerin zincir yapısına dâhil olan monomerin katılması, baş-kuyruk (1,3- katılması) ve baş-baş veya kuyruk-kuyruk (1,2- veya 1,4- katılması) katılması olarak iki şekilde meydana gelir. Ancak çoğunlukla baş-kuyruk katılması görülür (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).



Şekil 1.15. Baş-kuyruk katılması (Saçak, 1998)

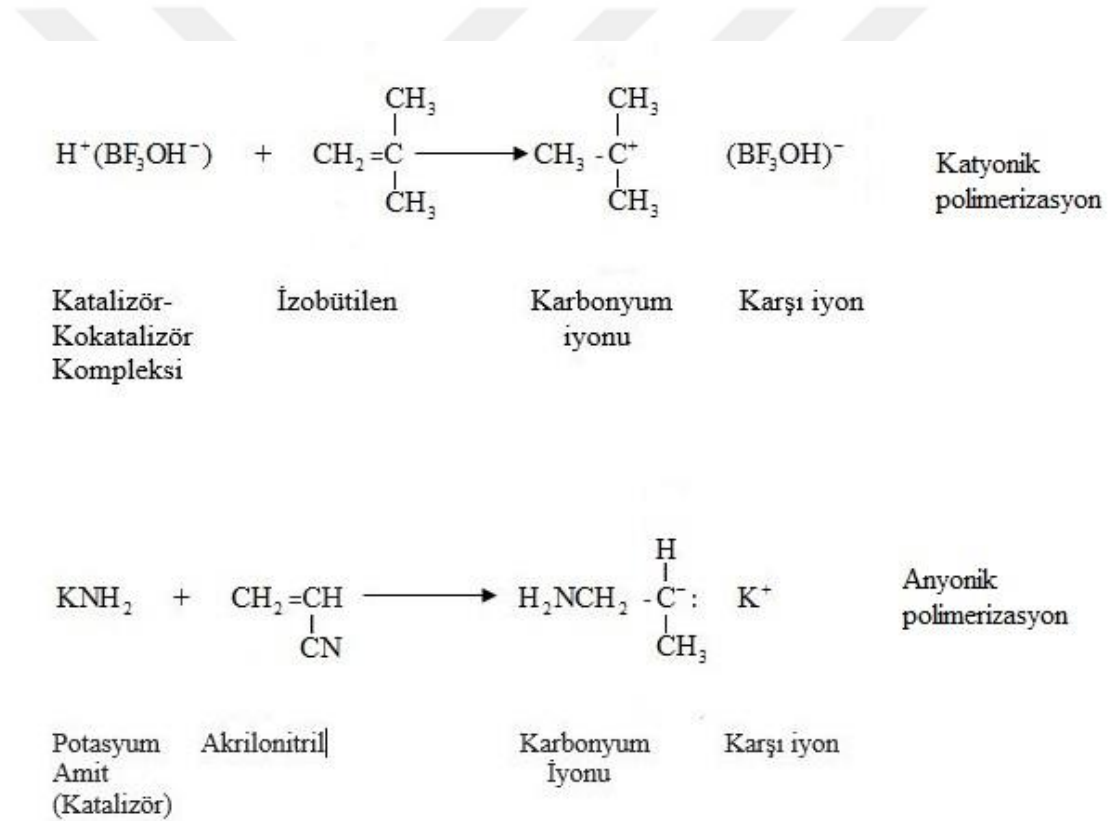


Şekil 1.16. Baş-baş (ya da kuyruk-kuyruk) katılması (Saçak, 1998)

Sonlanma evresinde aktifliklerini kaybeden polimerik zincirler, aktif olmayan zincir şeklinde polimerleşir ve reaksiyonu tamamlarlar. Sonlanma işlemi iki farklı şekilde olabilir. Birleşerek sonlanma ve ayrı-ayrı sonlanma şeklinde ifade edilir. Birleşerek sonlanma reaksiyonlarında, aktif olan iki polimerik zincir birbirleriyle baş-baş ekleme yaparak daha uzun polimer zincirlerini meydana getirir. Aktifliklerini bu ekleme şekliyle kaybedene kadar reaksiyon devam eder ve pasif oldukları anda sonlanma tamamlanır. Ayrı – ayrı sonlanma reaksiyonlarında ise, sadece bir ucunda başlatıcı bulunan yapılarda gerçekleşir. Polimerin son molekülünden diğer bir moleküle hidrojen atomunun aktarımı gerçekleşir. Polistiren gibi olan makroradikaller çoğunlukla birleşerek sonlanma gösterirler (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).

### 1.5.3. İyonik katılma polimerizasyonu

Bir radikalle başlayan zincir polimerizasyonunun seçici özelliği yoktur. Bundan dolayı birçok polimeri bu yolla elde etmek mümkündür. Ancak bir zincir polimerizasyonu için iyonik başlatıcılar kullanılırsa bu durumun, tersi meydana gelir. Zincirin büyümesini sağlayacak karbonyum ya da karbonyon iyonlarının meydana gelmesi ve kararlı olması, monomer üzerinde bulunan radikal grup ile ilişkilidir. Monomerin üzerindeki radikal grup ester, aldehit veya keton gibi elektron çekme özelliği bulunan bir grup ise anyonik polimerizasyon, alkil, alkenil veya fenil gibi elektron itme özelliği bulunan bir grup ise katyonik polimerizasyon meydana gelir (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).



Şekil 1.17. Anyonik ve katyonik polimerizasyon (Saçak, 1998)

#### a) Katyonik katılma polimerizasyon

Bu polimerizasyonda zincirin büyümesi için, iyon-çifti yapısı oldukça önemlidir. İyon çiftleri dört farklı şekilde incelenebilir.



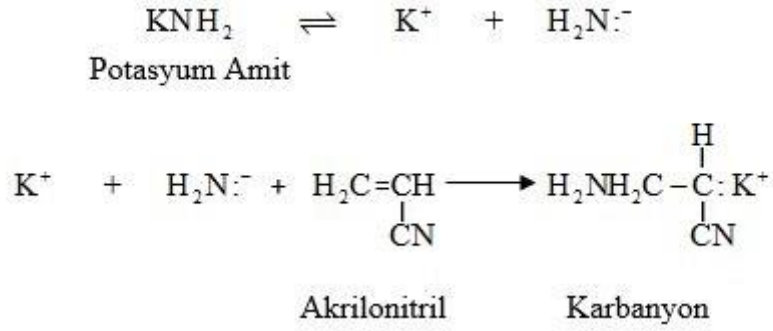
Şekil 1.18. İyon – çift grupları (Saçak, 1998)

Bir katyonik polimerizasyonun meydana gelmesi için sıkı – sıkıya bağlanmış iyon çifti ya da kısmen ayrılmış iyon çifti (II ve III yapıları) ile mümkün olur. Diğer yapılarda katyonik polimerizasyon ilerlemez. Bu polimerizasyon için kullanılan ve ortamda bulunan çözelti çok önemlidir. Katyonik polimerizasyon da başlama, çoğalma ve sonlanma evreleri ile tamamlanır. Polimerizasyon başlatıcı olarak  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$  gibi Lewis asitleri ya da  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gibi kuvvetli protonik asitler kullanılır. Başlama evresinde kullanılan başlatıcı Lewis asitlerin etkinliği için ortamda biraz suya ihtiyaç duyulur (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).

#### b) Anyonik katılma polimerizasyonu

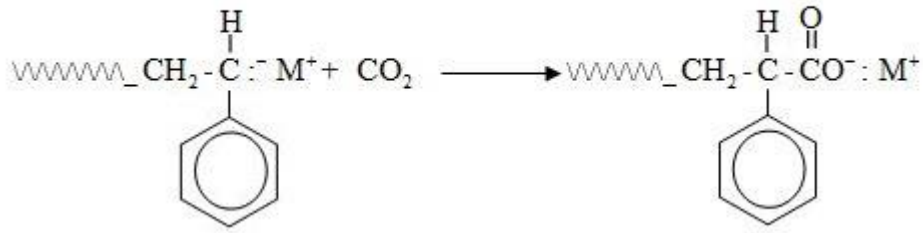
Anyonik polimerizasyonun temel basamakları da katyonik polimerizasyona benzer. Anyonik aktif uçlu başlatıcılar (karbanyon) başlama evresini meydana getirir. Ancak anyonik polimerizasyonlarda sonlanma evresi çok fazla görülmez.

Başlama evresi için potasyum amit, alkali metal veya alkil magnezyum bromürler kullanılabilir. Akrilonitril ile potasyum amitin amonyaklı ortamda bulunması, anyonik polimerizasyonun başlaması için uygun bir ortamdır.



Şekil 1.19. Karbanyon grubunun oluşması (Saçak, 1998)

Oluşan karbanyon atomu ile birlikte katyonik polimerizasyonda olduğu gibi monomerler sürekli bir şekilde zincire katılmaya devam eder. Çoğalma evresinden sonra Akrilonitril ile başlayan polimerizasyon zincirin ortamda bulunan çözücü içerisinde zincir aktararak sonlanır (Saçak, 1998; Carraher Jr, 2017).

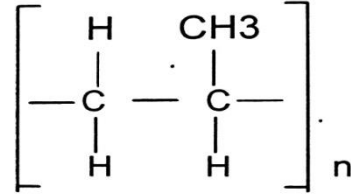


Şekil 1.20. Anyonik polimerizasyon sonlanma evresi (Saçak, 1998)

#### 1.5.4. Polipropilen ve polimerizasyonu

Polipropilen, yarı-şeffaf beyaz görüntüye sahip ve propilenden meydana gelen katı bir maddedir. Propilenin atomik yapısı  $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  şeklinde gösterilebilir.  $0,90 - 0,91 \text{ g/cm}^3$  değer aralığında yoğunluğa sahiptir.  $121 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklıklara kadar kullanıma uygun bir polimerdir. Bundan dolayı PP malzemeler sterilize edilebilir. Soğuk herhangi bir organik çözücüde çözünmez ancak sıcak çözücülerde yumuşar. Farklı ve birçok bükülmelerden sonra bile sertliğini koruyabilir. İçerisine katkı olarak antioksidan katılmadığı zaman ısı ve ışıktan etkilenir. Mantar ve bakterilere karşı dayanıklılık gösterir. Yakılabilir ancak bu yakma yavaşça devam eder. Zehirsizdir ve gıda ambalajı üretimlerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda gıda tüzüğüne de uygundur. Aşağıdaki resimde polipropilenin monomer yapısı gösterilmektedir. Kapalı

parantezin dışında bulunan n ifadesi polimerin derecesini göstermektedir. Ticari polipropilende bu sayı 5000 – 10000 arası değişmektedir. Dolayısıyla derece sayısı polimerlerin mekanik ve kimyasal özelliklerini doğrudan etkilemektedir.



**Şekil 1.21.** Polipropilenin yapısı ve bağ gösterimi

PP, 1957’de üretimi başlamış ve günümüze kadar üretimi hızla artış göstermiş bir malzemedir. PP, Ziegler-Natta katalizörü kullanılarak elde edilir. PP’nin polimerizasyonunda ısı ve basınç kontrol altında tutulur. Uygulanan polimerizasyon tepkimesine ve kullanılan katalizörlerin sistemlerine göre polimerin molekül yapısı üç farklı yapıda meydana gelebilir. Bu yapı farklılıklarına stereokimyasal konfigürasyonlar denir. Bu konfigürasyonlar izotaktik, sindiyotaktik ve ataktik olarak adlandırılır. Ticari olarak en fazla kullanılan izotaktik polipropilendir. İzotaktik PP’de metilen grupları polimerin ana zincirinin aynı tarafında bulunur. Bu şekilde bağlanarak kristal oluşumunu kolaylaştıran bir yapı meydana gelmiş olur (Bilgiç ve ark., 2006; Beşergil, 2009).

İzotaktik PP, ilk olarak 1954 yılında Natta tarafından,  $\text{TiCl}_4$  (Titanyum tetraklorit) ve  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  (Trietil alüminyum) kullanılarak, aktif edici bir sistem ile elde edilmiştir. Bu sistem içerisinde  $\text{TiCl}_4$ ’ün (Titanyum tetraklorit), polimerizasyon esnasında  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  (Trietil alüminyum) ile indirgenerek katı ve kristalin  $\text{TiCl}_3$ ’e (Titanyum (III) klorür) dönüşmesinin sonucu, polimerin yüksek yüzdelik oranda izotaktik yapı içermesini sağlamıştır. Polimer büyümesinin gerçekleşmesi için, daha önce oluşturulan bir geçiş-metal bağının yardımıyla, alkenil çift bağının tekrarlanan ters dönme hareketi polimerizasyonun ilk adımlarındandır. Buna benzer belirli kademelerden sonra molekül ağırlığı yüksek izotaktik polimer yapısı meydana gelir. Katalitik merkez, dahil olacağı monomerin her zaman aynı yüzüne bağlanır. PP’nin polimerizasyon aşağıdaki gibi belirli kademelerden oluşur (Beşergil, 2003).



a) İlk aşama kompleks oluşumu (1.1),



b) Alkilasyonun oluşması (1.2) (Ti bileşeginin alkilasyonu),



şeklinde katalizör oluşumu tamamlanır.

c) Başlama kademesi (1.3)

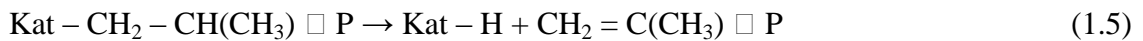


d) Çoğalmanın gerçekleşmesi (1.4)

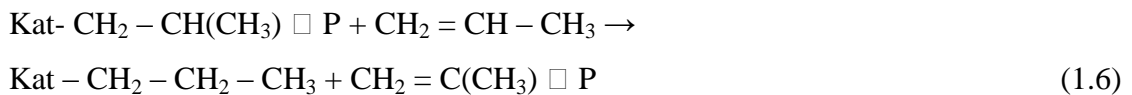


e) Sonlanma reaksiyonları,  $\square$ -Hidrojen ayrılması (1.5), monomer ile zincir transferi (1.6), proton aktif maddeleri ile zincirin sonlanması (1.7) ve Hidrojen ile zincir transferi (1.8) olmak üzere dört ayrı şekilde de yürüyebilir.

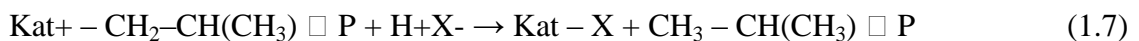
$\square$ -Hidrojen ayrılması,



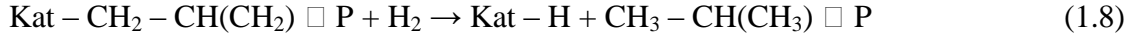
Monomer ile zincir transferi,



Proton aktif maddeleri ile zincirin sonlanması,



Hidrojen ile zincir transferi,



### 1.6. Plastik Enjeksiyon Makineleri ve Özellikleri

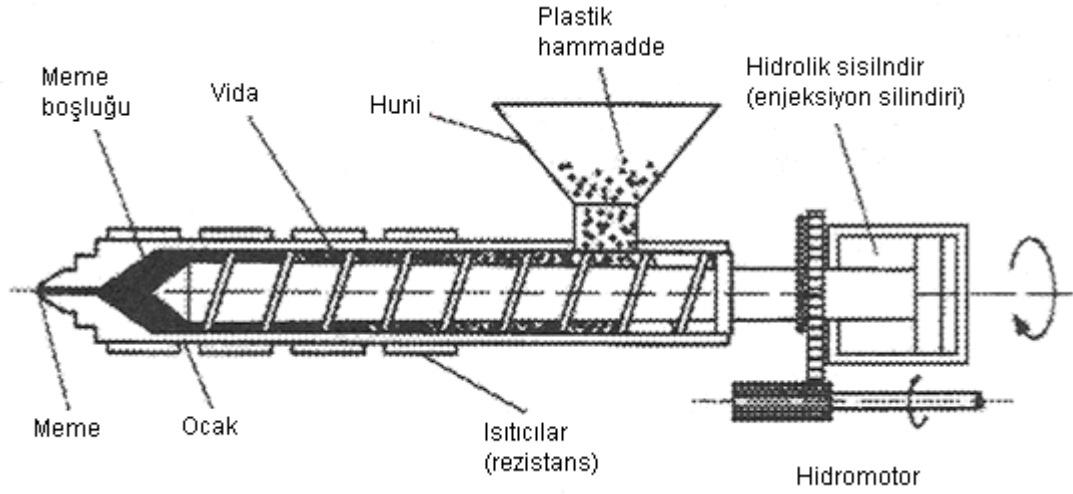
Enjeksiyonla kalıplama termoplastiklerin şekillendirilebildiği bir proses olarak karşımıza çıkmaktadır. Termoplastikler ile birlikte termosetler ve elastomerler de bu teknik ile şekillendirilebilmektedir. Enjeksiyon ile kalıplama tekniği, enjeksiyon ünitesi, sabit ve hareketli kalıp taşıyıcı plaka, besleme ünitesi ve kalıptan meydana gelir. Enjeksiyon ünitesi geleneksel tarzdadır ve burada hammaddenin eritilip homojen hale getirilmesinin ardından da kalıp boşluğuna basınçla doldurulması işlemi gerçekleşir (Kaya, 2005). Makineler genelde kitleme yapabildikleri maksimum değer ile adlandırılır. Bir makinenin mengene kitleme kuvveti ton ile ifade edilir. Örneğin, 450 ton bir makine denildiğinde, bunun anlamı makinenin maksimum 450 ton kuvvetle kalıbı kitleme yapabildiği anlamına gelir. Günümüzde 5000 ton kitleme yapabilen makineler de mevcuttur.



Şekil 1.22. Plastik enjeksiyon makinesi (Anonim, 2011)

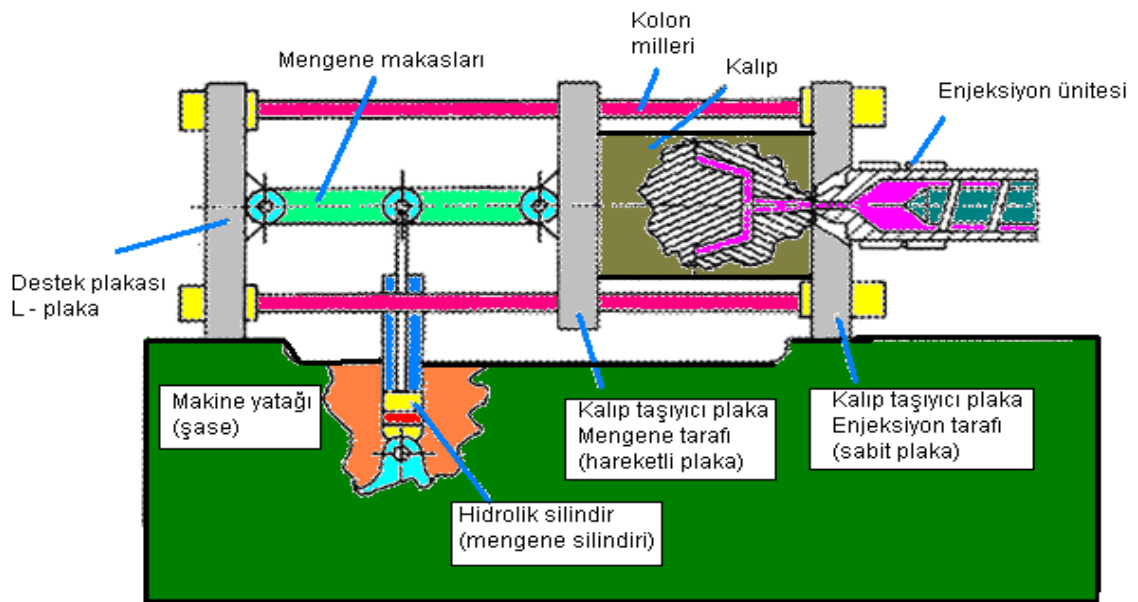
Enjeksiyonla kalıplama sürecinde kalıplama işlemi iki kademede gerçekleşir. İlk aşama bir huni ya da hazneden granül şeklinde olan malzeme ocak denilen bölüme aktarılır. Bazı malzemelerin erimeden önce neminin alınması gerekmektedir. Bundan dolayı hazne içerisine kuru hava beslenerek nem uzaklaştırılır. Eriyik plastik hammaddenin vida

boyunca homojen karıştırılıp kalıp boşluğuna vidanın ileri hareket ettirilmesi ile plastiği doldurması ve soğutarak son ürünün oluşmasıyla ikinci aşamada sonlanır.



Şekil 1.23. Enjeksiyon makinesinin enjeksiyon kısımları (Anonim, 2011)

Hareketli ve sabit kalıp tutucu plakalar kalıplama işleminde en önemli unsurlardır. Bu plakaların kalıbı tam olarak temas ettirmesi ve herhangi bir şekilde boşluğa izin vermemesi gerekmektedir. Örneğin ideal temas yüzeyine sahip bir kalıp kapatıldığında tam bir temas sağlanamamış ise, eriyik plastiğin enjeksiyonu esnasındaki basıncı ile kalıp yüzeyleri bir miktar birbirinden ayrılacağı için, son ürün üzerinde kalıp hacminin dışına taşan (çapak) kısımlar oluşur (Anonim, 2011).



Şekil 1.24. Mengene kısımları (Anonim, 2011)

Enjeksiyonla kalıplama sürecinde genel süreç şu şekildedir;

- \*Kalıbın kapanması
- \*Eriyik plastiğin kalıp hacmine doldurulması
- \*Kalıp içinde şekil verilmiş plastiğin soğutulması
- \*Kalıbın açılması
- \*Hava yardımı ile son ürünün çıkartılması

Yukarıdaki süreç tamamen bir bütündür ve herhangi bir şekilde birindeki aksama üretimin tamamına etki etmektedir. Tüm şartlar ve akış üzerindeki tüm süreçlerin ideal olması gerekmektedir. Buna ek olarak tüm bu işlemleri en kısa sürede sağlanması gereklidir. Bu işlemin tamamlanmasına kalıplama süresi veya çevrim süresi denir. Çevrim süresinin olabildiğince kısa olması üretim verimliliği açısından çok önemlidir. Makineye ait bazı değerlerin devamlı kontrol edilmesi gerekir. Bu kontrol makine üzerinde bulunan bir panel ile sağlanır. Panel üzerinden kontrol edilen değerler, polimer malzemenin eritildiği sıcaklık, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, mengene kitleme kuvveti, ürünün yüzeyindeki pürüzlülükleri gidermek için tutma basıncı, plastik malzemenin soğuma süresi ve çevrim süresi gibi başlıca değerler kontrol edilebilir. Çevrim süresini oluşturan süreler, mengene açma-kapama süresi, enjeksiyon süresi, tutma süresi, soğutma süresidir.

Bir çevrim örneği;

- Mengene açma süresi: 2 saniye
- Mengene kapama süresi: 2 saniye
- Enjeksiyon süresi: 0,5 saniye
- Tutma (ütüleme) süresi: 1 saniye
- Soğutma süresi: 4 saniye
- Çevrim süresi:  $2 + 2 + 0,5 + 1 + 4 = 9,5$  saniye olarak ifade edilir.

Yukarıda anlattığımız tüm süreçler için, aynı süreci gerçekleştiren ancak çalışma mekaniği olarak birbirinden tamamen farklı makineler kullanılmaktadır. Bu makineler hidrolik üniteli, elektrikli ve hibrit enjeksiyon makineleri olmak üzere üçe ayrılırlar.

Hidrolik makinelerde tüm hareket sistemleri basınçlı hidrolik sistemlerle idare edilir. Elektronik olarak sadece kontrol devreleri kullanılır. Hidrolik makinelerde hem enjeksiyon ünitesi, hem de kalıplama ünitesi (hareketli kalıp taşıyıcı) basınçlı şartlandırılmış hidrolik silindirler ile gerçekleşir. Bu sistemler üretim hızı ve stabil üretim prosesleri konusunda avantajlıdır. Fakat bakım onarım, yatırım ve enerji maliyetleri yüksektir.

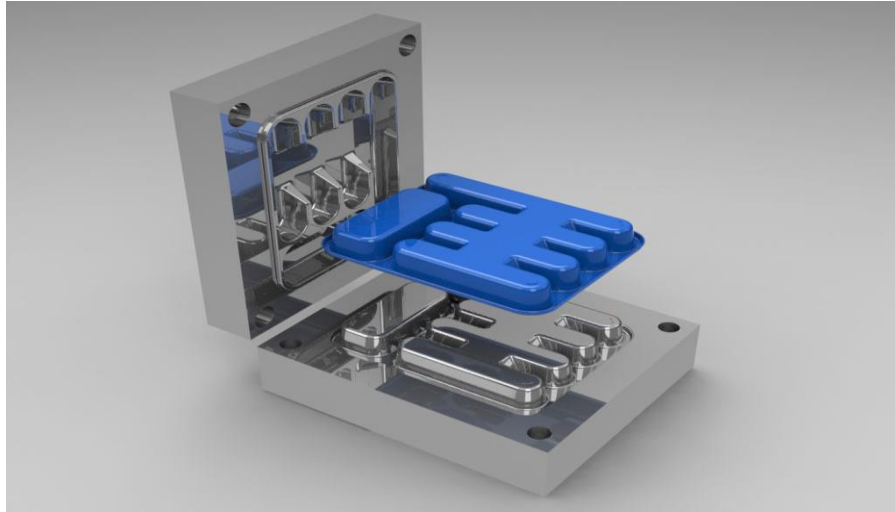
Elektrikli enjeksiyon makinelerinde tüm unsurlar elektrik ve elektronik devreler ile yönetilir. Tüm hareket sistemleri servo motorlar ile kontrol edilir. Enerji sarfiyatları düşüktür, hidrolik makinelere nazaran daha düşük yatırım bedeli ve bakım maliyetlerine sahiptir. Prosesler sürekli kontrol edilip sabitlenme ihtiyacı duyarlar. Günümüzde en çok tercih edilen makinelerdir.

Hibrit enjeksiyon makinelerinde ise enjeksiyon veya kalıplama ünitelerinden herhangi biri hidrolik, diğeri elektrikli. Bu üç makinenin de sadece iç aksamalarında farklılıklar vardır. Çalışma prensipleri aynı olmasından dolayı makine kısımları da aynıdır.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi tüm plastikler için ortak bir yöntemdir. Fakat her bir plastiğin ayrı prosesleri ve ayrı donanımlara ihtiyacı olmaktadır. Termosetlerin pişmesi enjeksiyon kısmında gerçekleştirilir. Elastomerlerin vulkanizasyonu ise kalıp içinde olmaktadır. (Anonim, 2011).

### **1.7. Plastik Enjeksiyon Kalıpları**

Plastik enjeksiyon teknolojisi ile üretilecek bir ürünü, istediğiniz şekil ve boyutlarda üretebilmek için kalıplardan yararlanır. Genel olarak kalıpların tipleri, boyutları ve ağırlıkları çok fazla çeşitlilik gösterir. Bir kalıbın ilk oluşum aşaması kalıbın tasarlanmasıyla başlar. Mevcut durumda bulunan malzemeyi ya da yeni bir plastik ürün üretmek için tasarım süreci çok önemlidir. Kalıp yapım işlemleri oldukça zahmetli, hassas ve yüksek maliyetlidir. Kalıbı tasarlarken yapılacak en küçük hata, hem kalıpta, hem de o kalıptan üretilen ürünlerde olumsuz sonuçlar meydana getirir. Erimiş plastiğin soğuması için gerekli soğutma kapasitesi, tercih edilecek plastiğin çekme eğilimi, erimiş plastiğin kalıp içinde izlediği akış yolu, kalıbın ihtiyacı olan hava, yağ bağlantıları vb. gibi bütün detaylar tasarım aşamasında ele alınır (Turaçlı, 2000).



**Şekil 1.25.** Kalıp ve plastik ürün örneği (Anonim, 2019a)

Kalıp tasarımında, kalıbın yapılacağı ya da işleneceği malzeme seçimi de çok önemlidir. Üretilen bir kalıp ile yüzbinlerce, milyonlarca baskı yapılabilir. Her baskıda aynı kalitede ve standartta ürün üretebilmek için kalıbın malzeme cinsinin özelliği iyi belirlenmelidir. Kalıbın esnekliği, dayanıklılığı, sürtünmeye karşı duyarlılığı, küflenmemesi, mukavemetinin yüksek olması kalıp yapılacak malzemenin seçiminde en önemli etkenlerdir. Kalıp yapımında genellikle alaşımlı çelik malzemelerden yararlanılır. İşlemesi kolay ve istenilen özellikte alaşımlar mevcuttur. Kalıplar için AISI (American Iron And Steel Institute) çelik sisteminde alaşım çeşitleri vardır. AISI, kalıp çeliğini ‘P’ diye sınıflandırmış ve içerisinde bulunan element yüzdelerini standartlaştırmıştır. Aşağıdaki Çizelge 1.3.’te, bu sınıflandırma ve element yüzdeleri verilmiştir (Turaçlı, 2000).

**Çizelge 1.3.** AISI kalıp çeliği element yüzdeleri tablosu (Turaçlı, 2000)

Element %	P2	P3	P4	P5	P6	P20	P21
Karbon (C)	0,07	0,10	0,07	0,10	0,10	0,35	0,20
Alüminyum (Al)							1,20
Molibden (Mo)	0,20		0,75			0,40	
Krom (Cr)	2,00	0,60	5,00	2,25	1,50	1,25	4,00
Nikel (Ni)	0,50	1,25			3,50		

Kalıpların kendi içinde kullanılan malzemelere ve kalıp bölümlerine ait ayrı bir kalıp terminolojisi vardır. Kalıbın içerisine gönderilen erimiş plastiğin soğuduğu kısma kalıp boşluğu denir. Her bir boşluk bir kalıp gözü olarak adlandırılır. Tek boşluk varsa kalıp tek gözlü, dört boşluk varsa kalıp dört gözlü denir. Bu kalıp gözü kavite olarak da adlandırılır.



**Şekil 1.26.** 4 gözlü kalıp örneği (Anonim, 2019b)

Kalıp temel olarak iki ana parçadan oluşur. Erkek kalıp ve dişi kalıp olarak adlandırılır. Bir diğer ifade şekli, erkek plaka ve dişi plaka şeklindedir. Erkek kalıp, kalıbın iç kısmı olarak bilinir. Kalıba enjekte edilen erimiş plastik erkek kalıp üzerinde şekil alır ve soğur. Enjekte edilen plastik ürünün çekme eğilimi, erkek kalıp üzerinde gerçekleşir. Soğumuş ve nihai ürün olan plastik malzeme erkek kalıbın üzerinden alınır. Bu alma işlemi bazen manuel olabilir. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte otomasyon sistemleri, ürün alma işlemini gerçekleştirmektedir. Erkek kalıbı tamamlayan ve erimiş plastiğin ilk girdiği dişi kalıp parçasına da dişi kalıp denir. Dişi kalıp, kalıbın dış yüzeyi olarak tanımlanabilir. Dişi kalıbın içerisinde yolluk denilen milimetrik iğne benzeri parçalar vardır (Turaçlı, 2000).



Şekil 1.27. Kalıp ana parçaları (Anonim, 2013)

Eriyik plastik yüksek basınçta bu yolluktan geçerek kalıba girer. Yolluklar da kendi içlerinde sıcak yolluk ve soğuk yolluk olarak ikiye ayrılır. Sıcak yollukta yolluk kısmını çevreleyen rezistanslar bulunur ve daha ince plastik ürünlerin üretiminde tercih edilir. Soğuk yolluk daha büyük ve kalın plastik ürün kalıplarında kullanılır. Bu tarz kalıplarda, yollukta ayrı bir rezistans bulunmaz. Bu şekilde tasarlanan kalıplarda erkek kalıp enjeksiyon makinelerinde hareketli mengene plakasına bağlanmaktadır. Dişi kalıpta makinanın sabit tarafına bağlanmaktadır. Kalıp tasarımcıların çoğu erkek kalıp ve dişi kalıp tasarımını bu şekilde yaparlar. Erkek kalıbın üzerinde plastik parçanın çıkarılması için kullanılan iticiler bulunur. İticiler mekanik ve elektrik enerjisiyle çalışabildiği gibi hava, yağ basınçlarından yararlanarak da çalışabilir (Turaçlı, 2000).

### 1.7.1. Chiller kalıp soğutma sistemleri

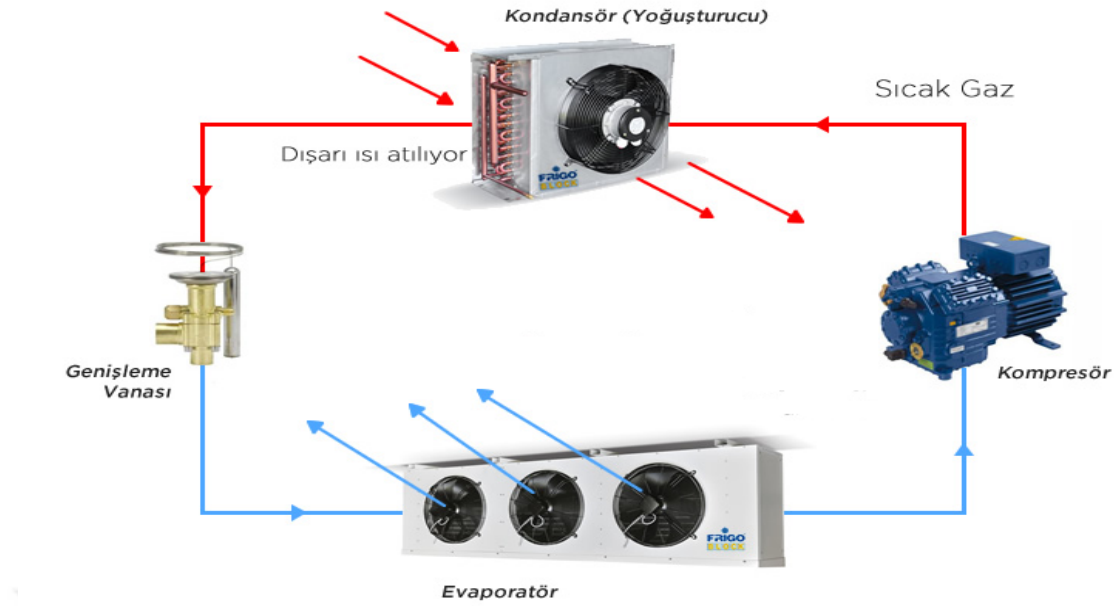
Eriyik plastik kalıp içerisine girdikten sonra, şeklini koruyabilmesi için soğutma yapılması gerekmektedir. Bu soğutmaya sağlayan suyun sıcaklık derecesi, eriyik halde bulunan polimere göre değişkenlik gösterebilir. Bir sistem ile kalıp içerisine gönderilen soğuk su, erimiş polimerden aldığı ısıyla tekrar soğutmak için sistemi terk eder. Suyu soğutmaya yarayan ve plastik sektöründe fazlaca tercih edilen soğutma sistemlerin biri de chillerlerdir. Bu sistemler su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak iki farklı tipte bulunur (Friterm, 2009).





Şekil 1.28. Chiller soğutma sistemleri (Anonim, 2019c)

Chiller soğutma sistemlerinin çalışma şekli, içerisinde bulunan bir soğutucu akışkan ile sağlanır. Bu akışkan bir kompresör yardımıyla basıncı yükseltilir. Bir kondenser yardımıyla ısınıncı çevreye verir. Bu aşamadan sonra bir genleşme valfi yardımıyla sahip olduğu basıncı azalır. Burada evaporatöre geçerek buharlaşır ve soğutulacak suyun üzerinden ısıyı alarak su soğutmasını sağlar. Su soğutmalı ve hava soğutmalı chiller soğutma sistemlerinde sadece kondenserler farklıdır. Su soğutmalı chillerde kondenser su soğutmalıdır ve boru-kovan şeklindedir. Boruların içerisinde bulunan sıcak suyu, boru dışından geçen soğutucu akışkan buharı soğutur. Sıcak olan sudan aldığı ısı ile tekrar yoğuşarak sisteme tekrar dahil olur. Hava soğutmalı chillerdeki kondenser de farklıdır. Bu sistemlerde kanatlı-borulu eşanjör kullanılır. Eşanjörde bulunan soğutucu akışkan buharına ait ısı, eşanjörün dışından geçirilen ortam havasının yardımıyla yoğuşturulur. Her iki sisteminde mevsimsel kullanım farklılıkları vardır. Dış ortam sıcaklıklarına göre veya yaşanan iklime göre maliyeti en düşük olan sistem tercih edilmelidir. Bütün bu sistemlerin temeli aşağıdaki gibi şematik çalışma şekli içerir (Friterm, 2009).

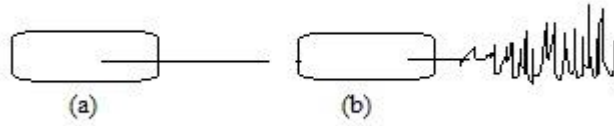


Şekil 1.29. Chiller çalışma prensibi (Anonim, 2019c)

## 1.8. Soğutucu Akışkan Su

Maddenin temel üç hali bulunur. Katı, sıvı ve gaz hali olarak adlandırılır. Sıvı ve gaz halinde bulunan maddeler, akışkan maddeler olarak isimlendirilir. Akışkan bir maddenin, katı bir maddeye göre kayma gerilmesine karşı gösterdiği direnç farklıdır. Katı malzemeler gerilmeye karşı belirli bir etkiye kadar şekil değiştirerek direnç gösterebilir. Ancak sıvı direnç karşısında sürekli şekil değiştirir. Bilinen en iyi sıvı ve akışkan madde sudur. Su ve diğer akışkanların hareketlerini inceleyen akademik bilim dalı akışkanlar mekaniğidir (Çengel, 2008).

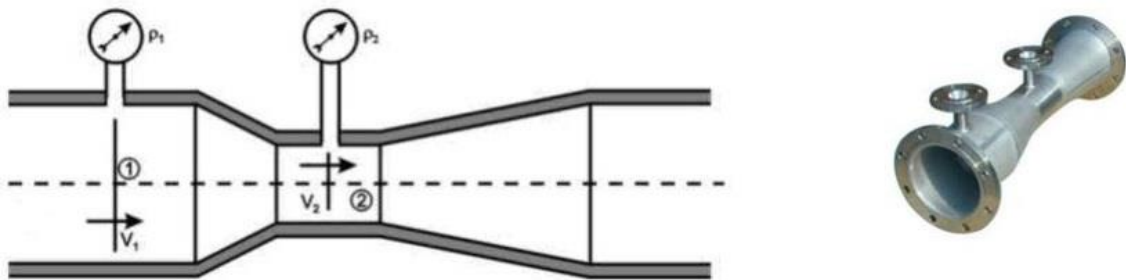
Isıtma ve soğutma sistemlerinde akışkanlardan yararlanılmaktadır. Bu sistemlerin genelinde pompa, fan ve vanalardan yararlanır. Akışkanların dağıtımı, kullanıldığı alanlara uygun borular yardımıyla sağlanır. Akışkan aktarımında farklı hesaplamalar kullanılır. Akışkanın cinsi, alacağı yol, aktarım sistemindeki malzeme cinsi akışkan mekaniğini etkileyebilir. Bundan dolayı olası bir ısıtma ya da soğutma sisteminde bütün bu detaylar ön planda tutulmalıdır. Aktarım sırasında akışkan maddeler laminer ya da türbülanslı akış hareketi gösterirler. Laminer akış, düşük hızlarda doğrusal ve çok düzenli bir şekilde akış sağlar. Türbülanslı akışta ise tam tersi olarak çok karmaşık ve yüksek hızda akış görülür. Görsel olarak iki akış şekli aşağıda gösterilmiştir (Çengel, 2008).



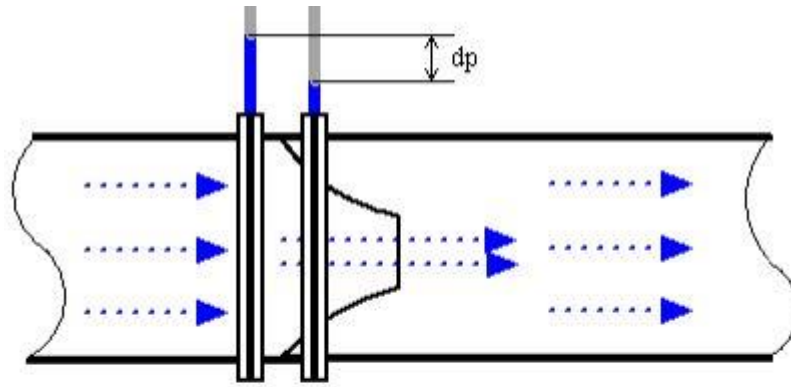
Şekil 1.30. (a) Bir borudan çıkan laminer akış, (b) bir borudan çıkan türbülanslı akış

Türbülanslı akış kullanılan sistemlerde debinin de önemi ortaya çıkmaktadır. Debi bir akışkanın, birim alandan bir saniyede geçen miktarıdır. Özellikle soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın debisi, soğutulacak malzeme üzerindeki soğutma kapasitesinde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, plastik ürün üretiminde sıcak hammaddenin soğutma ihtiyacını, soğutucu tesisat kapasitesini ve çalışma prensiplerini değerlendirmek gerekmektedir. Enjeksiyon makinelerinde üretilen plastik parçalar için, su soğutma sistemleri (soğutma kulesi, chiller, dry cooling, freecooling) detaylı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca plastik enjeksiyon kalıpları için soğutma yükü, soğutucu akışkanın kalıp içi debisi, soğutma suyu sıcaklığı hesaplanmalıdır. Plastik malzemelerdeki çekme etkisinin soğutucu akışkana ve soğutma kapasitene bağlı olduğu bilinmektedir (Gülpak, 2013).

Kapalı kanallarda akış ölçer materyaller ile debi değeri tespit edilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanları, venturimetre, orifismetre ve lüledir. Venturimetre ve lüle, akışkanın kesit daralmasına etki etmesini sağlar. Kesit daralması esnasında akışkanın, hızı ve basınç değerleri değişir. Bu değişimle birlikte süreklilik denklemi ile debi hesaplanır (Aktacir, 2010).

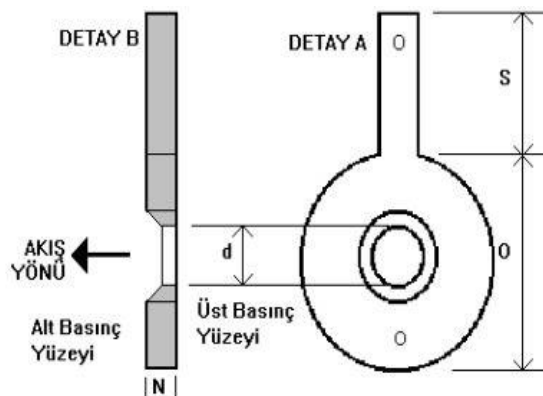


Şekil 1.31. Venturimetre (Aktacir, 2010)



Şekil 1.32. Lülenin mekanik işleyişi ve görseli (Aktacir, 2010)

Orifis metre veya orifis plakaları ölçüm yapılacak sistem üzerinde, bir ya da iki flanş arasına montaj edilir. Akışkanın ilk girdiği noktadaki plakadan geçişi yüksek basınçta gerçekleşirken, son çıkışında düşük basınç gerçekleşecektir. Elde edilen basınç farklı ile birlikte debi değeri ölçümü hesaplanır. Orifis plakalarına ait bölümler ve görsel Şekil 1.33.'de gösterilmiştir (Aktacir, 2010).



Şekil 1.33. Orifis plaka teknik çizimi ve görseli (Aktacir, 2010)

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Cengiz (2012), bu çalışmasında, polipropilen ve polietilen esaslı ürünlerin diğer polimerle karşılaştırılmasını yaparak prosesleri ve ısıl yayınımları incelemiştir. Burada AYPE (alçak yoğunluklu polietilen), YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen), LAYPE (lineer alçak yoğunluklu polietilen) ve PP (polipropilen) malzemelerin temel olarak barındırdığı tüm özellik ve yapılar incelenmiş, üretim prosesleri, proses sonucu hatalar (kabarcık, yanık, tüylenme vs.) ve bu hataların eliminasyon yöntemlerini araştırmıştır. Plastik ürünlerin üretimi esnasında soğutma süresinin, toplam kalıplama süresinin %70'ni oluşturduğu belirtmiştir. Bunun ardından ısıl taşınımı 'Fourier Metodu' ile analiz edip, ısıl yapıları incelemiştir. İşlenecek olan bir polimer malzemenin üretim şekli, işlendiği sıcaklık, kalıp ve diğer enjeksiyon makinesi parametrelerinin doğrudan malzemeyi etkileyecek faktörler olduğunu belirtmiştir.

Yiğit (2011), bu çalışmada başlıca plastik ürün üretim yöntemi olan enjeksiyonla kalıplama yöntemi ve bu yönteme en uygun plastiğin kullanımını araştırmıştır. Bu bağlamda, üretim yapılan plastik enjeksiyon makinelerinde oluşan mekanik ve hidrolik mekanizmalarda, olası arızalar ve üründe oluşan hataların giderilmesini detaylı şekilde inceleyip açıklamıştır. Plastik ürünlerdeki çekme miktarının en önemli faktör olduğunu belirtmiştir. Enjeksiyonla kalıplamada tutma basıncı, enjeksiyon basıncı, tutma süresi, soğutma süresi ve kitleme kuvvetinin çekme miktarına etki ettiğini açıklamıştır. Aynı zamanda bu etkilerin üretim verimliliğine olan etkisine değinmiştir.

Gülpak (2013), bu çalışma kapsamında, plastik ürün üretimindeki sıcak hammaddenin soğutma ihtiyacını, soğutucu tesisat kapasitesini ve çalışma prensiplerini, mevsim değişkenliklerini de dikkate alarak irdelemiş ve sonuçlarını açıklamıştır. Çalışmasında enjeksiyon makinelerinde üretimi yapılan plastik parçalar için, su soğutma sistemleri (soğutma kulesi, chiller, dry cooling, freecooling) detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca kalıplar için soğutma yükü, soğutucu akışkanın kalıp içi debisi, soğutma suyu sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu hesabın maliyet açısından önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca çalışmasında, belirlenen işletme için tüm soğutma tesisatı, ekipman ve cihazların detaylı şekilde incelenip, mevsimsel geçişlerin bu sistem üzerindeki etkileri incelenmiş ve sistem modellemesi yapılmıştır. Bu sistemler için gerekli iyileştirme çalışmaları ve

sürdürülebilirliği, yeni teknolojik sistemlerle karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

Şahin ve Yayla (2005) tarafından yapılan bu çalışmada, random kopolimerlerin mekanik ve teknik özellikleri farklı proses parametrelerinde incelenmiştir. Özellikle masterbatch kullanım oranının, random kopolimerin akışkanlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Alınan numunelerde, çekme, Charpy darbe dayanım testi, camsı geçiş sıcaklığı, Shore D test sonuçları, DSC (diferansiyel taramalı kalorimetre) ve Vicat yumuşama sıcaklık test sonuçları değerlendirilmiştir. Farklı renklerde ve farklı hacimsel oranlarda (%0,5' ten %10' a kadar) masterbatch kullanılarak, random kopolimerin üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Her yüzdelik masterbatch seviyesinde gözlemlenen mekanik davranışlar, ekstrüzyon çekme ve enjeksiyonla kalıplama prosesleri için açıklanmıştır. Bir polimerin içerisine katılan herhangi bir katkı malzemesinin türü, karışım oranı, karışım şekli ve işleme yöntemi, o polimerin mekanik özelliklerini etkilediği vurgulanmıştır. Polimerlerin depolama ve saklama sürelerinin, polimer özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Katmer (2010) çalışmasında, plastik ürünlerin en sık üretim yöntemi olan plastik kalıplama yöntemini açıklamış ve polimerlerin bu üretime dahil olma sürecini irdelenmiştir. YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen), PP (polipropilen) ve PS (polistiren) malzemeleri ile çalışmıştır. Bu malzemelerle üretilen son ürünün üzerindeki, ısı transferi ile bağlantılı plastik iç gerilme ve yüzey gerilmelerinin (çarpıklık) detaylı incelemesini yapmıştır. Bu inceleme esnasında deney sayısını azaltmak için Taguchi deney tasarımını uygulamıştır. Çalışmasında altı farklı parametreyi esas almıştır. Bunlar; enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı, ütüleme süresi ve soğutma süresidir. Bu parametreleri dikkate alarak üretilen parçalarda belirli deneysel yöntemler kullanmış ve sonuçları değerlendirmiştir. Bir plastik ürün üretiminde meydana gelen çarpılma ve gerilmelerinin, kalıplama şartları ile değiştiğini vurgulamıştır. Kalıplama yapılan polimerin türünde, gerilme ve çarpılma üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Demirer (2011) yapmış olduğu çalışmada, içerisinde katkı olan ve katkı olmayan PP malzemeler kullanmıştır. Bu malzemeleri, plastik enjeksiyon prosesinde işleme tabi tutmuştur. Enjeksiyon esnasında meydana gelen birleşme izlerini esas almışlar ve bu

izlerin mekaniksel etkilere olan hassasiyetini incelemiştir. Çalışmalarında PP (polipropilen) ve PP (polipropilen) + %30 cam elyafı malzemeler tercih edilmiştir. Bu malzemeleri aynı kalıpta kalıplayarak, tek girişli birleşme izi olmadan ve simetrik şekilde çift girişli birleşme izi olan numuneler olarak iki şekilde almıştır. Numuneleri, üç farklı proseste almıştır. Numuneleri aldığı kalıba ait soğutma sürecinin homojenliğini sağlamış ve Moldflow programı kullanmıştır. Aldığı numuneleri çekme ve eğme testlerine tabi tutmuş ve birleşme izi olan numunelerde çekme ve eğilmede azalma olduğunu saptamıştır. İşleme sıcaklıklarının, birleşme izinde de çok önemli bir rolü olduğunu ve kontrol edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Barbosa ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama işlem koşullarına uygulanan termomekanik ortam (TME-thermomechanical environment) ve talk-dolgu polipropilenin gerilme özellikleri arasındaki ilişkilerin yeni ve genişletilmiş termomekanik indeks (TMI-thermomechanical index) konseptini benimsemeye odaklanmışlardır. Bu yaklaşımda, TMI işleme sırasında TME'yi karakterize eden kalıplama işleminin hesaplamalı simülasyonlarından yararlanılmış ve daha sonra kalıpların mekanik özellikleri ile ilgili olduğunu öngörmüşlerdir. Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama parametrelerini (enjeksiyon akış oranı, enjeksiyon sıcaklığı, kalıp çeperi sıcaklığı ve tutma basıncı) ve dolayısıyla TME'yi değiştirmek için Taguchi dizilerine dayanan bir deney yaklaşımını benimsemişlerdir. Enjeksiyon kalıplamayla alınan gerilme numuneleri için, varyans analizinden sonuçlar elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre dikkate alınan işleme koşulları arasında akış oranının, Young modülünün en önemli parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Akış hızı ve eriyik sıcaklığı, kırılma için en önemli faktör olduğuna değinmişlerdir. Tutma basıncı ve akış hızı, verimdeki baskı için en önemli parametre olduğunu söylemişlerdir. Kırılmadaki gerginliğin, soğutma parametrelerine (kristallik ile ilişkili) bağlı olduğunu söylemişlerdir.

Çakır ve ark. (2001) yapmış olduğu çalışmada, enjeksiyon kalıplama ile üretilen plastik ürünlerdeki, çekme oranlarını irdelemişlerdir. Bu çekmelerin, özellikle makinelerde kullanılan mekanik parçaların yerine, üretilen plastik parçalar için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu tür hassas tasarımlı malzemelerde dar toleranslı çekme oranları verildiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında I 20 – 3 polietilen kullanmışlardır. Bu malzeme ile üretilen plastik ürünlerin çekme oranlarını, enjeksiyon değerlerini ve kalıp özelliklerini dikkate almışlardır. Bu etkenlerin deneysel olarak ele alındığı çalışmada,

gerçekleşen deneyler ile enjeksiyon veya eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, katkı maddelerinin oranı ve çevrim süresinin, plastik malzemeler üzerindeki çekme oranına karşı etkilerini yorumlamışlardır. Bu sonuçları grafiksel olarak hesaplamışlar ve sonuçlarını yorumlamışlardır. Üretim aşamasında katkı malzemesi olarak sanayide fazlaca tercih edilen I 668 polietilen malzemesini tercih etmişlerdir. Enjeksiyon basıncının ve çevrim süresinin artması ile birlikte çekme oranının azaldığını, katkı malzemesinin ve enjeksiyon sıcaklığının artırılması ile de çekme oranının arttığını tespit etmişlerdir.

Aslan (2013) yapmış olduğu çalışmada, plastik malzemelerin mekanik özelliklerini koruyabilmesi için, geri dönüşümle kazanılan malzemelerin öneminden yola çıkmıştır. Geri dönüşümle elde edilen malzemelere nitelik kazandırmanın önemini vurgulamıştır. Bu çalışmayı, endüstride tercih edilen %40 kalsit (kalsiyum karbonat) katkı maddeli polipropilen malzemeyi geri dönüşüm mantığıyla kullanarak, bu durumu deneysel bir yöntemle incelemiştir. Bu malzemenin geri dönüşümle eldesinden sonra, mekanik özelliklerini incelemek için numuneler hazırlamıştır. %100 geri dönüşüm olmayan malzemeyle %5, %10, %15, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında, sadece bir kere geri dönüştürülmüş malzemeleri karıştırmış ve aldığı numunelere farklı mekaniksel testler uygulamıştır: Numunelere, normal çekme, kaynak bölgesi çekme, üç nokta eğme ve izod çentik darbe testlerini yapmıştır. Bu test sonuçlarına göre, malzemelerin mekanik değişimlerini saptamış ve plastik parçaların kullanılacağı durumlara göre geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz kırma malzeme seçimi için bir uygunluk indeksi elde etmiştir. Geri dönüşümlü malzemelerle alınan numunelerde, darbe dayanım oranının azaldığı, eğme ve çekme oranlarında ise kayda değer olumlu ya da olumsuz bir sonuçla karşılaşmadığını belirtmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan materyaller

Çalışmamız prototip cihaz yapımı, kullanılacak polimer malzemesinin seçimi ve numune alınacak enjeksiyon makinesi seçimi olarak temel üç ana başlıkta gerçekleşmiştir. Prototip cihazımızın yapımı için kullanılan materyaller Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Prototip cihazın teknik çizimindeki kısaltmalar ve açıklamaları

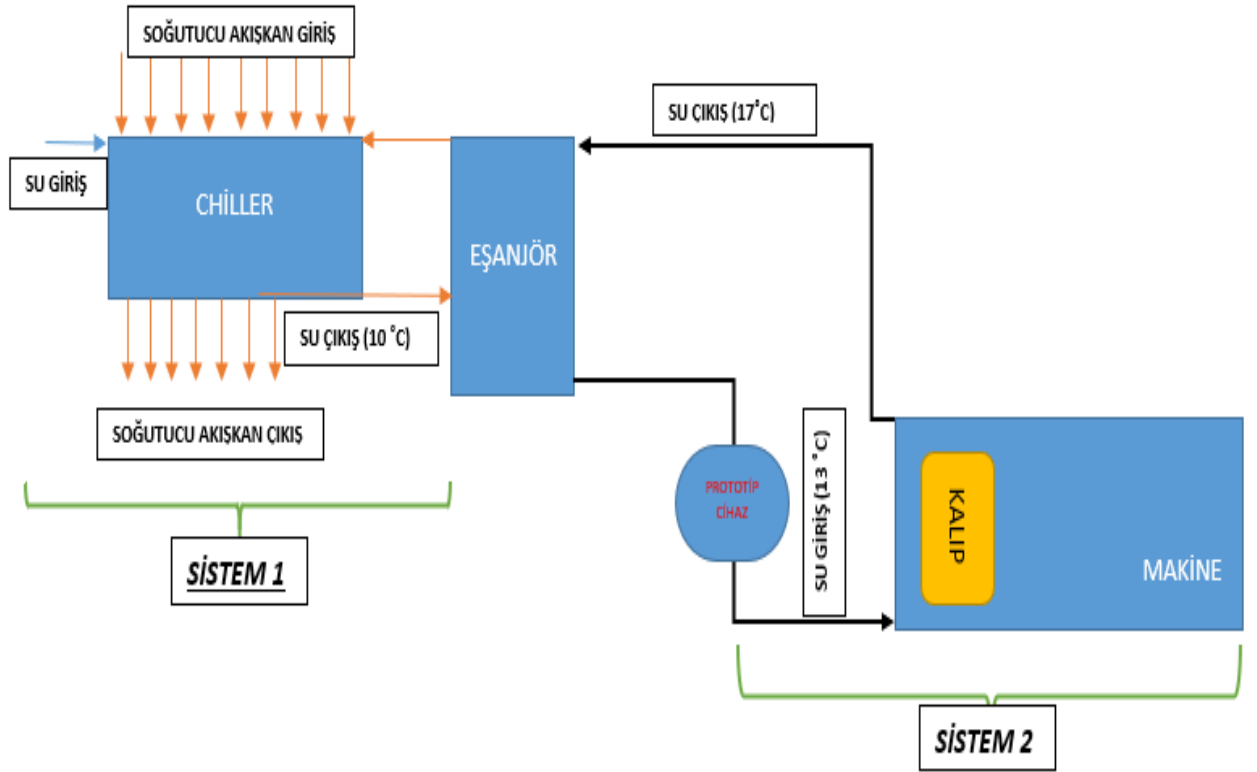
Kısaltma kodları	Kullanılan cihazlar	Açıklamalar	Kullanılan Markalar
KNT_1	PID kontrol cihazı	PID (Oransal-integral-türevsel)	ORDEL
V_1	Giriş küresel vana	Manuel	Sanayi tipi
FLT_1	Giriş Y tipi filtre		AYVAZ
P_1	Manometre	Oransal vana öncesi	PAKKENS
FM_1	Akış metre (flow metre)	Manyetik (%3 hassasiyet) Flow metre out / 4-20 mA	KROHNE
OV_1	Oransal vana	Besleme gerilimi 24 volt, kontrol 4-20 mA	SIEMENS
T_1	Termometre	Oransal vana sonrası	PAKKENS
P_2	Manometre	Oransal vana sonrası	PAKKENS
T_2	Termometre	Kalıp çıkış sonrası	PAKKENS
ÇV_1	Çek valf		AYVAZ
P_3	Manometre	Kalıp çıkış sonrası	PAKKENS
V_2	Çıkış küresel vana	Manuel	Sanayi tipi

Çalışmamızda tercih ettiğimiz polimer malzeme BOREALIS RJ 766 random kopolimer polipropilendir. Malzeme ile ilgili gerçekleştirmiş olduğumuz analiz sonuçları yöntem kısmında detaylı irdelenmiştir. Üretimi gerçekleştireceğimiz makinemiz JSW Elektrikli enjeksiyon makinesidir.

#### 3.2. Sistemin çalışma prensibi

Çalışmamızı yaptığımız işletmede plastik enjeksiyon kalıpları, kapalı devre su soğutma sistemi ile soğutulmaktadır. Bu soğutma sistemi iki ayrı sistemden oluşmaktadır. Birincisi dış soğutma, ikincisi iç soğutma şeklindedir. Chiller soğutma cihazından gelen soğuk su (dış soğutma) ortalama 10 °C sıcaklıkla eşanjörlere gelmektedir. Üretim hattından çıkan ortalama 17 °C sıcaklığa sahip suda (iç soğutma)

eşanjöre gelerek ısı alışverişi meydana gelir ve üretime tekrar dönen su 13 °C sıcaklıkla sabit bir debide kalıplara beslenir. Sistemin şematik gösterimi Şekil 3.1.'de verilmiştir.

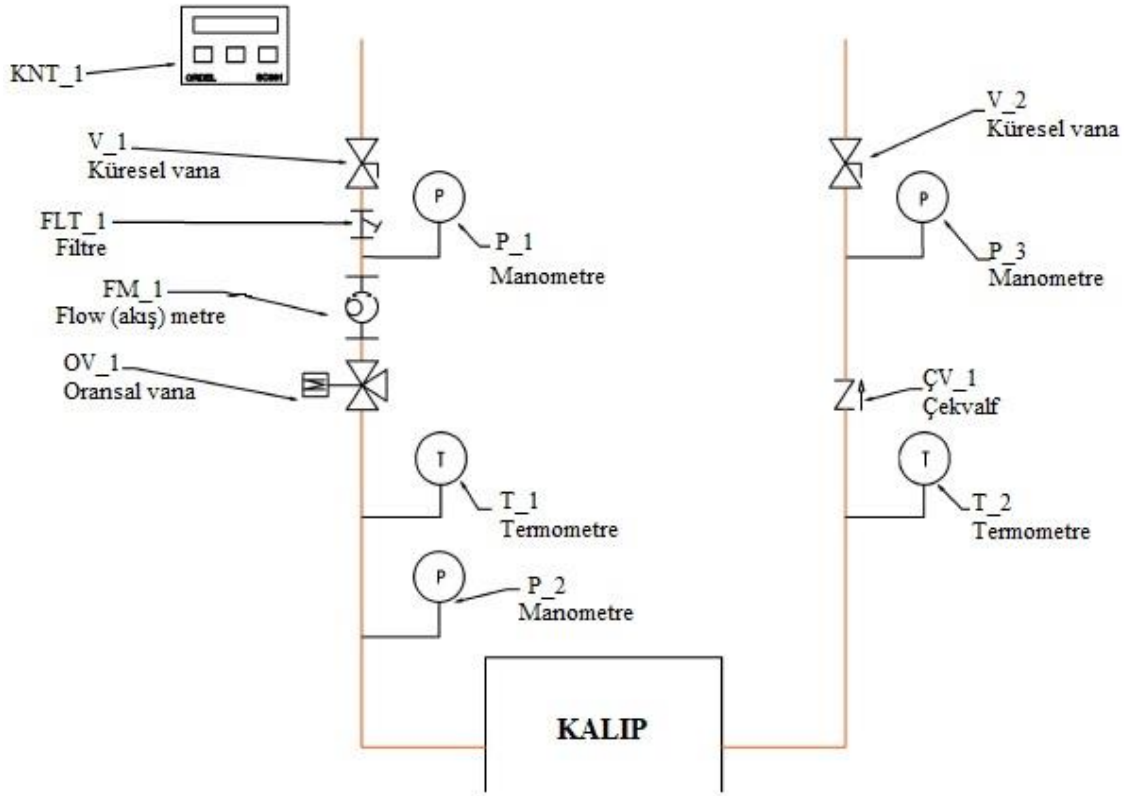


Şekil 3.1. Sistem şematik gösterimi

Çalışmamızın amacı, sabit debiden kurtularak, oluşacak debi değişkenliklerinin ürettiğimiz ürünün kalitesine etkisini incelemektedir. Debi parametresinin değiştirilmesi ile, üretilen plastik ürünlerin mekanik özelliklerinde farklılıklar gözlenebildiği için, debiyi değiştirebileceğimiz bir prototip cihaz tasarımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle çalışmamızın ilk aşaması, bu prototip cihazın tasarlanması ve yapım aşaması olmuştur. İkinci adım olarak mekanik özelliklerine bakılacak endüstriyel ürünün seçimi, ürünün fiziksel özellikleri ve üretimde farklılıkları gözlemlenecek polipropilenin seçilmesi değerlendirilmiştir. Üretilen plastik malzemenin hammaddesi random kopolimer polipropilendir. Son olarak bütün parametreler uygun hale getirilerek üretime başlanmıştır ve numuneler alınarak deneysel çalışma sonuçlandırılmıştır.

### 3.3. Prototip cihazın yapılışı

Sistemden kalıba gelen soğutma suyu, kauçuk borularla kalıba ulaşmaktadır. Prototip cihazın bu boru hattına bağlanacak şekilde girişleri ayarlanmıştır. Cihazın ilk noktası, sistemden gelen suya izin vermesi için, manuel küresel vana ile kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. Vana açıldıktan sonra su, bir filtreden geçer. Suyun içerisinde bulunabilecek katı partiküller bu sayede sudan arınmış olacak ve kalıp içerisinde bir tıkanıklığa sebep olmayacaktır. Ayrıca filtrelenen suyun debisi ve sıcaklığını gösteren bir akış metre (flow metre) cihazı ve basıncını gösteren bir manometre eklenmiştir. Bu sayede sistemden direk gelen suyun debisi, sıcaklığı ve basıncı kontrol edilebilecektir. Sistemden gelen su, cihaza montajlanan oransal vana sayesinde debisi değiştirilerek, kalıba gidecek olan suyun debisi ayarlanacaktır. Bu oransal vana bir kontrol panelinden kontrol edilecektir. Oransal vana sonrasında yine suyun sıcaklığı ve basıncını kontrol etmek için termometre ve manometre bulunmaktadır. Debisi ve diğer değerleri kontrol edilen su kalıba girecek ve kalıba enjekte edilmiş plastik eriyiğin soğutulması sağlanacaktır. Soğutma esnasında üzerine aldığı ısı ile kalıbı terk edecektir. Kalıbı terk eden suyun sıcaklığını ve basıncını ölçmek için cihaz üzerinde birer tane termometre ve manometre daha vardır. Giden suyun olası bir geri dönüşü ya da geri kaçırmasını engellemek için araya çek valf konulmuştur. Kalıp sonrası ısınmış su, manuel küresel vana açılarak ana sisteme tekrar dahil olacaktır. Şekil 3.2.'de prototip cihazın teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3.2. Prototip cihazın teknik çizimi

Teknik resimde verilen kısaltmalara ait açıklamalar ve kullanılan cihazlar Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

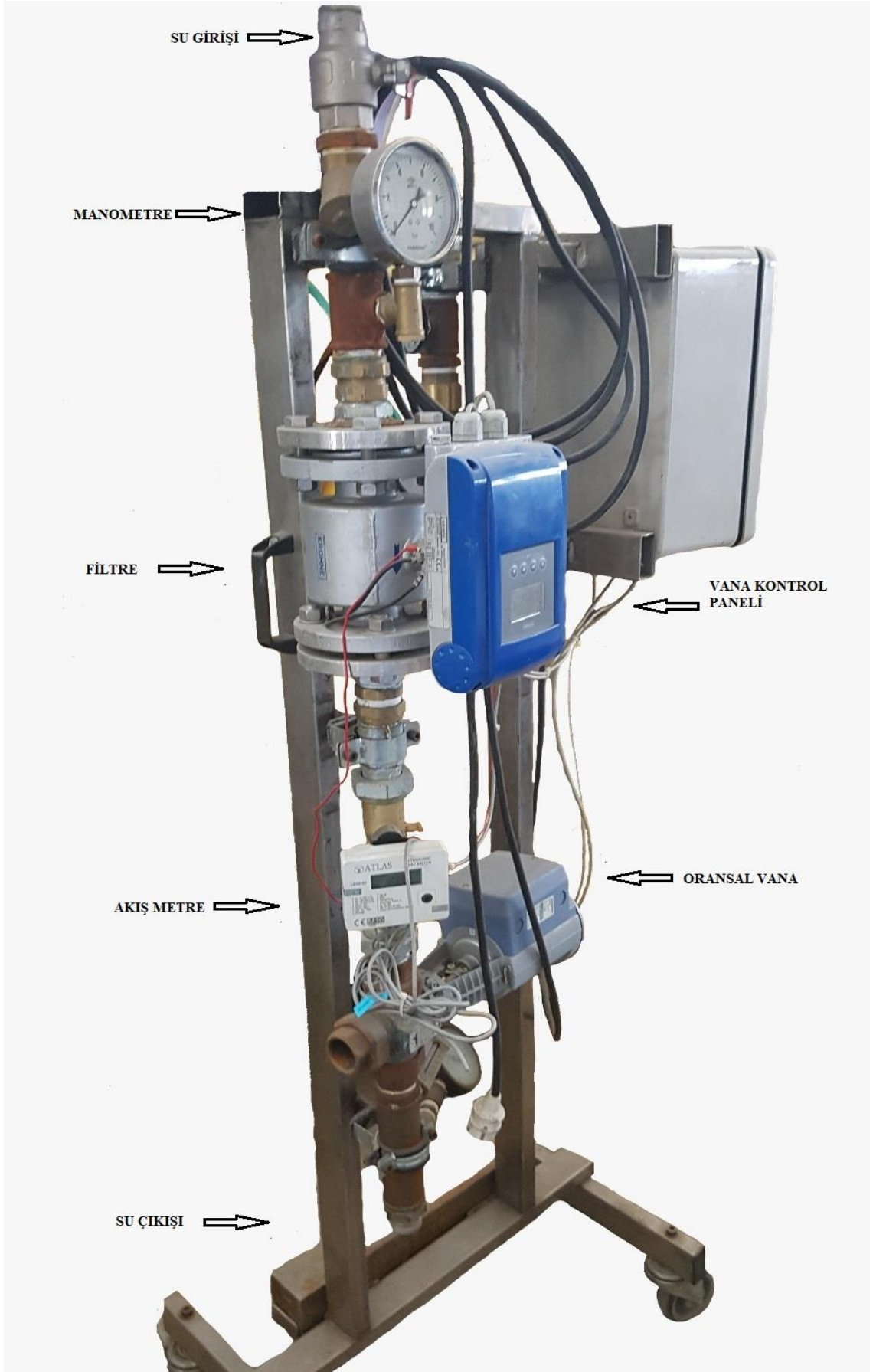
Çizelge 3.2. Prototip cihazın teknik çizimindeki kısaltmalar ve açıklamaları

Kısaltma kodları	Kullanılan cihazlar	Açıklamalar
KNT_1	PID kontrol cihazı	PID (Oransal-integral-türevsel)
V_1	Giriş küresel vana	Manuel
FLT_1	Giriş Y tipi filtre	
P_1	Manometre	Oransal vana öncesi
FM_1	Akış metre (flow metre)	Manyetik (%3 hassasiyet) Flow metre out / 4-20 mA
OV_1	Oransal vana	Besleme gerilimi 24 volt, kontrol 4-20 mA
T_1	Termometre	Oransal vana sonrası
P_2	Manometre	Oransal vana sonrası
T_2	Termometre	Kalıp çıkış sonrası
ÇV_1	Çek valf	
P_3	Manometre	Kalıp çıkış sonrası
V_2	Çıkış küresel vana	Manuel

Gerekli malzemeler tamamlandıktan sonra alüminyumdan kesilmiş destek parçalarla prototip cihaz tamamlanmıştır. Şekil 3.3.'te cihazın son hali yer almış ve üzerinde kullanılan cihazlar suyun geçişini yapacak şekilde çelik boru üzerine monte edilmiştir. Seyyar bir cihaz olması için, cihaza döner tablalı tekerler takılmıştır. Bu

sayede istenildiği zaman, istenildiği yerde kullanılması sağlanmıştır. Cihazın ihtiyacı olan elektrik enerjisi içinde, bir pano yerleştirilmiş ve cihazın çalışması sağlanmıştır. İlk aşamada şebeke suyundan bir bağlantı ile oluşabilecek aksaklıklar gözlemlenmiştir. Cihazın test edilme aşamasıyla prototip cihaz, deneme üretimi için hazırlanmıştır.





Şekil 3.3. Prototip cihaz

### 3.4. Makine, hammadde ve ürün seçimi

Prototip cihazın tasarımı ve yapılışından sonra üretilecek ürün, hammadde ve makine değerlendirmesi yapılmıştır. İlk olarak makine seçilmiştir. Enjeksiyon makinesi 450 ton kitleme kuvvetine sahip ve elektrikli dir. Makinenin diğer özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

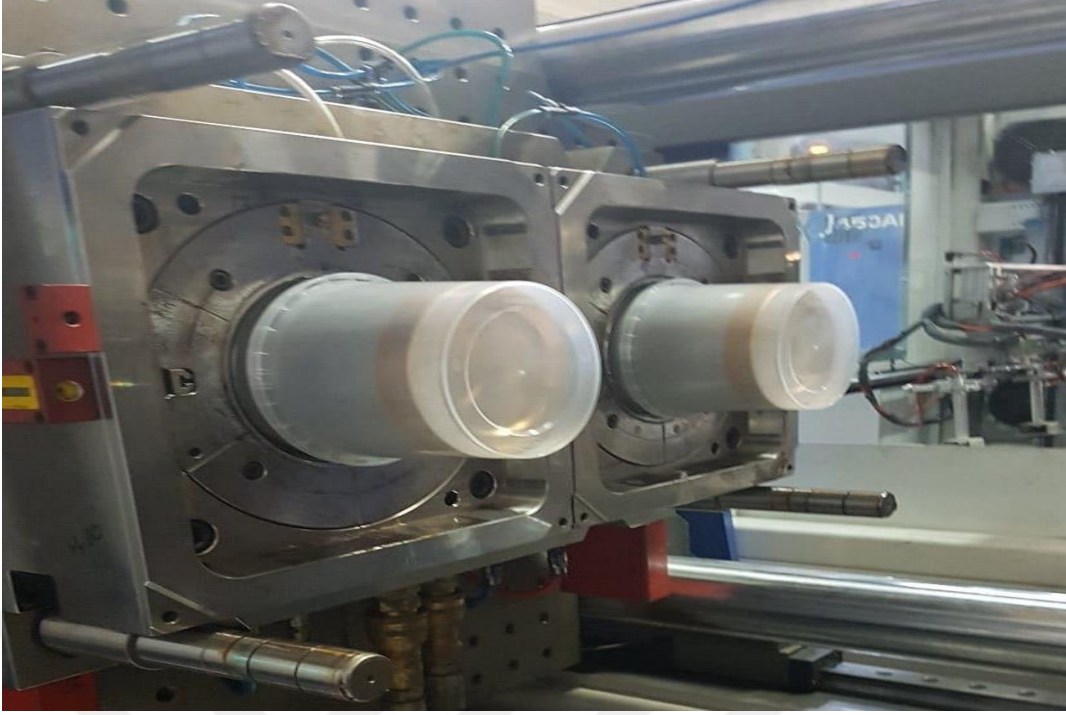
**Çizelge 3.3.** Enjeksiyon makine özellikleri

Özellikler	Birim	Değerler
Mengene Kitleme Kuvveti	ton	450
Enjeksiyon vida çapı	mm	76
Teorik enjeksiyon kapasitesi	cm <sup>3</sup>	1361
Enjeksiyon kapasitesi	g	1238
Enjeksiyon basıncı (maksimum)	bar	1850
Tutma basıncı (maksimum)	bar	1660
Enjeksiyon hızı	mm/s	160
Plastikleştirme oranı	kg/s	338
Vida hızı	dk <sup>-1</sup>	210

Numuneler, iki gözlü olan bir kalıpta üretilecektir. Numunelerin çekme payına bakılacak, çekme kuvveti ve mukavemet testleri yapılacaktır. Çekme payı için bazı bölgelerinin ölçülendirilmesi gerekmektedir. Kalıp çizimlerinden yararlanılarak tasarım ölçüleri dikkate alınacaktır. Ürünün fiziksel hali Şekil 3.4.'te verilmiştir.



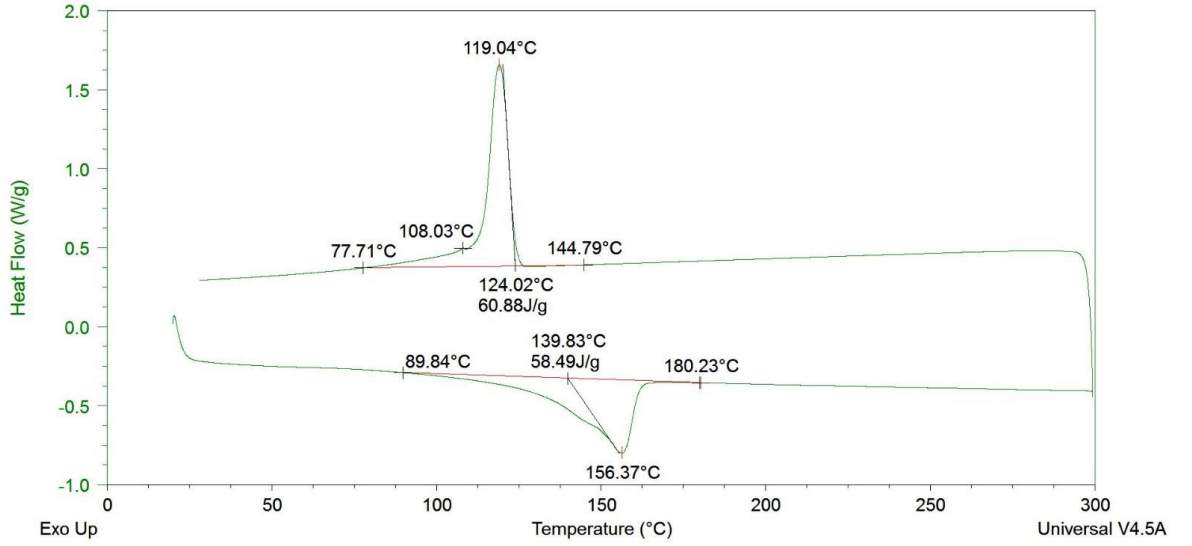
**Şekil 3.4.** Üretilecek ürünün fiziksel hali



Şekil 3.5. Ürünün kalıptan çıkışı

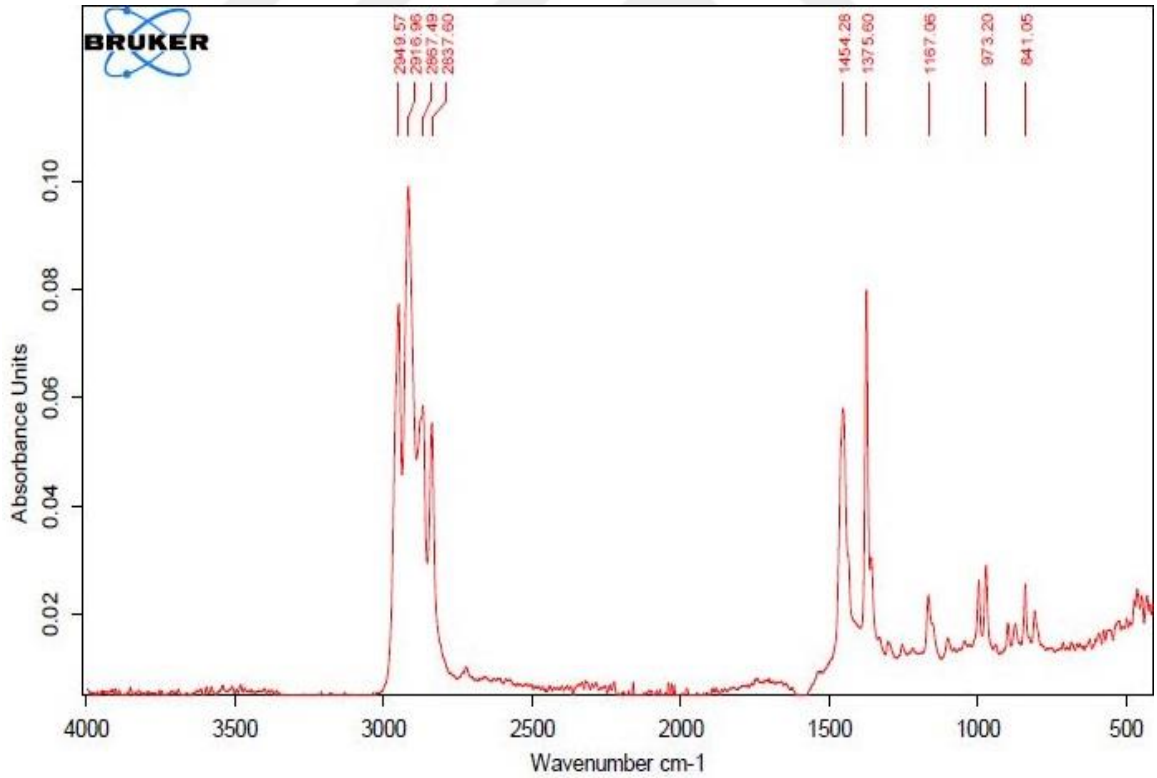
Ürün ve makine seçiminden sonraki aşama, üretimde kullanılacak hammaddenin belirlenmesidir. Malzeme random kopolimer polipropilendir. Malzemenin üretimi esnasında, içerisinde herhangi bir katkı veya başka bir malzeme olma ihtimaline karşı, malzemenin tanımlanması için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC – differential scanning calorimeter) cihazında analize tabi tutulmuştur. DSC analizi ISO 11357-2 standardına göre 23 °C ve 300 °C arasında 5 °C/dk ısıtma hızı uygulanarak yapılmıştır. DSC analizinden çıkan maddeye ait erime (119,04 °C) ve kristalizasyon (156,37 °C) sıcaklıkları random kopolimer polipropilen ile uyum göstermektedir. Ayrıca FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy – Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi) analizi ile de malzemenin polipropilen olduğu desteklenmiştir. 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$  bant aralığında -CH gerilmesine ait bantlar ve 1454  $\text{cm}^{-1}$ ' de  $\text{CH}_2$  titreşimden kaynaklanan bir bant olduğu görülmüştür. 1375  $\text{cm}^{-1}$ ' deki bant, PP'nin kendi karakteristik bantlarındanır. Diğer bant aralıkları ile de izotaktik yapısı netlik kazanmaktadır. DSC analiz sonucu Şekil 3.6.' de verilmiş olup, malzemenin sadece polipropilen olduğu ve içerisinde başka bir malzeme bulunmadığını göstermektedir.





Şekil 3.6. Kullanılan polipropilene ait DSC analiz sonucu

FTIR sonucu da DSC analiz değerleriyle uyum içindedir. FTIR analiz sonucuna ait görsel Şekil 3.7’te verilmiştir.



Şekil 3.7. FTIR analiz sonucu

Endüstriyel olarak üretilen random blok kopolimer malzemenin, mekaniksel özellikleri değerlendirilmiştir. Plastik sanayinde tedarikçi firmalar tarafından her malzemeye ait

teknik veri dosyaları bulunur. Bu malzemelerin değerlerine göre kullanılacak polimerler birbirleriyle kıyaslanabilir ve üretimi yapılacak ürüne göre tercih edilir. Kullanmış olduğumuz malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.3.' te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Random kopolimerin teknik özellikleri

Test Adı	Şartlar	Metot	Değer	Birim
Yoğunluk		ISO 1183	0,905	g/cm <sup>3</sup>
Kütle akış oranı (MFR)	230 °C/2,16 kg	ISO 1133	70	g/10 dk <sup>-1</sup>
Eğme modülü	1-mm/dk	ISO 178	1050	MPa
Kopma çekme gerilmesi		ISO 527-2	12	%
Charpy darbe dayanımı	23 °C	ISO 179/1eA	4,5	kJ/m <sup>2</sup>
Yük altında sapma sıcaklığı	0.45 MPa	ISO 75-2	75	°C

### 3.5. Üretim ve numune alımı

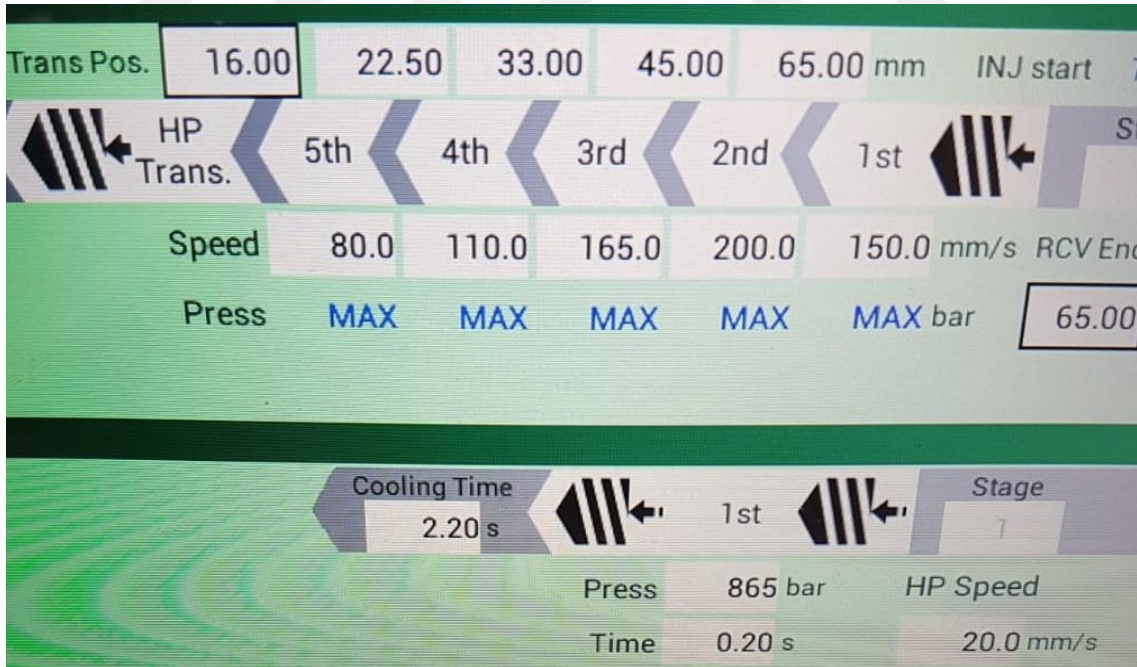
Üretime başlamak için tasarladığımız prototip cihaz makineye bağlandıktan sonra makinenin çalışma parametreleri ayarlanmıştır. Polimer malzeme vidanın bulunduğu kovanda eriyeceği için, kovan sıcaklıkları ayarlanmıştır. Genelde polipropilenin erime sıcaklığı olarak 230 °C esas alınır. Ancak enjeksiyon ile üretim hızlı bir süreç olduğu için erime sıcaklığından 20–30 °C daha fazla girilerek malzemenin daha hızlı eriyik haline ulaşması sağlanır.



**Şekil 3.8.** Ocak sıcaklıkları

Ocak sıcaklıklarından sonra gerekli mal mesafeleri ayarlanır. Mal mesafesi basılacak ürünün ağırlığı kadar, malzemeyi kalıba basacak vida pozisyonudur. Bu mesafe birimleri, makinelere göre değişebilir. Bizim kullanmış olduğumuz makinede mal mesafesi milimetre olarak ifade edilir. Bu değer 16 mm olarak girilmiştir. Bu değer anlamı kovanın bitişine 16 mm varken enjeksiyon işlemine başlanacağıdır. O mesafenin

kapladığı eriyik madde miktarı kadar kalıba enjeksiyon işlemi yapılır. Bundan sonra enjeksiyonun yapılacağı hız ayarları girilir. Bu hızlar tek değer olarak girildiği gibi kademeli olarak da girilebilir. Bu değerler, makine üzerindeki vidanın özellikleri dikkate alınarak ve kullanıcı tecrübesiyle girilir. Enjeksiyon hızının üretilecek olan ürüne doğrudan etkisi vardır. Nihai ürün üzerinde oluşan gaz, siyah lekelenme gibi olumsuzluklara sebep olmaması için dikkat edilir. Bunu önlemenin de en güzel yolu, enjeksiyon hızlarını kademeli olarak girmektir. Bu sayede, eriyik plastiğe göre hız kademeleri verilir ve olumsuzluklar bertaraf edilir. Hız değerlerinden sonra, numuneleri ve makine performansını etkileyen bir diğer etken, enjeksiyon basıncıdır. Basıncın çok yüksek olması, makine performansını olumsuz etkiler ve enerji kullanımını arttırabilir. Ayrıca enjeksiyon basıncındaki dengesizlik, ürünün eksik basılmasına neden olabilir. Kullandığımız makinede enjeksiyon basınçları, maksimum değeri olarak girilen 1850 bara göre ayarlanmıştır. Makinenin ihtiyaç duyduğu enjeksiyon basıncını kendi ayarlama opsiyonu vardır. İhtiyaç duyduğu basıncı ayarlayabilmesi için basınç değerlerinin maksimum konuma getirilmesi gerekmektedir. Üretim esnasında ihtiyaç duyulan basınç, makine tarafından otomatik olarak ayarlanır.



Şekil 3.9. Makine enjeksiyon ayarları

Ürünün soğuması için beklenecek süre 2.20 s olarak girilmiştir. Tutma basıncı 865 bar ve tutma süresi 0.20 s olarak kaydedilmiştir. Bu enjeksiyon ayarları debi değişkenliği boyunca değiştirilmeyecektir. Bu ayarlardan sonra, kalıp kapama gücü ayarlanır. Kalıp kapama gücü ya da mengene kitleme kuvveti, üretim yapılacak kalıba göre ayarlanmalıdır. Makinemizin maksimum kalıp kapama veya kitleme kuvveti 450 tondur. Kullanacağımız kalıbımıza uygulanacak olan kitleme kuvveti, 410 ton olarak sabitlenmiştir.

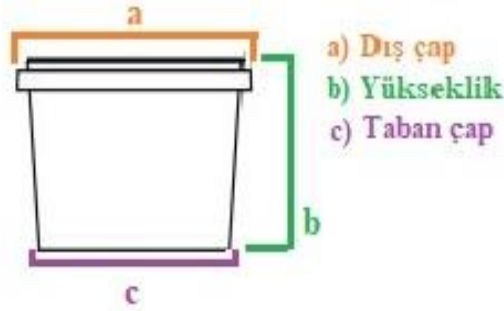
Özetle, tasarladığımız prototip cihazın giriş tarafı ana sistemden gelen su borularına, çıkış tarafı da kalıba giden borulara bağlanarak montaj edilmiştir. Numune ürünleri alacağımız kalıp kontrol edilmiş ve makineye bağlanmıştır. Seçilen random kopolimerimiz makine haznesine doldurulmuştur. Numune ürünlerimizi alacağımız enjeksiyon makine ayarlarımız tamamlanmıştır. Herhangi bir aksilik olmaması için deneme üretimi yapılmış ve alınan deneme numune ürünler kontrol edilmiştir. Makinenin çevrim süresi (kalıplama süresi) ve diğer değerler Çizelge 3.4.' te verilmiştir.

**Çizelge 3.5. Çevrim süresi**

Etkenler	Süre	Birim
Mengene Açma Süresi	1.65	saniye
Mengene Kapama Süresi	2.10	saniye
Enjeksiyon süresi	0.42	saniye
Tutma (ütüleme) süresi	0.20	saniye
Soğutma süresi	2.20	saniye
Çevrim (Kalıplama süresi)	8.59	saniye

Numuneler, debi değişkenlikleri boyunca alınmıştır. Debi değişkenliği 2–3,5 m<sup>3</sup>/s değerleri arasında olmuştur. 2 m<sup>3</sup>/s ile başlayan ilk deneme 0,1 değer artışıyla 3,5 m<sup>3</sup>/s değerine kadar devam etmiştir. Her bir değer artışından sonra üç saat kalıbın rejime girmesi beklenmiş ve kalıp rejime girdikten sonra numune alımı yapılmıştır. Her debi değişkenliği sonrası kalıptan çıkan numunelerin, fiziki ölçüleri tespit edilmiştir. Numuneye ait ölçütler Şekil 3.10'da gösterildiği şekildedir. Standart numunenin tasarım ölçüleri aşağıdaki gibidir.

- Dış çap: 189,10 mm
- Yükseklik: 157,65 mm
- Taban çap: 158,40 mm



Şekil 3.10. Ürünün ölçülendirme gösterimi

Alınan numunelerin kalıptan ilk çıktığı anda ölçülen taban çapları ve soğuduktan sonra ölçülen taban çapları Çizelge 3.6.'te verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ürün taban ilk ve son çekme değerleri

Debi (m <sup>3</sup> /s)	Ürünün kalıptan çıktıktan sonra ilk taban çapı (mm)	Ürünün soğuduktan sonra son taban çapı (mm)	Çekme Farkı (mm)
2,00	160,84	159,84	1,00
2,10	160,84	159,84	1,00
2,20	160,84	159,84	1,00
2,30	160,82	159,83	0,99
2,40	160,82	159,83	0,99
2,50	160,60	159,72	0,88
2,60	160,58	159,71	0,87
2,70	160,58	159,71	0,87
2,80	160,52	159,68	0,84
2,90	160,50	159,67	0,83
3,00	160,48	159,66	0,82
3,10	160,48	159,66	0,82
3,20	160,42	159,63	0,79
3,30	160,40	159,62	0,78
3,40	160,34	159,59	0,75
3,50	160,26	159,55	0,71

Alınan numuneler, çekmelerini tamamlaması için 72 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Çizelge 3.6.'te verilen ürün ilk boyu, ürünün kalıptan ilk çıktığı andaki ölçüyü belirtmektedir. 72 saat sonrası tekrar ölçümler yapılmış ve ilk anda yapılan ölçüyle farkı değerlendirilmiştir. Numuneye ait dış çap, oval ve çok esneyen bir yapıda olduğu için değerlerde sapma olduğu görülmüş ve dış çapa ait ölçümler dikkate alınmamıştır. Numunelerin yükseklik ölçümlerinde de çok ciddi değişiklik olmadığı için çalışmamızda, o ölçülere de yer verilmemiştir. Ancak taban çapındaki çekme miktarları yorumlanabilmiştir. Bundan dolayı taban çapındaki değişimler, çekme payı

olarak dikkate alınmıştır. Ürünün taban çapı teoride yani teknik çiziminde 158,40 mm olarak bilinmektedir. Ancak üretimden sonra çıkan ürünlerde bu ölçüden daha büyük değerler çıkmıştır.

Kalıba gelen soğutma suyun sıcaklığı 13 °C'dir. Debinin artırılmasıyla kalıptan çıkan su sıcaklığı azalmış ve kalıp içinin daha soğuk olması sağlanmıştır. Kalıp suyunun giriş-çıkış sıcaklık farklarına ait değerler Çizelge 3.7' da verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Kalıba gelen suyun giriş – çıkış sıcaklığı ve farkları

Debi (m <sup>3</sup> /s)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	Sıcaklık Farkları (°C)
2,00	13	19,50	6,50
2,10	13	19,04	6,04
2,20	13	18,75	5,75
2,30	13	18,59	5,59
2,40	13	18,08	5,08
2,50	13	17,93	4,93
2,60	13	17,80	4,80
2,70	13	17,65	4,65
2,80	13	17,32	4,32
2,90	13	16,99	3,99
3,00	13	16,85	3,85
3,10	13	16,76	3,76
3,20	13	16,50	3,50
3,30	13	16,40	3,40
3,40	13	16,33	3,33
3,50	13	16,21	3,21

Debi değişkenliği boyunca enjeksiyon basınç değerleri kontrol edilmiştir. Debi değerinin artması, kalıp içinin çok daha soğuk olduğu anlamına gelir. Çünkü soğuk yüzey, sıcak eriyik malzemeye karşı direnç oluşturur. Malzemenin kalıp yüzeyinde ilerlemesini zorlaştırır. Bu durum, enjeksiyon basıncının artmasına neden olur. Enjeksiyon basınç değerini, eriyik sıcaklığı da etkileyebilir. Enjeksiyon basıncının artması, makine performansını ve makine güç tüketimini artırır. Yüksek enjeksiyon basıncı, fazla enerji uygulanması demektir ve makinenin mekanik parçalarında deformasyona neden olabilir. Bundan dolayı enjeksiyon basınç değeri, dikkat edilmesi gereken en önemli değerlerdendir. Soğutma suyunun debisini arttırdıkça, enjeksiyon basıncının arttığı görülmüştür. Kalıp içi sıcaklık farkına bakıldığında da basıncın artması gerektiği beklenen bir sonuçtur. Önemli olan basınç değerinin, kalıptan çıkan ürünle birlikte en uygun değer aralığında sabit tutabilmektedir. Maksimum 1850 bar enjeksiyon basıncı yapabilen makinemizde, 1700 bar civarı değerler, numune ürüne göre uygun öngörülmektedir. Enjeksiyon basıncı sadece kalıp içi soğutma ile değişmez.

Enjeksiyon hız parametreleri, kalıp yollukları ve kullanılan malzeme cinsine göre de bu değer değişkenlik gösterebilir. Çalışmamıza ait enjeksiyon basınç değerleri Çizelge 3.8.' te verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Enjeksiyon basınç değerleri

<b>Debi (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Enjeksiyon Basınç (bar)</b>
2,00	1661
2,10	1665
2,20	1667
2,30	1668
2,40	1672
2,50	1673
2,60	1676
2,70	1679
2,80	1681
2,90	1682
3,00	1691
3,10	1697
3,20	1701
3,30	1705
3,40	1711
3,50	1716

Çalışmayı yapmış olduğumuz makinede, maksimum 1850 bara kadar enjeksiyon basıncı uygulanabilmektedir. Bu değer her makinede değişebilir. Yapılacak olan üretime göre makine opsiyonu ve maksimum değerler değişebilir. Çalışma esnasında enjeksiyon basıncının artması, her ne kadar maksimum değere çok yaklaşmamış olsa da yine de değerlerin yükselmesi çok istenmeyen bir durumdur. Sık kontrol aralıkları ile gözlemlenmesinde yarar vardır.

Çalışmanın diğer aşamasında, almış olduğumuz numunelerinin kalitesel değerlendirmeleri yapılmıştır. Ürün kalitesini etkileyen faktörlere yollukta tüy, siyah noktalar veya yanma ve yüzeyde kabarcık oluşumu örnek verilebilir. Yollukta tüy, eriyik plastiğin kalıp içerisinde tam olarak soğumamasından meydana gelir. Kalıbın yeterli soğutma kapasitesi olmadığı durumlarda, enjeksiyon noktasından çok ince bir plastik sünmesi olarak da açıklanabilir. Almış olduğumuz numunelerde, yollukta tüy ile karşılaşmıştır. Debi değeri 2 ila 2,3 m<sup>3</sup>/s arasında alınan numunelerde görülmüştür. Kalıp içinin sıcak olması, tam soğutmanın sağlanamamasından kaynaklanmıştır. Şekil 3.11.'de tüylenmeye ait görsel verilmiştir. 2,3 m<sup>3</sup>/s değerinden sonra herhangi bir tüylenme görülmemiştir.



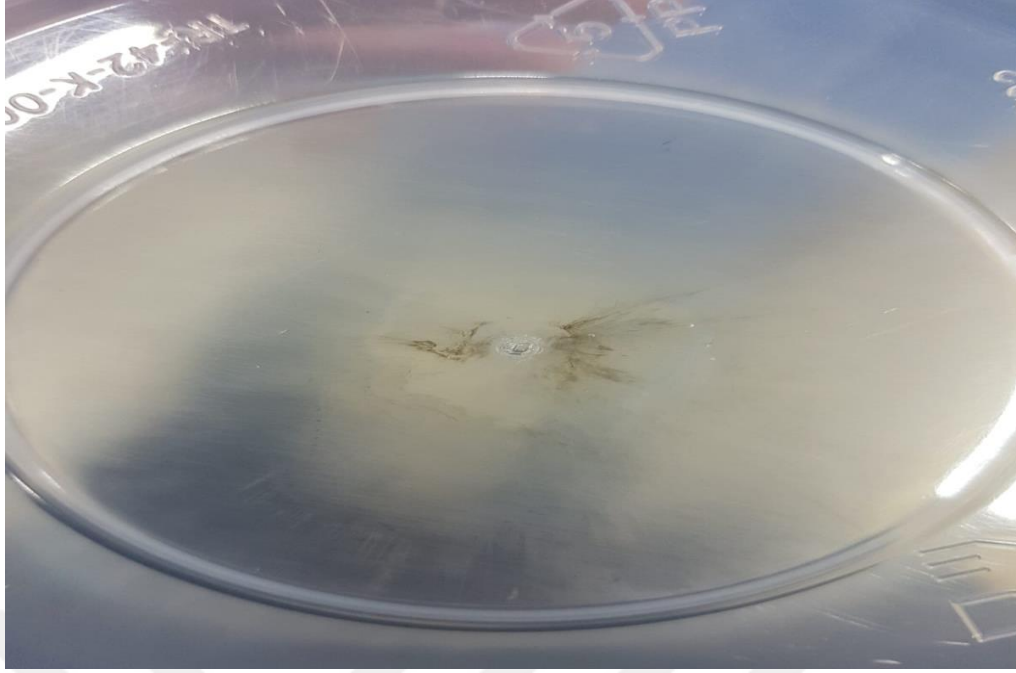
**Şekil 3.11.** Yollukta tüylenme örneği

Diğer kalitesel sorunlar olan kabarcıklanma ve siyah noktalara ait görseller, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13.'te gösterilmiştir. Özellikle numune yüzeyinde oluşan kabarcıklar, kalıp içerisindeki ısı değişimi sonucu ortaya çıkabilmektedir. Ani sıcaklık değişimi sonrasında, eriyik plastiğin içerisinde meydana gelebilmektedir. Ancak almış olduğumuz numunelerde böyle bir problem ile karşılaşılmamıştır.



**Şekil 3.12.** Plastik yüzeyde kabarcık oluşumu





**Şekil 3.13.** Plastik yüzeyde siyah nokta veya yanık oluşumu

Almış olduğumuz numunelerimizi standart ürünlerle karşılaştırdığımızda, kalitesel olarak afaki bir farklılık görülmemiştir. Debi değişkenliğinden kaynaklı kalıp içi sıcaklık ürün görüntüsünde bir farklılığa yol açmamıştır. Yüzey görüntüsü kabul derecesinde olup, numuneler kullanılabilir özelliktedir. Ancak bu her ürün için geçerli olmayabilir. Daha karmaşık yapıda ve hassas olan plastik ürünlerde, kalıp içi soğutmadan etkilenme durumları görülebilir. Bunun yanı sıra plastik firmalarının kendi kalite politikaları ve müşteri beklentisine göre ürün kalite noktaları değişken olabilir. Böyle durumlarda farklı test metodları uygulanabilir.

Çalışmamızda aldığımız numuneler, ambalaj ürünü olduğu için, numunelerimizin dayanıklılığı önem arz etmektedir. Ürünlerin üst üste stoklanmasında (istifleme) ya da lojistik aktarmalarında, ürün dayanıklılığı ön plana çıkmaktadır. Bundan dolayı numunelerimize basma testi uygulanmıştır. Bu test sabit yüzeyli bir aparat yardımıyla ürünlere kuvvet uygular. Çıkan sonuçlarda da ürünün, ne kadarlık bir kuvvete karşı direnç sağladığını bizlere göstermektedir. Bu da kullanmış olduğumuz hammaddenin ürün üzerindeki değişkenliğini ve farklı kullanılan bir hammadde ile yapılan üretimin, ürün mukavemeti üzerindeki etkilerin kıyaslanması için bize yol gösterici olmaktadır. Şekil 3.14.' da uygulanan test yöntemine ait resim verilmiştir. Almış olduğumuz numunelere ayrıca çekme testi de uygulanmıştır. Yine aynı cihaz ile yapılan bu test, özellikle ürünlerin ani bir kuvvet ile kaldırıldığında çekmeye karşı olan

kuvvetlerini değerlendirmek için yapılmaktadır. Mukavemet testi ile desteklenerek, ürünlerin fiziksel etkilere karşı dayanıklılıkları ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Basma-çekme test cihazı

Alınan her numune oda koşullarında soğumaya bırakılmış ve 24 saat bekletilmiştir. Basma-çekme testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlar N (newton) cinsinden değerlendirilmiştir. Debi değişkenliklerine göre çıkan basma-çekme test verileri Çizelge 3.9.' de verilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Enjeksiyon basınç değerleri

<b>Debi (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Basma test sonuçları (N)</b>	<b>Çekme test sonuçları (N)</b>
2,00	945	400
2,10	955	395
2,20	970	390
2,30	975	385
2,40	985	375
2,50	985	360
2,60	990	350
2,70	1010	335
2,80	1015	330
2,90	1035	330
3,00	1050	320
3,10	1055	315
3,20	1065	310
3,30	1085	310
3,40	1090	305
3,50	1115	300

Debinin artırılmasıyla, numunelere uygulanan basma test değerleri artmıştır. Plastik ürünler, kalıptan daha soğuk çıktıkça mukavemetleri artmıştır. Daha sıcak çıkan numuneler daha esnek yapıdadır. Yeterli soğutmayı tamamlayamadıkları için çıktıktan sonra da çekmeye devam edecektir. Esneklik özelliği, sıcaklıkla doğru orantılıdır. Bu nedenle daha sıcak çıkan numunelerin çekme test değerleri daha yüksektir. Artan debi ile çekme kuvvetinin ters orantılı olduğu görülmüştür.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çakır ve ark. (2001) yapmış oldukları çalışmada, plastik enjeksiyon yöntemi ile ürünlerin çekme oranlarını kıyaslamışlardır. Bu bağlamda çekme oranının azalmasını, çevrim süresinin artmasına bağlamışlardır. Bizim çalışmamızda da çekme oranının azalması, debi değerinin artmasıyla sağlanmıştır. Bunun sebebi, kalıp içerisindeki soğutmanın debi artışıyla paralel olarak artması ve bu sayede ürünün daha iyi katılaşması sağlanabilmiştir.

Hassan ve ark. (2010), plastik enjeksiyon kalıplarındaki soğutma sisteminin amacı olarak, enjeksiyon kalıplama işleminde termal regülasyonu sağlamak olduğunu vurgulamışlardır. Sıcak eriyik plastiğin, kalıp içerisine girdiğinde soğuduğunu ve ısıyı soğutma sistemi içinden dağıtarak katılaştığını belirtmişlerdir. Soğutma sistemi tasarımının, polimerizasyonun katılaşma ve ısı aktarımı üzerindeki etkisini, enjeksiyon kalıplama ile incelemek için, üç boyutlu tam zamana bağlı bir enjeksiyon kalıplama sayısal analizi ile gerçekleştirmişlerdir. İki farklı kalınlığa sahip ve küboid şekilli boşluğu olan kalıpla çalışmayı tamamlamışlardır. Polimer malzemenin soğutulmasını, yatay altı soğutma kanalından akan soğutma suyu ile gerçekleştirmişlerdir. Soğutma kanallarının konumunu, kesit şekillerinin soğutma işlemi üzerindeki etkisini ve soğutucu akışkanın hızını dikkate almışlardır. Bu değerlere bakarak gerekli olan minimum soğutma ihtiyacının sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca soğutma kanallarının ürün yüzeyine yaklaştıkça, soğutma verimliliğinin arttığını belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda da kalıp içerisinden geçen su sıcaklığını daha düşük tutabilmek için debi artırılmış ve ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesi debi artırılarak sağlanmıştır. Bu sayede minimum soğutma ihtiyacı karşılanmaya çalışılmıştır.

Mouldflo (2019), isimli bir cihaz, plastik endüstrisinin kullanımına sunulmuştur. Bu cihaz, çalışmamızda yapmış olduğumuz prototip cihazın bazı özelliklerini üzerinde bulundurmaktadır. Özellikle kalıp imalatçıları için, kalıp içerisinden geçen soğutma suyunun akış hızını ölçebilen, suyun sıcaklık kontrolünü ve bu almış olduğu anlık verileri kaydetme özelliği olan bir cihazdır. Büyük ve hassas kalıpların imalatında soğutma kanallarının içerisindeki tıkanıklıklar, kaçaklar olabildiği için, tasarlanan bu cihazla anlık veri akışı sağlanarak, bu tür olumsuzlukların önüne geçmek amaçlanmıştır. Halihazırda endüstriyel ürün olarak pazarda yerini almış olan bu cihaz, plastik

sanayindeki yenilikçi ürünlerden bir tanesidir. Bizim prototip cihazımız ile de kalıba giren suyun, anlık olarak su giriş-çıkış sıcaklığı, debisi, basıncı izlenebilmektedir. Ancak bir veri kaydedicisi olmadığından dolayı takip edilmediği süreçteki değişkenlikler kayıt altına alınamamaktadır.

Genel olarak yaptığımız literatür araştırmalarında, enjeksiyon ile plastik üretimindeki en önemli unsurların, plastik ürünün çekme payı, üretildiği zaman olarak çevrim süresi ve ürün kalitesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik ürünlerin çekme payı, kalıp tasarımı esnasında soğutma kanallarının konumu ile başlayan bir noktadır. Ayrıca üretildiği süre olarak çevrim süresi, plastiklerin çekme özelliklerine etki eden önemli bir parametredir. Çevrim süresi içerisinde en fazla yüzdeye sahip olan zaman, soğutma zamanı olarak görülmektedir. Soğutma zamanının olabildiğince düşük tutulması, üretim verimliliği açısından önem arz eden bir zaman olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün kalitesini de etkileyen soğutma parametreleri, plastik sanayinde yenilikçi hareketlerin devam edeceği yönünde bizlere yol göstermektedir. Bununla birlikte kullanılan polimer malzemesinin işleme sıcaklığı ve molekül yapısı, kaliteli plastik üretimi için dikkat edilmesi gereken özelliklerin başında gelmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

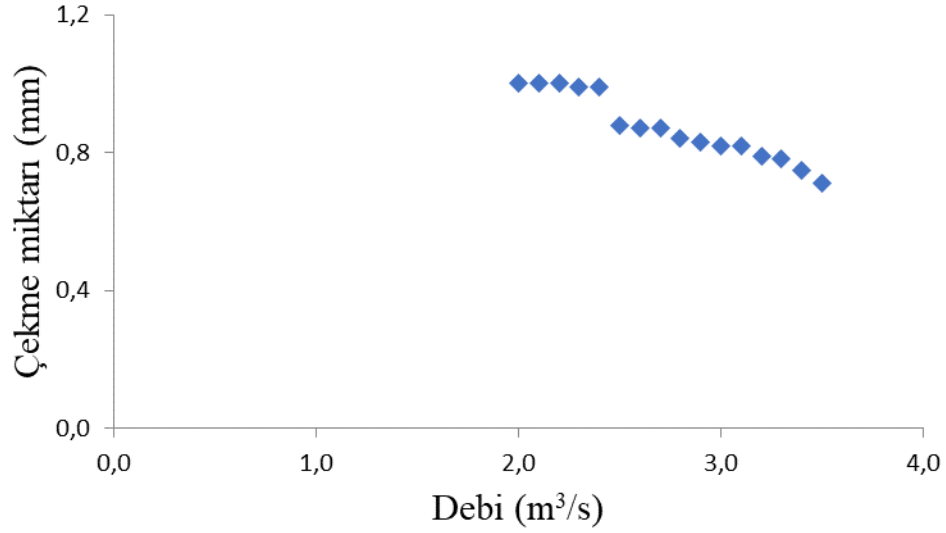
Çalışmamızın temelini oluşturan soğutma parametrelerinin değiştirilmesi için bir prototip cihaz tasarlanmıştır. Bu cihaz sayesinde, bütün bir işletmenin soğutma sistemini değiştirmeden, lokal olarak sadece bir enjeksiyon makinesinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Cihazımızın, üzerinde bulunması gereken kontrol noktaları sıcaklık, basınç, debi olarak belirlenmiş ve çalışmamız boyunca bu değerler kayıt altına alınmıştır. Çalışma süresince prototip cihazın çalışması ile alakalı herhangi bir olumsuzluk ile karşılaşılmamıştır. Prototip cihazımızın üzerinde bulunan vana yardımıyla, debi değişkenliği sağlıklı bir şekilde sağlanmış ve eriyik plastik üzerindeki soğutma etkisi incelenmiştir. Debinin artmasıyla birlikte, kalıptan çıkan suyun sıcaklığı azalmaya başlamıştır. Debi artışının, kalıp içerisindeki eriyik plastiğin daha hızlı soğumasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca prototip cihazın maliyeti yaklaşık olarak 3300 \$'dır. Piyasadaki muadil cihazların fiyatları 12,000 – 18,000 \$ arasında değişmektedir. Üstelik çoğu yurtdışı menşeli cihazlardır. Düşük maliyetle tasarladığımız cihaz hem işletme bütçesine katkı sağlamış hem de ülkemizdeki yenilikçilik furçasına katkıda bulunmuştur. Piyasadaki kullanım oranına göre almış olduğumuz malzemelerin fiyatları Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Malzeme fiyatları

<b>Kısaltma kodları</b>	<b>Kullanılan cihazlar</b>	<b>Fiyat (\$)</b>
KNT_1	PID kontrol cihazı	300
V_1	Giriş küresel vana	13
FLT_1	Giriş Y tipi filtre	10
P_1	Manometre	10
FM_1	Akış metre (flow metre)	2200
OV_1	Oransal vana	700
T_1	Termometre	11
P_2	Manometre	10
T_2	Termometre	11
ÇV_1	Çek valf	5
P_3	Manometre	10
V_2	Çıkış küresel vana	13
	<b>TOPLAM</b>	<b>3293</b>

Kalıp içerisinde hızlı soğumanın malzemedeki çekme oranına olan etkisi merak edilmiştir. Çekme oranı plastik ürünler için önemli bir kriterdir. Çekme oranındaki dengesizlik milimetrik ölçü hatalarına neden olabilir. Bu ölçü hataları da özellikle

birbirilerine montaj edilen plastik parçalarda sorunlar meydana getirir. Çalışmamızda, debi değeri arttıkça, plastik ürünlerdeki çekme oranının azaldığı görülmüştür. Çekme oranının azalması bizim için olumlu yönde etki etmiştir. Beklenen ürün ölçülerini yakalamak için debinin arttırılabileceği anlaşılmıştır. Şekil 5.1.' de Soğutma suyu debisinin çekme miktarına etkisi grafiği verilmiştir. Grafik özetle, debinin artmasıyla çekmenin azaldığını göstermektedir.

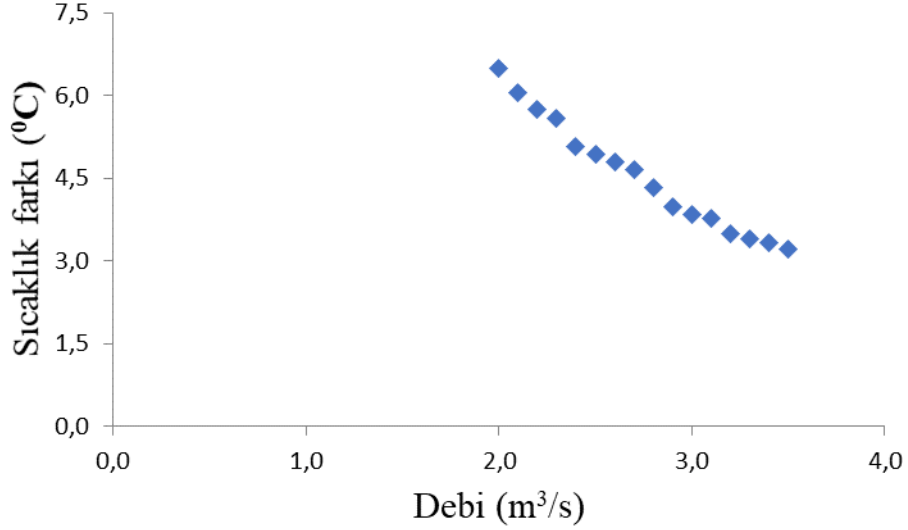


Şekil 5.1. Soğutma suyu debisinin çekme miktarına etkisi

Çekme farkına neden olan temel durum, kalıp içine giren ve çıkan su sıcaklık değerleridir. Suyun sıcaklık değerleri kalıp içi soğutma kapasitesini doğrudan etkileyen faktördür. Debi değişkenliği, kalıp içerisindeki soğutma kapasitesini değiştirmek için kullanılmıştır. Bu değişkenlik sonucu, debinin çekmeye olan etkisi daha da net görülmektedir.

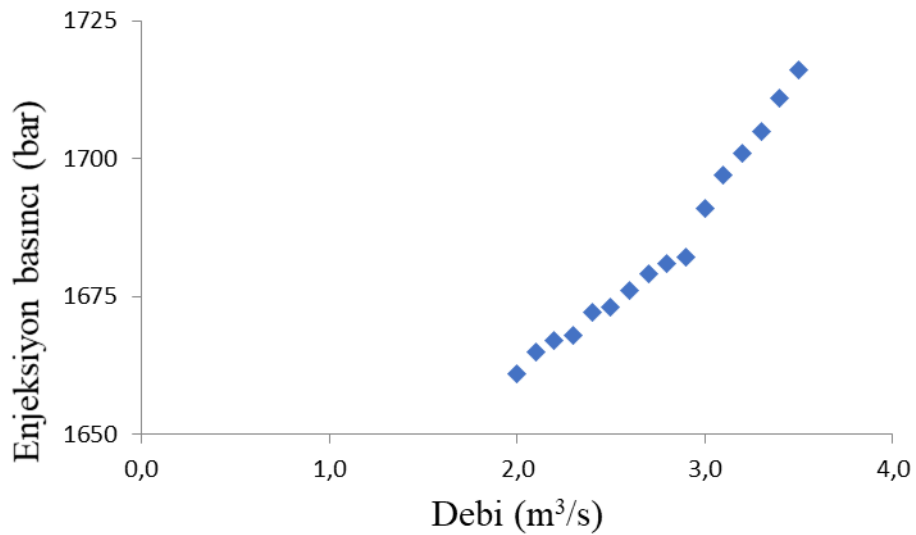
Debi değerinin artması, kalıp içerisindeki soğutma gücünü arttırdığından dolayı, ürün kalıptan daha soğuk çıkmaktadır. Bu sebeple, soğuk ürünün çekme miktarı azalmaktadır. Çekme miktarının azalması, tasarlanan ürünün hacmini ve diğer fiziksel boyutlarını koruması için önemlidir. Ayrıca istenilen ürün ölçülerini yakalamak için de çekme miktarının kontrollü olması gerekmektedir. Çalışmamızda özellikle 3 m<sup>3</sup>/s debi ve üzerindeki değerlerin, çekme miktarına olan etkisi olumlu olarak yorumlanmıştır.

Debinin artırılması, suyun kalıptan çıkış değerlerini değiştirmiştir. Suyun giriş sıcaklığı, sistemden sabit 13 °C olarak beslenmiştir. Debi ile suyun çıkış değerlerine ait grafik Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Soğutma suyu debisinin, kalıba giren ve çıkan su sıcaklık farkına etkisi

Ancak debinin fazla artırılması, kalıp içinin fazla soğumasına sebep olmuştur. Soğuk yüzeyli kalıba yapılan enjeksiyonda, enjeksiyon basınç değerleri yükselmiştir. Fazla soğuk olan yüzeyle karşılaşan eriyik plastik, ani sıcaklık değişimi ile çabuk katılaşmış ve enjeksiyonun devam etmesi için, enjeksiyon basıncının arttığı görülmüştür. Debi değişkenliğine karşın enjeksiyon basınçlarındaki değişimler, Şekil 5.3.'te grafiksel olarak verilmiştir.

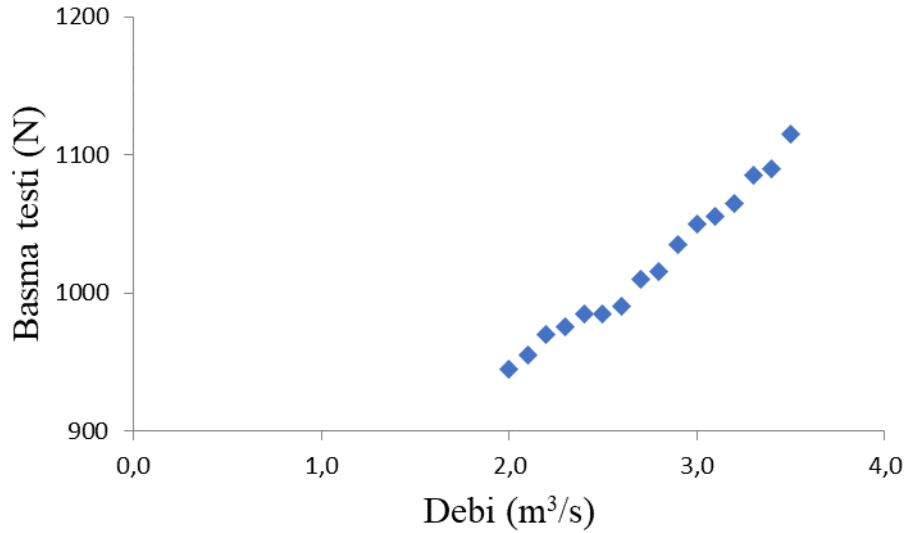


Şekil 5.3. Soğutma suyu debisinin enjeksiyon basıncına etkisi



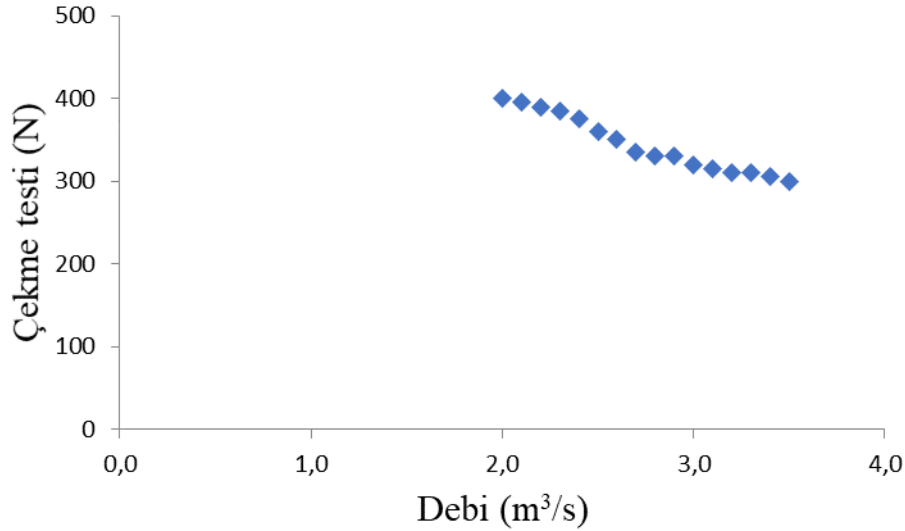
Basıncın artması, makinenin fazla güç tüketmesi anlamına gelmektedir. Anlık olarak bir değer kaybı yaşatmamasına rağmen, yüksek güç tüketimi hem enerji verimliliği hem de makinenin mekanik ömrü açısından önem teşkil etmektedir. Maksimum 1850 bar enjeksiyon yapan makinemizde, yaklaşık 1700 bar civarında enjeksiyon yapılması öngörülmektedir. Buna karşılık gelen debi değerleri ise 2,8–3,2 m<sup>3</sup>/h arasında olduğu görülmüştür.

Son olarak, alınan plastik numunelerde basma-çekme testleri yapılmıştır. Basma test değerleri, debinin artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Kalıp içerisinde yeterli soğutma ihtiyacı sağlandıkça, numuneler daha iyi katılaşmış ve numunelerin mukavemet özellikleri olumlu yönde etkilenmiştir. Debi değerlerine karşılık, basma test değerlerine ait grafik Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Soğutma suyu debisinin basma testine etkisi

Basma testinin aksine çekme testi sonuçları debi arttıkça azalmıştır. Debinin daha düşük değerde olması, numunelerin daha sıcak çıkması anlamına gelir. Düşük debide, daha sıcak ve daha esnek numuneler elde edilmiştir. Üretmiş olduğumuz malzemeler endüstriyel ürünlerdir ve üst üste istiflenerek kullanılmaktadır. Bundan dolayı basma testi, çekme testinden daha çok ön plana çıkmaktadır. Değişen debiye karşılık, çekme test sonuçlarına ait grafiksel sonuç Şekil 5.5.'te verilmiştir. Sıcak çıkan numuneler, oda sıcaklığında katılaşmasını tamamlamak isterler ve bu şekilde davranırlar. Optimum bekleme süresinden sonra katılaşmalarını tamamlayarak, daha mukavemetli yapıya ulaşırlar.



Şekil 5.5. Soğutma suyu debisinin çekme testine etkisi

Bütün bu çalışmanın sonucunda, numune aldığımız kalıbın soğutma suyu debisi olarak 3,2 m<sup>3</sup>/s olarak belirlenmiştir. Enerji verimliliği, makine performansı, polimer malzemenin fiziki testleri için ortalama 3,2 m<sup>3</sup>/s debinin uygun olduğu optimum kararına varılmıştır.

## 5.2 Öneriler

Çalışmamızı yaptığımız enjeksiyon kalıbı, kapalı devre su sisteminden gelen su ile soğutulmaktadır. Genel olarak kalıba gelen su 13 °C olup, 17 °C olarak kalıptan ayrılmakta ve sisteme dahil olmaktadır. Sistemdeki ısınan su, eşanjör yardımıyla tekrar soğutulmaktadır. Eşanjörün soğutma işlemi için de chiller soğutma sisteminden yararlanılmaktadır. Chillerden gelen 10 °C'deki soğuk su, eşanjöre ayrı bir hat ile dahil olmaktadır. Bütün bu sistemin amacı, eşanjördeki suyun istenilen sıcaklıkta tekrar kalıp soğutması için kullanılmasıdır. Yani kalıptan geçerek ısınan ve eşanjöre gelen su, chillerden gelen soğuk su yardımıyla soğutulmaktadır. Dolayısıyla, kalıptan ısınarak çıkan su ne kadar düşük derecede olursa, soğutma sisteminin ihtiyaç duyduğu soğutma kapasitesi de o kadar az olacaktır. Bu kapasitenin az olması, çalışma maliyetinin düşük olmasını sağlayacaktır.

Hem eşanjör hem de chiller soğutma sistemi, ısınan suyun sıcaklığını düşürmek için enerji harcamaktadır. Çalışmamızdaki debi artışı, kalıp giriş – çıkış su sıcaklık değerleri arasındaki farkı azaltmıştır. Bu farkın az olması, ihtiyaç duyulan soğutma

kapasitesinin de az olması gerektiği anlamına gelir. Soğutma için kullanılacak enerjinin miktarı bu bağlamda azalır. Buda doğrudan maliyete olumlu yönde etki eder. Sıfırdan kurulacak bir soğutma sisteminde, yüksek debiyi sağlayacak pompalar tercih edilebilir. Soğutma sistemin yanı sıra, kalıp tasarımındaki soğutma kanallarının çapı, uzunluğu, hacmi de önemlidir. Tasarım konusunun da ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

Genel plastik üretiminde soğutma kapasitesinin zaman karşılığı, soğutma süresidir. Soğutma süresi, plastik ürünün kalıp içerisinde katı hale gelmesi için bekleme süresi olarak tanımlanabilir. Soğutma için beklenen bu sürede, üretim verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Kalıp içerisindeki soğutma kapasitesinin yüksek olması, bu süreyi daha da aşağıya çeker. Bu sayede beklenen adetten daha fazla üretim yapılabilir. Çalışmamızda tek değişken olarak su debisini aldığımız için, 2,20 saniye olan soğutma zamanını değiştirmedik. Eğer yeterli soğutmanın olduğunu düşündüğümüz bir noktada soğutma süresini 2,00 saniyeye düşürseydik, yaklaşık %10'luk bir üretim artışı yakalayabilirdik. Farklı uygulamalarda soğutma kapasitesinin değerlendirmesi için, kullanılan polimerin eriyik sıcaklığı, yoğunluğu, kalıp tasarımı ve soğutma sistemleri göz önünde bulundurulması gereken etkenlerdir.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2011, Enjeksiyon Makinelerinde Üretim, *Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara*, 3-17.
- Anonim, 2013, Makine Enjeksiyon Kalıpcılığı-1, *Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara*, 5.
- Anonim, 2019a, Formtrans makine, <http://formtransmakine.com/plastik-enjeksiyon-kaliplari/>, [Ziyaret Tarihi: 27.02.2019].
- Anonim, 2019b, Mykalıp, <http://www.mykalip.com/plastik-enjeksiyon-kaliplari.html>, [Ziyaret Tarihi: 27.02.2019].
- Anonim, 2019c, Frigoblock, <http://www.frigoblock.com.tr/chiller-uniteleri.php>, <http://www.frigoblock.com.tr/sogutma-cevrimi-nedir.php> [Ziyaret Tarihi: 09.03.2019].
- Aktacir, M.A., 2010, Akış Ölçümleri Ders Notu, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.
- Aslan, E., 2013, Enjeksiyonla Kalıplamada Kalsit Katkılı Polipropilen Malzemelerde Geri Dönüşüm Oranının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Barbosa, C. N., Simoes, R., Franzen, M. ve Viana, J. C., 2013, Thermomechanical environment characterisation in injection moulding and its relation to the mechanical properties of talc-filled polypropylene, *Journal of Materials Science*, 48 (6), 2597-2607.
- Beşergil, B., 2003, Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara, p. 36-37; 55-56.
- Beşergil, B., 2009, Petrokimya Teknolojisi, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, p. 170-172.
- Bilgiç, T., Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkiran, İ., Yağcı, M. A., Cöbek, M. ve Ülçer, Y., 2006, Polimerler I, *PAGEV Yayınları, İstanbul*, 3, 46-48.
- Carraher Jr, C. E., 2017, Introduction to Polymer Chemistry, CRC Press, New York, p. 159-278.
- Cengiz, İ., 2012, Polietilen ve Polipropilen Esaslı Ürünlerin, Plastik Enjeksiyon İşlem Parametreleri ve Termodinamik Yöntemlerle Isı Yayılımının İncelenmesi', *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu.
- Charles, E., 2003, Seymour/Carraher's Polymer Chemistry, Sixth Edition, *Marcel Dekker Press, New York*
- Çakır, Y., Özdemir, A. ve Gültaş, A., 2001, Plastik ürünlerde çekme miktarına etki eden enjeksiyon parametrelerinin incelenmesi, *Teknoloji Dergisi (1-2)*, 19-29.

- Çengel, Y., 2008, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitapevi, İzmir, p. 1-10, 321-347.
- Demirer, A., 2011, The Examination of Weld Line Properties In Injection Molded Polypropylene and Polypropylene Composites, *Engineering Sciences*, 6 (4), 1556-1564.
- Fried, J.R., 2014, Polymer Science & Technology Third Edition, Pearson Education, p. 1-20.
- Friterm, 2009, Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları, *Friterm A.Ş. Teknik Yayını, İstanbul*, p. 18-37.
- Goodship, V., 2004, ARBURG Practical Guide to Injection Moulding, Smithers Rapra, p. 1-65.
- Gülpak, G. İ., 2013, Plastik Enjeksiyon Kalıp Soğutma Sistemi Enerji Tüketiminin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Hassan, H., Regnier, N., Le Bot, C. ve Defaye, G., 2010, 3D study of cooling system effect on the heat transfer during polymer injection molding, *International Journal of Thermal Sciences*, 49 (1), 161-169.
- Katmer, Ş., 2010, Ticari Plastiklerde (Polietilen, Polipropilen, Polistiren) Enjeksiyon Parametrelerinin Artık Gerilmelere Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara*.
- Kaya, F., 2005, Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri, Birsen Yayınevi, p. 246-249.
- Megep, 2014, Polimerlerin Özelliklerine Göre Sınıflandırma, *Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara*, 16-20.
- Mouldflo, 2019, <http://mouldpro.com.tr/tr/mouldflo>, [Ziyaret Tarihi: 03.03.2019].
- Saçak, M., 1998, Polimer Kimyasına Giriş, *Ankara Üniversitesi, Ankara*, 1-120.
- Saçak, M., 2005, Polimer Teknolojisi, *Baran Ofset, Ankara*, 1-30.
- Savaşçı, Ö., Uyanık, N. ve Akovalı, G., 1998, Plastikler ve Plastik Teknolojisi, *Çantay Kitabevi, İstanbul*, 1-25; 199-203.
- Şahin, Ş. ve Yayla, P., 2005, Effects of Testing Parameters On The Mechanical Properties of Polypropylene Random Copolymer, *Polymer testing*, 24 (5), 613-619.
- Turaçlı, H., 2000, Enjeksiyon Kalıpları İmalatı, *PAGEV Yayınları, İstanbul*, 10-150.

Yiğit, F. C., 2011, Plastik Enjeksiyon Makinelerinde ve Ürünlerde Arıza Tespiti ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Hasan Birol KIZILÖZ  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya – 04.01.1989  
**Telefon** : 05069461254  
**Faks** : -  
**e-mail** : hbirolk@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muhittin Güzelkılınç Lisesi, Meram, Konya	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019