T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİSTİREN ENJEKSİYONUNDA ÇEVRİM ZAMANI OPTİMİZASYONU

Serkan TUĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çorlu Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

Tekirdağ - 2005

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİSTİREN ENJEKSİYONUNDA ÇEVRİM ZAMANI OPTİMİZASYONU

SERKAN TUĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇORLU MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 13.07.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr.	Yrd. Doç. Dr.	Yrd. Doç. Dr.
Ayşen HAKSEVER	Nurşen ÖNTÜRK ALTAY	Erkan GÖNÜLOL
Danışman		

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİSTİREN ENJEKSİYONUNDA ÇEVRİM ZAMANI OPTİMİZASYONU

Serkan TUĞ
Trakya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çorlu Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER
2005, 58 sayfa

Plastik enjeksiyon prosesinde çevrim zamanı, verimlilik ve ekonomiklik açısından büyük önem taşımaktadır. Üretilecek parça için belirlenmiş kalite kriterlerinden ödün vermeden çevrim zamanının iyileştirilmesi verimliliği arttıracak ve önemli ölçüde tasarruf sağlanmasına yol açacaktır.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon prosesinde etkili olan; hammadde, enjeksiyon makinesi, enjeksiyon parametreleri incelenmiştir. Polistiren (PS) bir parçanın enjeksiyon prosesinde çevrim zamanının optimizasyonu için uygulamalı çalışmalar yapılmıştır. Uygulamalar gerekli ön çalışmalar yapıldıktan sonra pratik olarak enjeksiyon makinesi başında yapılmış elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon, çevrim zamanı, polistiren, optimizasyon

SUMMARY

Master of Science Thesis

CYLE TIME OPTIMISATION IN INJECTION PROCESS FOR POLYSTYRENE

Serkan TUĞ
Trakya University
Institute of Science
Çorlu Mechanical Engineering Main Department

2005, 58 pages

Cycle time is very important in injection moulding process of thermoplastics to be efficient and economic. While the quality criterias defined for the part kept, making the cycle time shorter improves the efficiency and save money and time.

In this study, row material, injection machine and injection parameters which are effective in injection process are investigated. Application studies done for optimizing the cycle time of injection moulding process for polystyrene. After doing necessary pre-studies, the applications done with injection machines and the results are evaluated.

Key words: Plastic injection moulding, cycle time, polystyrene, optimisation

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans ve tez aşamalarımın tümünde desteğini ve bilgisini sürekli olarak yanımda bildiğim danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER'e, görüşlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU'na, deneyim ve tecrübelerini ve değerli zamanlarını benle paylaşan ve bu tezin hazırlanmasında hem kaynak hem uygulama aşamasında en büyük desteği aldığım BSH PEG A.Ş. Plastik Kalıp Sorumlusu Sayın Erhan KAYA'ya, BSH PEG A.Ş. Plastik Fabrikası Alan Yöneticisi Sayın Mesut ÖZCAN ve değerli ekibine, BSH PEG A.Ş. Soğutucu Fabrikası AR-GE Alan Yöneticisi eski mesai arkadaşım Sayın Serdar UYAN'a, bu çalışma süresince verdikleri motivasyon ve destekleri için değerli Çorlu Meslek Yüksek Okulu Öğretim Elemanlarına ve tabii ki her zaman benle olan ve destekleyen sevgili eşim Nebiye ERDEM TUĞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Serkan TUĞ

Temmuz, 2005

ÖNSÖZ

Yapay organik malzemeler grubunun en önemlisi olan plastiğin günlük hayatımızdaki yeri ve önemi çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Kimya ve makine sanayiinin gelişmesi de plastiklerin yaygınlaşmasına ve plastik teknolojisinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Ülkemiz ekonomisi için de gelişme eğilimi içinde olan bu sektörün desteklenmesi, teknolojik ve bilimsel açıdan beslenmesi ve bu alanda verimlilik ve kalite düzeylerinin artırılması gerekmektedir.

Enjeksiyon işleminin ekonomik boyutları düşünüldüğünde işlemin ne kadar seri gerçekleştirilirse karlılık oranı ve verimliliğin de o kadar artacağı açıktır. Enjeksiyon işleminin tüm basamakları mengene ünitesinin kalıbı açmasından parçanın dışarıya alınmasına kadar tekrarlanan bir işlem yani bir çevrim olduğu düşünülürse; optimizasyonun hedefinin, çevrim zamanını kaliteden ödün vermeden kısaltarak üretim verimliliğini ve karlılığı arttırmak olduğu görülmektedir.

Çevrim zamanını kısaltmak nihai hedeftir ancak boyutsal doğruluk, geometrik düzgünlük ve rijitlik, parça ağırlığı ve yüzey kalitesi gibi kriterler çevrim zamanının kısaltılmasında taviz verilemeyecek kıstaslardan bazılarıdır. Bu yüzden optimizasyon çalışması verimliliğin arttırılması açısından kaçınılmazdır.

BSH PEG A.Ş.
Soğutucu Geliştirme Departmanı
Alan Yöneticisi

Mak. Müh. Serdar UYAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET **iii**

SUMMARY **iv**

TEŞEKKÜR **v**

ÖNSÖZ **vi**

İÇİNDEKİLER **vii**

SİMGELER DİZİNİ **ix**

ÇİZELGELER DİZİNİ **x**

ŞEKİLLER DİZİNİ **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Plastik Hammadde (Polistiren, PS) 2

1.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi 5

1.3. Enjeksiyon İşleminin Basamakları 9

1.4. Enjeksiyon Parametreleri 10

1.4.1. Malzeme sıcaklığı (T_M) 10
1.4.2. Kalıp sıcaklığı (T_W) 12
1.4.3. Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı 13
1.4.6. Tutma (ütüleme) basınçları ve süresi (P_N , t_N) 14

1.5. Çevrim Zamanı 16

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **17**

3. MATERYAL VE METOD **20**

3.1. Materyal 20

3.1.1. Plastik hammadde (Polistiren, PS) ve ürün (sebzelik) 20

3.1.2. Enjeksiyon Makinesi 23
3.1.3. Termometre 26
3.1.4. Hassas terazi 28
3.2. Metod 28

4. DENEYLER 31
4.1. Deneye Hazırlık 31
4.2. Deney serileri 32
4.2.1. Birinci deney serisi 32
4.2.2. İkinci deney serisi 35
4.2.3. Üçüncü deney serisi 38

5. DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER 42
5.1. Değerlendirme 42
5.1.1. Deney serilerinin değerlendirilmesi 42
5.1.2. Mengene zamanlarından kazanç 45
5.1.3. Robot çalışma zamanından kazanç 45
5.1.4. Ütüleme (tutma) basınçları süresinden kazanç 45
5.1.5. Soğutma süresinden kazanç 46
5.2. Sonuçlar 47
5.3. Öneriler 49

6. KAYNAKLAR 50
7. ÖZGEÇMİŞ 52
EK - A 53

SİMGELER DİZİNİ

T_1, T_2	silindir sıcaklıkları (°C)
T_M	malzeme sıcaklığı (°C)
T_W	ortalama kalıp yüzeyi sıcaklığı (°C)
T_{W1} , T_{W2}	kalıp yüzey sıcaklıkları (°C)
$\hat{T}_E$	kalıptan çıkışta malzeme içi maksimum sıcaklık (°C)
$\overline{T}_E$	ortalama kalıptan çıkış sıcaklığı (°C)
T_D	meme sıcaklığı (°C)
P_{St}	arka (geri) basınç (bar)
P_{Sp}	enjeksiyon basıncı (bar)
P_N	tutma basıncı (bar)
t_S	enjeksiyon süresi (s)
v_S	enjeksiyon hızı (cm^3/s)
t_N	tutma basıncı süresi (s)
t_K	soğuma süresi (s)
t_P	duraklama süresi (s)
F_S	kilitleme kuvveti (kN)
T_{S1} ,T_{S2}	ısıtma/soğutma ortamı sıcaklığı (°C9
s_D	dozaj stroku (mm)
s_P	malzeme yastığı (mm)
n_S	vida hızı (dev/dak)
$\overline{G}$	ortalama parça ağırlığı (g)
$\bar{x}$	ortalama kontrol ölçüsü (mm)

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No:

Çizelge 1.1. Ticari kristal ve antişok polistirenlerin tipik özellikleri 3
Çizelge 1.2. Genel amaçlı polistirene ait bazı veriler 4
Çizelge 1.3. Genel amaçlı polistiren için tavsiye edilen ocak sıcaklıkları 4
Çizelge 3.1. Enjeksiyon makinesi kapasitesi 24
Çizelge 4.1. Birinci deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm) 32
Çizelge 4.2. Birinci deney serisine ait parça ağırlıkları (g) 34
Çizelge 4.3. İkinci deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm) 35
Çizelge 4.4. İkinci deney serisine ait parça ağırlıkları (g) 37
Çizelge 4.5. Üçüncü deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm) 38
Çizelge 4.6. Üçüncü deney serisine ait parça ağırlıkları (g) 40
Çizelge 5.1. Deney serilerine ait kontrol ölçüsü dağılımları 43
Çizelge 5.2. Deney serilerine ait ağırlık dağılımları 44
Çizelge 5.3. Başlangıçtaki çevrim zamanı 48
Çizelge 5.4. Çalışma sonrası ulaşılan çevrim zamanı 48
Çizelge Ek-A.1. Hammadde üreticisi firmanın tavsiye ettiği sıcaklık değerleri 53
Çizelge Ek-A.2 İlk ayar parametreleri 53
Çizelge Ek-A.3. İlk ayar sürecinde ilk 20 parça ağırlıkları 54
Çizelge Ek-A.4. İlk ayar sürecinde ilk sıcaklık kontrolleri 55
Çizelge Ek-A.5. İlk ayar sürecinde artırılmış silindir sıcaklıkları 55
Çizelge Ek-A.6. Silindir sıcaklıkları 10°C arttırıldığında ağırlıklar 55
Çizelge Ek-A.7. İlk ayar sürecinde sıcaklık kontrolleri (II) 56
Çizelge Ek-A.8. Azaltılmış kalıp soğutma suyu sıcaklıkları 56
Çizelge Ek-A.9. Soğutma suyu termostat değerleri 3°C azaltıldığında ağırlıklar 57
Çizelge Ek-A.10. İlk ayar sürecinde sıcaklık kontrolleri (III) 57
Çizelge Ek-A.11. İlk ayar sürecinde tutma basınçları süresinin ayarlanması 58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.1. Plastik enjeksiyon makinesi 5
Şekil 1.2. Plastikasyon ve enjeksiyon ünitesi 6
Şekil 1.3. Kayan halkalı (yüzüklü) geri dönüşsüz valf 7
Şekil 1.4. Üç aşamalı helezon 8
Şekil 1.5. Malzeme sıcaklığı tespitinde sıcaklık sensörleri ölçüm noktaları 10
Şekil 1.6. Malzeme sıcaklığı ile kontrol ölçüsü ve ağırlık değişimi 11
Şekil 1.7. Kalıp sıcaklığı değişiminin, kontrol ölçüsü ve ağırlığı üzerindeki etkisi 13
Şekil 1.8. Parça ağırlığındaki artış yardımıyla tutma basıncı süresinin bulunması 15
Şekil 1.9. Kalıp içi basınç eğrisini kullanarak tutma basıncı süresinin bulunması 15
Şekil 3.1. Polistiren hammadde granülleri 20
Şekil 3.2. Ürün (sebzelik) ve kullanım ortamı 21
Şekil 3.3. Ürüne ilişkin tespitler 23
Şekil 3.4. Krauss Maffei enjeksiyon makinesi (KM 420 - 3500 C1) 24
Şekil 3.5. Robotun parçayı kalıptan alma işlemi 25
Şekil 3.6. Robotun parçayı taşıyıcı bant üzerine bırakması 25
Şekil 3.7. Problu termometre 26
Şekil 3.8. Eriyik malzeme sıcaklığının ölçülmesi 27
Şekil 3.9. Kalıp yüzey sıcaklığının ölçülmesi 27
Şekil 3.10. Problu termometre ve elektronik hassas terazi 28
Şekil 3.11. Parametrelerin optimizasyonu stratejisi için akış diyagramı 30
Şekil 4.1. Birinci deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm) 33
Şekil 4.2. Birinci deney serisi ağırlık dağılımı (g) 34
Şekil 4.3. İkinci deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm) 36
Şekil 4.4. İkinci deney serisi ağırlık dağılımı (g) 37
Şekil 4.5. Üçüncü deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm) 39
Şekil 4.6. Üçüncü deney serisi ağırlık dağılımı (g) 40
Şekil 5.1. Kontrol ölçüsüne göre basınç düzeltmesi 43

Şekil 5.2. Basınç düzeltmesine göre ağırlık tespiti 44
Şekil Ek-A.1. İlk ayar süreci (İlk 20 parça ağırlık seyri) 54
Şekil Ek-A.2. İlk ayar süreci (silindir sıcaklıkları artışıyla ağırlık değişimi) 56
Şekil Ek-A.3. İlk ayar süreci (Kalıp sıcaklığı değişimiyle ağırlık değişimi) 57
Şekil Ek-A.4. İlk ayar süreci (Ütüleme süresi değişimiyle ağırlık değişimi) 58

1. GİRİŞ

Plastik malzemelere şekil vermek için kullanılan bir çok yöntem vardır. Basınçlı kalıplama, döküm kalıplama, termoforming, şişirme, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama bunlardan birkaçıdır (Akyüz, 1998). Enjeksiyonla kalıplama, en yaygın olan yöntemlerden biridir. Plastik enjeksiyonu kısaca; en az iki parçadan oluşan ve iki parça arasında kalıp boşluğu denilen bir boşluğa sahip bir kalıbın, kalıp boşluğuna ergimiş plastiğin belli bir basınçta enjekte edilmesi ve soğuyup katılaştıktan sonra kalıbın açılarak parçanın kalıptan alınması işlemi olarak ifade edilebilir. Bu işlemin avantajlarının başında, seri imalata ve otomasyona uygunluğu gelmektedir. Ayrıca kompleks yapıdaki parçalar çok hızlı olarak imal edilebilmekte, birçok durumda da ek bir işlem gerektirmemektedir. Oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçaları gibi günlük hayatta karşılaştığımız plastik ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmişlerdir.

Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretim yapmak için parça tasarımına, bu parçaya göre tasarlanmış bir kalıba ve bu kalıpla enjeksiyon yapabilecek özelliklerde bir enjeksiyon makinesine gereksinim vardır. Bu yöntem kullanılarak yapılacak bir üretim şu aşamalardan geçmektedir:

- Ürün tasarımı ve malzeme seçimi
- Kalıp tasarımı, imalatı ve montajı
- Enjeksiyon makinesinin seçimi ve kalıbın makineye montajı
- Enjeksiyon şartlarının seçimi ve enjeksiyon işlemi

En iyi kalitede ve mümkün olan en düşük maliyetle bir parça üretebilmek için, bu aşamaların her biri dikkatlice ele alınmalı, çözüme kavuşturulmalıdır (Akyüz, 1998).

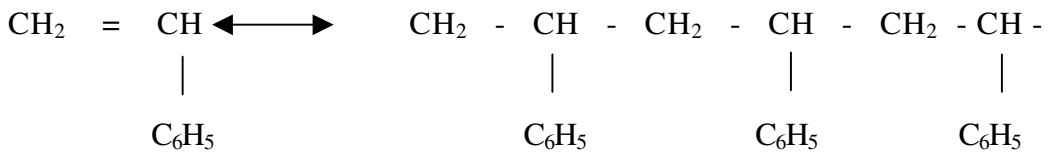
Bu çalışmada, enjeksiyon aşamasında parametrelerin ilk ayar optimizasyonu uygulaması yapılarak, ölçü ve ağırlık kontrollü olarak basınç düzeltmesi tespit edilmiş, kaliteden ödün vermeden çevrim zamanını azaltan bazı uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Yapılan uygulamalarda, saydam özelliğinden dolayı görsel kalite unsurlarının takibi kolay olduğundan, plastik hammadde olarak genel amaçlı (kristal) polistiren kullanılmıştır.

1.1. Plastik Hammadde (Polistiren, PS)

Plastikler, yapay organik malzemelerdir. Yapılarındaki en küçük karakteristik birim monomer adını almaktadır. Monomerlerin birbirlerine bağlanmasıyla oluşan zincir yapılar ise polimer olarak anılmaktadır ve plastiğe ismini vermektedir. Monomerlerin birbirlerine bağlanarak polimer zinciri oluşturması da polimerizasyon adı verilen işlemlerle gerçekleşmektedir. Bu çalışmada kullanılan plastik hammadde polistirendir. Polistiren, bir araya gelmiş stiren monomerlerinin oluşturduğu polimerin adıdır.

Stiren, 145°C'de kaynayan ve bu sıcaklıkta hızla polimerleşen bir sıvıdır. Stiren monomerlerinin birleşerek oluşturduğu polimer zincir parçası aşağıdaki gibi gösterilmektedir:



Stiren ⟶ Polistiren zincir parçası

Polistiren zinciri 750 ile 1300 monomer biriminden meydana gelen, 100°C'nin altında şeffaf ve katı, 100°C'nin üzerinde yumuşayıp akışkan hale dönüşen ve kolayca kalıplanıp şekillendirilebilen bir plastiktir.

Polistiren en çok kullanılan plastiklerdendir. Stirenin polimerizasyonu ile elde edilen türüne "kristal polistiren" veya "genel amaçlı polistiren" denir. Stiren monomerinin polibutadien kauçuğu ile aşılanarak üretilen türüne ise antişok polistiren denilmektedir. Ticari kristal ve antişok polistirenlerin tipik özellikleri çizelge 1.1.'de verilmektedir.

Polistireni diğer termoplastiklerden avantajlı duruma geçiren özellik, onun amorf yapısıdır. Camsı halden eriyik hale geçerken az enerji harcanmaktadır. Kristalizasyon enerjisinin olmaması, hızlı ısıtılıp soğutulmasını, dolayısıyla hızlı kalıplanma avantajını sağlar. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metodları ile düşük enerji kullanılarak, bozunmadan kolayca kalıplanabilir. Genel amaçlı polistirene ait tavsiye edilen enjeksiyon üretim değerleri çizelge 1.2. ve çizelge 1.3.'te verilmiştir.

Polistirenin amorf yapıda olması, kristal yapılı polietilen ve polipropilen gibi plastiklere göre kalıplama esnasında çekme (shrinkage) miktarının çok az olmasına sebep olur (%0,45). Polistiren elektrik izolasyon özelliği açısından bütün polimer tipleri arasında en iyisidir. Dielektrik sabiti 20-80°C arasında sıcaklıktan bağımsızdır. (Taşkıran, 2001)

Çizelge 1.1. Ticari kristal ve antişok polistirenlerin tipik özellikleri

Özellik	Kristal Polistiren	Antişok Polistiren	Test Metodu		
			ASTM	ISI	TS
Vicat Yumuşama Sıcaklığı (^{o}C)	88 - 108	94 - 104	D1525	306	1825
Deformasyon Sıcaklığı (^{o}C)	75 - 103	81 - 92	D648	75	985
Çekme Dayanımı (MPa)	36 - 56	15 - 20	D638	527	1398
Kopmada Uzama (%)	1,6 - 2,4	20 - 40	D638	527	1398
İzod Darbe Direnci (J/m) (Çentikli)	19 - 24	37 - 80	D256	180	1005
Sertlik (Rockwell, M Skala)	72 - 76	25 - 65	D785	2039	9406

Çizelge 1.2. Genel amaçlı polistirene ait bazı veriler

Oda sıcaklığında ortalama yoğunluk	1,05 g/cm^3
Tavsiye edilen kilitleme gücü değerleri	150 – 300 bar
Enjeksiyon işleme sıcaklığı	180 – 250 °C
Tavsiye edilen kalıp sıcaklığı	30 - 60°C
Maksimum tavsiye edilen havalandırma derinliği	0,042/0,06 mm
Özgül ısı	1,34 kJ/kg°K
Isıl iletkenlik	0,12 W/m°K
Erime sıcaklığı aralığı	210 - 250°C
1 kg plastiği eritmek için gerekli ısı	268 kJ/kg
Tavsiye edilen parça kalınlığı	0,85 – 3,8 mm
Akma uzunluğu oranı	150/1 mm
Geri dönüşüm oranı	%100
Çekme oranı	%0,45

Çizelge 1.3. Genel amaçlı polistiren için tavsiye edilen ocak sıcaklıkları

Flanş	20 - 30°C
1. bölge	150 - 180°C
2. bölge	180 - 230°C
3. bölge	210 - 280°C
4. bölge	220 - 280°C
meme	210 - 280°C

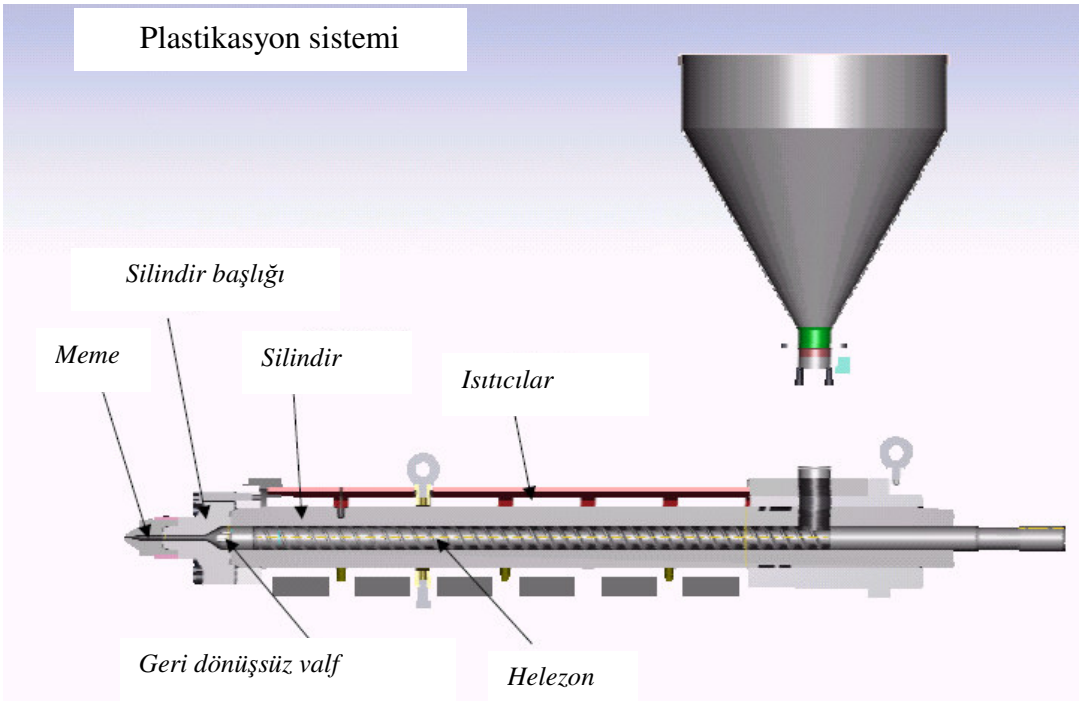
1.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi



Şekil 1.1. Plastik enjeksiyon makinesi

Plastik malzemelerin, enjeksiyon yöntemi kullanılarak kalıplanabilmesi için enjeksiyon makinesine ihtiyaç vardır (Şekil 1.1.). Enjeksiyon makinesinin temel işlevleri; plastik malzemenin sıcaklığını basınç altında akış sağlayabilecek dereceye çıkarmak, makinenin kapalı tuttuğu kalıba plastiğin itilip katılaşmasını sağlamak ve kalıbı açıp ürünü çıkarmak olarak özetlenebilir. Bir plastik enjeksiyon makinesinin başlıca kısımları; makine gövdesi, plastikasyon ve enjeksiyon ünitesi, mengene ünitesi, hareket (tahrik) sistemi ve kontrol sistemidir.

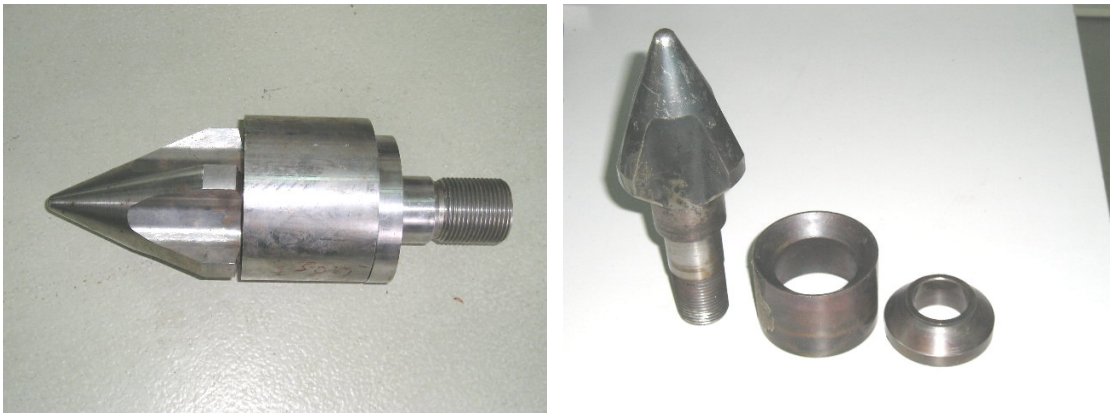
Plastikasyon ve enjeksiyon ünitesinin ana görevleri; huniden ocağa giren plastik malzemeyi (polimer reçinesi) ısıtıp eritmek, eriyik malzemeyi kontrollü şartlarda kalıba enjekte etmek, malzemenin kalıpta sağlam bir ürün haline gelmesi için gerekli tutma (ütüleme) basınçlarını sağlamaktır (Şekil 1.2.). Bunların yanısıra; enjeksiyon ünitesi rahatça ileri geri hareket edecek şekilde olmalı ve memeyle yolluk burcunu gereken kuvvetle temas halinde tutabilmelidir. Günümüzde bu işlemler daha çok, helezonlu enjeksiyon üniteleriyle sağlanmaktadır.



Şekil 1.2. Plastikasyon ve enjeksiyon ünitesi

Plastik malzemeyi eriten ve kalıba basan helezon veya helezon sistemleri enjeksiyon makinesinin en önemli parçalarındandır. Plastik malzemenin huniden meme boşluğuna kadar erimiş olarak ve homojen bir şekilde gelmesi, hem ocak ısıtıcılarından sağlanan ısı enerjisi, hem de helezonun dönme hareketinin neden olduğu mekanik enerji tarafından sağlanmaktadır. Bundan sonra enjeksiyon ve tutma basınçları safhalarında geri dönüşsüz bir valfle (Şekil 1.3.) kapanan ve eriyik malzemenin geriye doğru akışını önleyen helezon başı sayesinde helezon bir piston gibi hareket etmekte ve meme boşluğundaki malzemeyi oldukça yüksek basınçlarda kalıba enjekte etmektedir.

Helezonlar genellikle besleme, sıkıştırma ve dozaj kontrol (ölçme) olmak üzere üç farklı bölgeden meydana gelmektedir (Şekil 1.4.). Besleme bölgesinde; tanecikli, parçacıklı veya toz halindeki katı malzeme taşınır ve sıkıştırma bölgesine iletilmektedir. Sıkıştırma bölgesi; besleme bölgesinden alınan malzemenin sıkıştırıldığı kısımdır.



Şekil 1.3. Kayan halkalı (yüzüklü) geri dönüşsüz valf

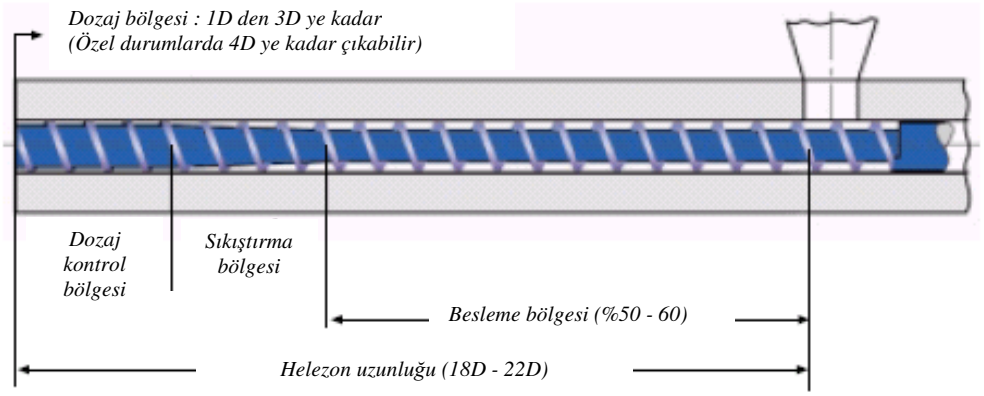
Dozaj kontrol (ölçme) bölgesinde; homojen hale gelmiş olan malzemenin sıcaklığı enjeksiyon yapılacak sıcaklığa yükseltilmekte ve malzeme kalıplanmaya hazır hale gelmektedir.

Bu üç bölgeli üniversal helezonlar, plastik enjeksiyon işleminde en çok kullanılan tiptir; hemen hemen tüm termoplastiklerin işlenmesi için uygundur. En çok uzunluklarının (L) çaplarına (D) oranlarıyla tanımlanırlar ve sınıflandırılırlar. Günümüzde bu L/D oranı 18 ile 24 arasındadır. Çift helezon sistemine sahip makineler de mevcuttur.

Enjeksiyon makinesi bir bütün olarak tüm fonksiyonlarını takip ve belli bir sıraya göre koordine edebilecek, çalışma parametrelerini gözlemleyip sabit tutabilecek ve enjeksiyon çevriminin her safhasını optimize edebilecek olan bir sisteme yani kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Çünkü bir enjeksiyon makinesindeki tüm fonksiyonlar her makinede olması gerektiği gibi belli bir sıraya göre gerçekleştirilmeli, her fonksiyonun başlama ve bitiş zamanları ve konumları kontrol altında tutulmalı ve takip edilmelidir.

Bir enjeksiyon makinesinde açık veya kapalı devre kontrolüyle denetlenmesi gereken bazı fonksiyonlar:

- Ocak sıcaklığı
- Eriyik malzeme sıcaklığı
- Varsa sıcak yolluk sistemlerinin sıcaklığı
- Kalıp sıcaklığı
- Helezonun dönüş hızı (mal alma işlemleri için)
- Enjeksiyon hızı
- Tutma basınçlarıdır. (Akyüz, 1998)



Şekil 1.4. Üç aşamalı helezon

1.3. Enjeksiyon İşleminin Basamakları

Plastikasyonun başlaması: Helezon dönerek bir yandan malzeme hunisinden ocağın içine plastik hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru itmekte, bu işlemleri yaparken eksenel olarak geriye doğru hareket emektedir.

Plastikasyonun bitmesi: Helezonun dönmesi durmuştur, memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır.

Kalıbın kapanması: Mengene, kalıp parçaları tam olarak üst üste gelecek şekilde sıkıca kapanmaktadır.

Enjeksiyonun başlaması: Helezon dönmeden, eksenel olarak ileri hareketiyle eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna enjekte etmektedir.

Enjeksiyonun bitmesi ve kalıp içindeki malzemenin soğuması: Artık sıcak malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak malzeme daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya ve çekmeye başlamaktadır. Çekmeyi engellemek için kalıp boşluğuna biraz daha malzeme nakledilmektedir (ütüleme veya tutma basınçları safhası).

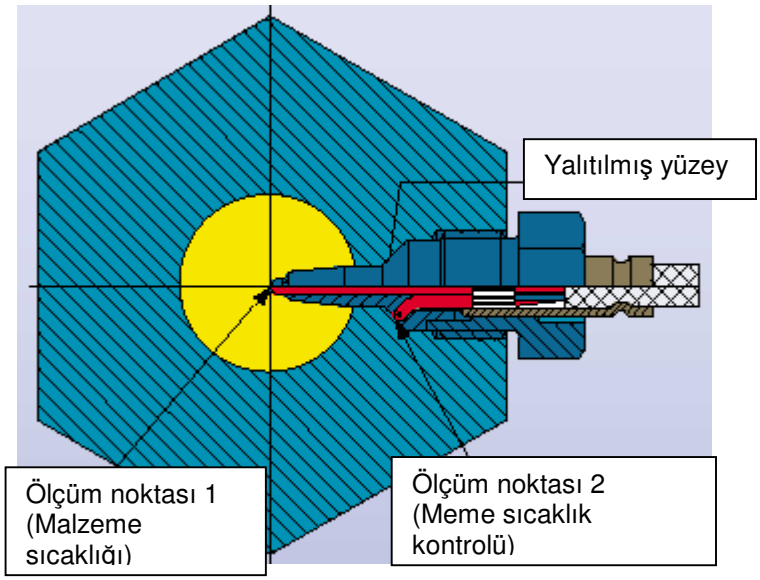
Ürünün kalıptan dışarı atılması: Kalıplanan malzeme yeterince soğuduktan sonra kalıp açılmakta ve ürün "itici" denilen sistem yardımıyla kalıptan dışarı atılmaktadır.

1.4. Enjeksiyon Parametreleri

1.4.1. Malzeme sıcaklığı (T_M)

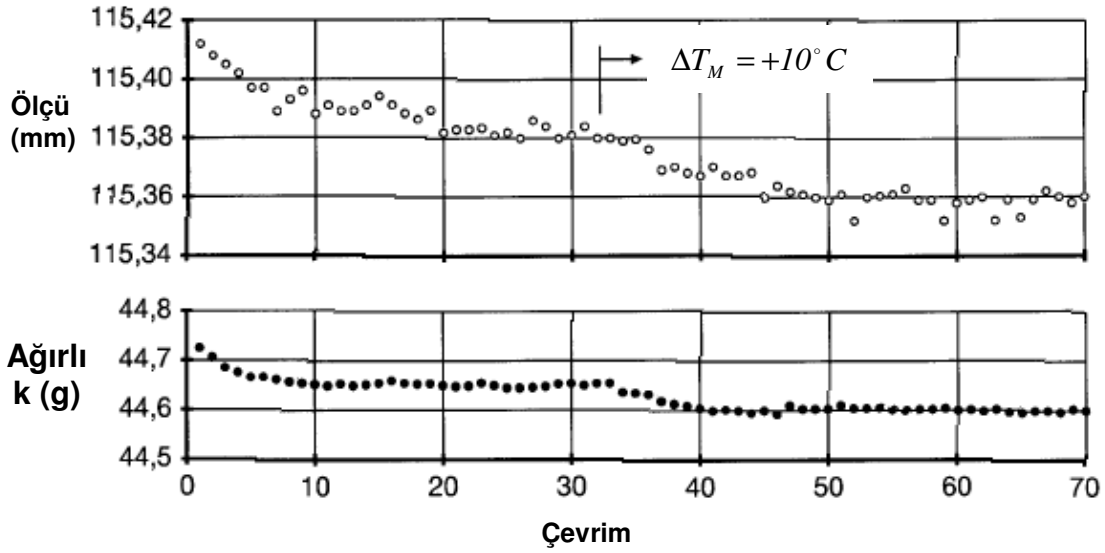
Malzeme sıcaklığı ile helezonun uç kısmındaki veya sıcak kanal yolluğundaki ergimiş kitlenin sıcaklığı kastedilmektedir. Malzeme sıcaklığının parçada ölçü, ölçü dağılımı ve şekil sapmasına önemli etkisi vardır (Kopp, 1998). Bu sıcaklık helezon ucu ile meme arasında, bir sonraki baskı için hazır bekleyen malzeme hacminin ortalama sıcaklığıdır. Malzeme sıcaklıkları genellikle literatürde belirli bir sıcaklık aralığı olarak verilmektedir.

Malzeme sıcaklığı, ayarlanan silindir sıcaklığından sık sık ve oldukça sapma gösterebilmektedir. Bu yüzden malzeme sıcaklığının doğrudan ölçülmesinde fayda vardır. Bu, normalde taşınabilir ölçüm üniteleri vasıtasıyla malzemenin açık havaya enjeksiyonu yapılarak ölçülmektedir. Sıcaklık sensörleri kullanılarak da üretimi engellemeden sürekli ölçümler yapmak mümkündür (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Malzeme sıcaklığı tespitinde sıcaklık sensörleri ölçüm noktaları

Basınç sabit tutulup, belli bir malzeme sıcaklığı için kontrol ölçüsü ve parça ağırlığı izlendiğinde, malzeme sıcaklığındaki artışla beraber çekmede biraz artış olurken parça ağırlığında da bir miktar düşüş kaydedilmektedir (Şekil 1.6.). Şunu da belirtmek gerekir ki; makine üzerinden parametrelerde yapılan değişikliklerin prosese anında yansımaları beklenemez. İstenen değişikliklerin makineye girilmesinden sonra en az 15-20 çevrim geçmelidir (Anonymous, 2000).



Şekil 1.6. Malzeme sıcaklığı ile kontrol ölçüsü ve ağırlık değişimi

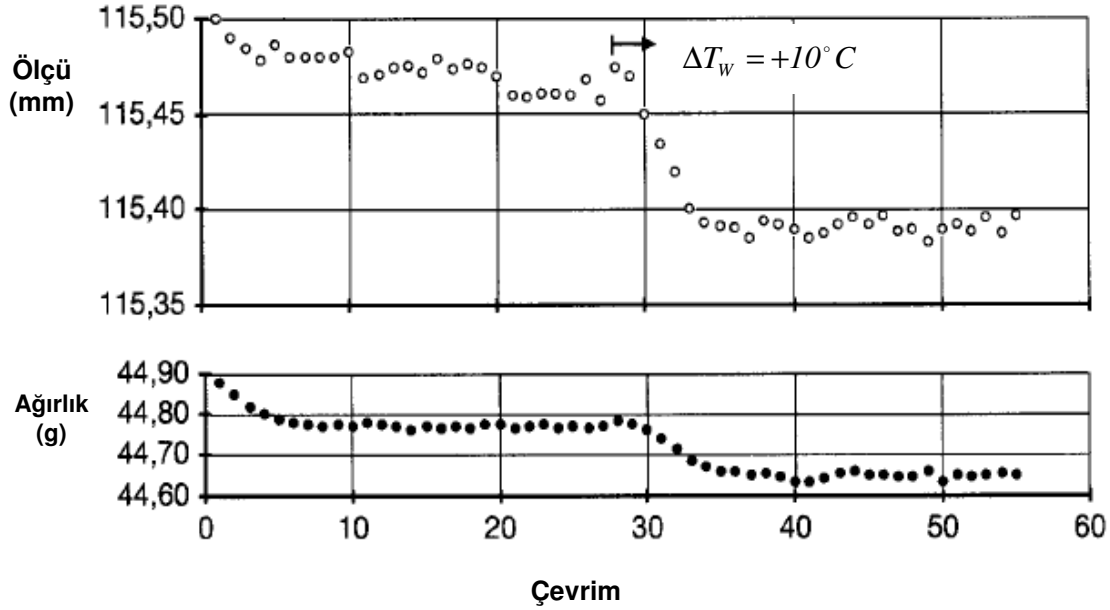
1.4.2. Kalıp sıcaklığı (T_W)

Kalıp sıcaklığına ilişkin malzemeye ait tavsiye edilen değerler, kalıp boşluğunun cidar sıcaklıklarının ortalamasını işaret etmektedir. Parçanın şekillenmesinde bu sıcaklık temel bir etkiye sahiptir (Joisten, 1997).

İşlenecek polimer için tavsiye edilecek kalıp sıcaklığı değerleri, malzeme sıcaklığında olduğu gibi yine bir aralık dahilindedir. Çevrim zamanı gibi ekonomik nedenlerden dolayı, hedef mümkün olan en düşük kalıp sıcaklıklarında çalışmaktır. Ancak; eğer kalıp sıcaklığı tavsiye edilen değerlerin alt sınırından da düşük olursa yüzey kalitesi yetersiz olacaktır. Bu durum amorf malzemeler için parça içerisinde kabul edilemez gerilmelerin oluşumuna ve yarı kristal malzemeler için de kristalleşmenin yetersiz kalmasına yol açar. Belirlenen aralık içinde mümkün olan en kısa çevrim zamanının ve kriterlerin sağlanması optimizasyonun temel sorunudur (Anonymous, 2000).

Boyutsal doruluk ve kararlılık, yüzey kalitesi ve gerilme durumuna ilişkin kalite kriterleri yüksek olduğunda, kalıp yüzeyi sıcaklıklarının genellikle yüksek tutulması tavsiye edilmektedir.

Kalıp sıcaklığındaki değişimin, kontrol ölçüsü ve parça ağırlığı üzerindeki etkisi izlenerek bir dizi çevrim gerçekleştirilirse, Şekil 1.7'deki gibi bir ilişki elde edilmektedir. Buradan da görüleceği üzere, kalıp sıcaklığındaki değişimin çekme ve ağırlık üzerindeki yansıması ihmal edilemeyecek düzeydedir ve malzeme sıcaklığı değişiminin etkisinden daha fazladır (Joisten, 1997).



Şekil 1.7. Kalıp sıcaklığı değişiminin, kontrol ölçüsü ve ağırlığı üzerindeki etkisi

1.4.3. Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı

Enjeksiyon hızının mümkün olduğunca yüksek ve sabit bir değerde tutulmasının, maksimum akış uzunluğu sağlamak, soğutma safhasında daha üniform şartlar elde etmek ve oryantasyonu düşük düzeyde tutmak gibi avantajlı sonuçları vardır. Bunun yanısıra; yolluk dar kesitlerinde malzeme hasarı oluştuğunda, ince duvar kalınlığı olan bölgelerde ve akış yolunun uzun olduğu kısımlarda malzemenin hasar görmesi ve renk değiştirmesi durumunda, malzeme içerisinde kalan sıkışmış hava sebebiyle ortaya çıkabilecek "dizel etkisi" görüldüğünde enjeksiyon hızı ayar değerlerinin azaltılması yoluna gidilmektedir (Anonymous, 2000).

Enjeksiyon basıncı aslında istenen enjeksiyon hızına erişmek için sadece yardımcı bir parametredir. Eğer enjeksiyon basıncından tutma basınçlarına yumuşak ve

uygun bir geçiş sağlanıyorsa enjeksiyon basıncını sınırlamaya gerek kalmaz. Enjeksiyon hızının çekme üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. (Joisten, 1997)

1.4.6. Tutma (ütüleme) basınçları ve süresi (P_N , t_N)

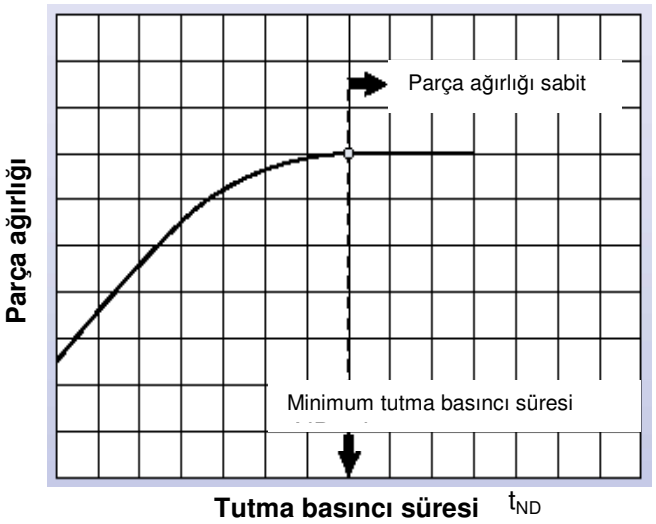
Tutma basınçları safhasının en önemli yönü; uygulanan basınçlar sayesinde, soğumaya başlayan malzemede termal büzülmeden (çekme) dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpılmalara) engel olabilmek için kalıba malzeme doldurulmaya devam edilmesidir. (Akyüz, 1998)

Soğuma safhasının başında parça katılaşır ve çekerken tutma basıncı, parçanın dış hatlarını destekler, parça içerisinde oluşan iç gerilmelerin parça sınırlarına doğru ötelenmesini sağlar. Bunun ideal sonucu, basma ve çekme gerilmelerinin birbirini dengeleyerek tamamen gerilimsiz bir parça elde edilmesidir.

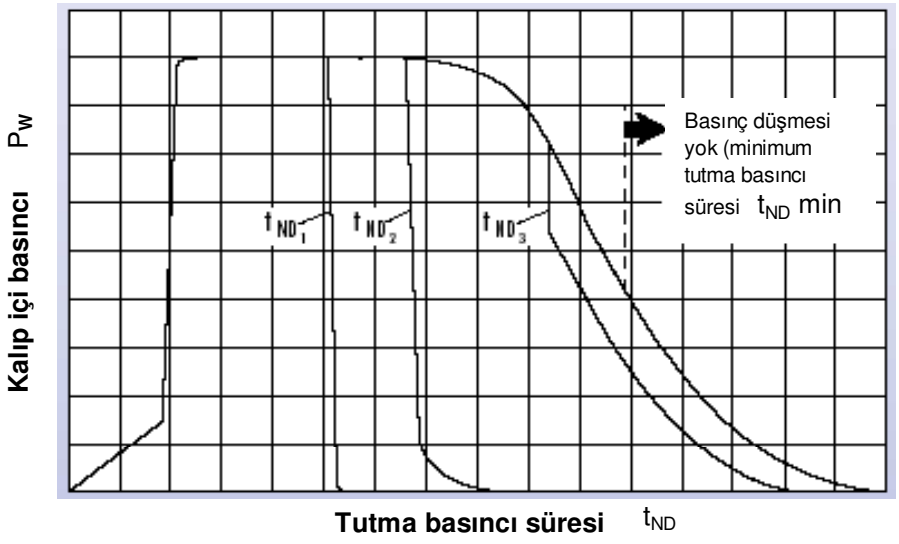
Tutma basıncının yetersiz olması halinde, parça içerisinde dış kısımlardaki basma gerilmeleriyle dengelenen çekme gerilmeleri artarken, tutma basıncının gerekenden fazla olması durumunda da iç kısımlarda basma, dış kısımlarda çekme gerilmeleri oluşur. İyi tasarlanmış parçalarda tutma basınçları, malzeme içinde hava kapanı oluşmasını ve çöküntüleri engelleyecek kadar yüksek olmalıdır. Tutma basınçları yükseldikçe, basınç seviyesindeki değişimlerin boyutsal sapmalar üzerindeki etkisi azalmaktadır (Anonymous, 2000).

Etkili tutma basıncı iki şekilde tespit edilebilmektedir:

a) Tutma basıncı, parça ağırlığı artık artmayıncaya dek kademe kademe arttırılır (Şekil 1.8.)
b) Kalıp içi basınç eğrisinde ani bir düşme görülmemesi gerekir (Şekil 1.9.).



Şekil 1.8. Parça ağırlığındaki artış yardımıyla tutma basıncı süresinin bulunması



Şekil 1.9. Kalıp içi basınç eğrisini kullanarak tutma basıncı süresinin bulunması

1.5. Çevrim Zamanı

Plastik enjeksiyon işleminde çevrim zamanı denildiğinde; kalıbın bir açılış kapanışta ürettiği parça veya parçalar için geçen zaman düşünülmektedir. Çevrim zamanı başlangıcı olarak kalıbın kapanmaya başladığı an esas alınmaktadır. Tekrar eden bu işlemler dizisi için, kalıbın bir sonraki kapanmaya başlama anına kadar geçen süre çevrim zamanını vermektedir. Çevrim zamanını genel olarak üç ana kısma ayırmak mümkündür: Kalıbın kapanması, kalıplama, kalıbın açılması ve parçanın alınması.

Enjeksiyon prosesi, kalıplama olarak ifade ettiğimiz, kalıbın kapalı olduğu evrede gerçekleşmektedir. Burada geçen zamanı etkileyen parametreler oldukça fazla ve birbiriyle etkileşim içindedirler. Proses parametreleri için temel ayarlar, literatürde verilen, malzemeye ait ampirik değerler esas alınarak yapılmaktadır. Bu ayarlar, optimizasyon aşamasında hem parça geometrisi ve kalıp tasarımından kaynaklanan özel şartlar hem de tek tek tüm kalite gerekleri dolayısıyla oluşan anlamlı bazı sınırlamalar gözetilerek yeniden düzenlenmekte, seçilen makinenin maksadına göre, gereken mengene ve kilitleme kuvvetleri belirlendikten sonra diğer parametrelere (malzeme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon ve tutma basınçları, enjeksiyon hızı, soğuma zamanı) geçilmektedir (Anonymous, 2000).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Akkurt (1991), çalışmasında, plastiklerin yapısı, polimer sentezi ve polimerizasyon prosesleri, plastik malzemelerin konstrüksiyon problemleri üzerinde durmuş ve işleme, çalışma ve çevre etkisi altında plastiklerin yıpranması konusunu araştırmıştır.

Rees (1994) yaptığı çalışmada, enjeksiyon kalıpçılığı prosesini plastik enjeksiyon kalıpçılığı sahasıyla yeni tanışmış olan kimseler için enjeksiyon makinesi, enjeksiyon kalıbı ve enjeksiyon termoplastiklerine ait temel teknik bilgileri vererek daha kolay anlaşılır kılmaya çalışmıştır. Bu çalışma konunun terminolojisinin anlaşılması açısından kapsamlı bir genel bakış mahiyetindedir.

Zollner (1994), BAYER için hazırladığı çalışmasında (ATI 916e) termoplastiklerin enjeksiyon prosesinde üretim maliyetini etkileyen proses değişkenlerini ve bunların çevrim zamanı üzerine etkilerini incelemiş, proses süresince P-v-T diyagramlarının yorumlanması hakkında tespitlerde bulunmuştur.

Joisten (1997), BAYER için yaptığı çalışmasında (PI 061e), proses optimizasyonunda dikkat edilmesi gereken kalite faktörlerini, proses değişkenlerinin çekme üzerine olan kalitatif etkilerini incelemiş, sıcaklık kontrolünün kontrol ölçüsü ve parça ağırlığı üzerindeki etkilerini belirlemiştir. Ayrıca enjeksiyon parametrelerinin optimizasyonu için bir strateji takip diyagramı önermiştir.

Akyüz (1998) yaptığı çalışmada, plastikler ve enjeksiyon hakkındaki genel bilgilerin haricinde, enjeksiyon makinesi, enjeksiyon kalıbı ve yapısı, proses değişkenleri ve birbirleriyle olan ilişkileri, polimerin reolojik özellikleri, polimerizasyon yöntemleri, otomasyon hakkında oldukça kapsamlı bilgiler vermekte ve termoplastik enjeksiyon kalıpçılığı için verimliliğe yönelik tavsiyelerde bulunmaktadır.

Turaçlı (1999), enjeksiyonla ilgili olarak yaptığı çalışmada, enjeksiyon kalıpçılığı için temel bilgileri derlemiş, ticari ve mühendislik plastiklerine ait özellikleri incelemiş, tavsiye edilen ocak, kalıp ve flanş sıcaklıklarını araştırmış, plastik enjeksiyon makinelerinde kapama kuvvetinin hesaplanması, gerekli enjeksiyon stroğunun hesaplanması konularını ele almıştır.

Zollner, (1999), ATI 1104d,e kodlu BAYER için yaptığı çalışmasında da enjeksiyon kalıbının sıcaklık kontrolünün optimize edilmesi için önerilerde bulunmuş, kalıp sıcaklığının parça ve soğutma zamanı üzerindeki etkilerini incelemiş, kalıbın ısıtılması ve soğutulması için gereken hesaplama yöntemleri üzerinde durmuştur.

Michaeli ve arkadaşları (2000), plastiklerle ilgili bir kurs ve ders kitabı niteliğinde hazırladıkları "Training In Plastics Technology" adlı çalışmada plastiklere ait yapısal bilgiler ve özellikler, üretime ilişkin prosesler, kullanım alanları ve farklı şekil verme ve işleme yöntemleri üzerine bir başvuru kaynağı hazırlamışlardır.

BAYER (2000), ATI 1145e kodlu anonim çalışmada, enjeksiyon prosesinde etkili olan malzeme ve kalıp sıcaklıkları, enjeksiyon hızı ve basıncı, tutma basınçları gibi parametreleri ve bunların etkilerini incelemiştir.

BAYER (2000), ATI 1144e kodlu anonim çalışmasında; enjeksiyon prosesi için gereken üretim ekipmanlarını, helezonların yapıları, dozajlama miktarlarının tespitini araştırmış, meme yapısı ve kalıp kilitleme kuvvetinin tespiti konularını incelemiştir.

BAYER (2000), "Production Equipment/Machinery" adlı anonim çalışmasında helezon ve meme çeşitleri ve yapıları, proses değişkenlerinin etkileri, kalıp sıcaklığının ölçülmesi konularını incelemiştir.

Kopp (2000), hazırladığı seminer notlarında, plastik parçaların tasarımı, enjeksiyon kalıbının yapısı, enjeksiyon kalıbının havalandırılması, plastik parça imalatı, enjeksiyonda etkileyici unsurlar ve hata analizi, kalite ve kalite emniyeti konularını ele

almıştır. İlk ayar optimizasyonu ve basınç düzeltmesine ilişkin kontrol ölçüsü ve ağırlık değişimlerini incelemiştir.

Turaçlı (2000), yaptığı bir diğer çalışmada, plastik ürün ve kalıp, sıcaklığa ait özellikler, sıvıların akışı, enjeksiyon makinesi ve bunun kalıp tasarımına etkilerini incelemiş, enjeksiyon kalıbı çeşitleri, yolluk ve yolluk girişi çeşitleri, kalıbın soğutulması ve erimiş plastiğin akışkanlığını incelemiştir.

Bilgiç ve Taşkıran (2001) yaptıkları çalışmada, ticari termoplastiklerin kimyasal yapıları, elde ediliş yöntemleri, sınıflandırmaları, üretime ilişkin tavsiyelerde bulunmaktadırlar. Bu kaynakta yer alan, polistirene ve işlenmesine ait önemli imalat tavsiyelerinden yararlanılmıştır.

Kominski ve Lambeck (2001), BAYER için yaptıkları "ATI 1122 d,e: Injection moulding screws" isimli çalışmada enjeksiyon kalıpçılığı helezonlarını incelemişler, helezon çapı, dozaj hacmi, dozaj ağırlığı ve yoğunluk arasındaki ilişkileri araştırmışlardır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada plastik hammadde olarak Polystyrol 165 H ve DOW Styron 637, enjeksiyon makinesi olarak da Krauss Maffei KM420-3500 C1 kullanıldı. Ölçümlerde yardımcı malzeme olarak bir termometre ve hassas teraziden yararlanıldı. Ölçü kontrolleri 3 boyutlu ölçüm cihazında yapıldı. Ürün ile ilgili CAD uygulaması olarak Unigraphics, Cimatron, SolidWorks programlarından yararlanıldı.

3.1.1. Plastik hammadde (Polistiren, PS) ve ürün (sebzelik)

Yoğunluk	: 1,05 g/cm^3
Vicat yumuşama sıcaklığı	: 89°C
Camsı geçiş sıcaklığı	: 90°C
Eriyik akış hızı (200°C/5 kg), g/10 dak	: 2,5g/10 dak
Isı iletimi	: 0,17 W/m°K
Isı kapasitesi	: 1,8 J/g°K





Şekil 3.1. Polistiren hammadde granülleri

Uygulama için ürün olarak, ev tipi soğutuculardа kullanılan, “sebzelik” parçası ele alınmıştır (Şekil 3.2.). Ürün hammaddesi olarak amorf özellikteki termoplastik grubundan polistiren (PS) seçilmiştir. Genel amaçlı polistirenin saydamlık özelliği, yapılan üretimlerde görsel kalite hatalarının tespitini kolaylaştırdığından, uygulama için tercih edilmiştir. Parça malzemesi olarak PS seçilmesinde, diğer özelliklerinin yanında en önemli kriter, polistirenin yarı saydam özelliğinin estetik olarak hoş bir görüntü sunması ve istendiğinde katkı olarak renklendiricilerin kullanılmasıyla renginin değiştirilebilir olmasıdır. Polistiren seçimi ayrıca, uygulama sırasında görsel kalite hatalarının kolayca tespit edilmesi açısından da kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Ürün (sebzelik) ve kullanım ortamı

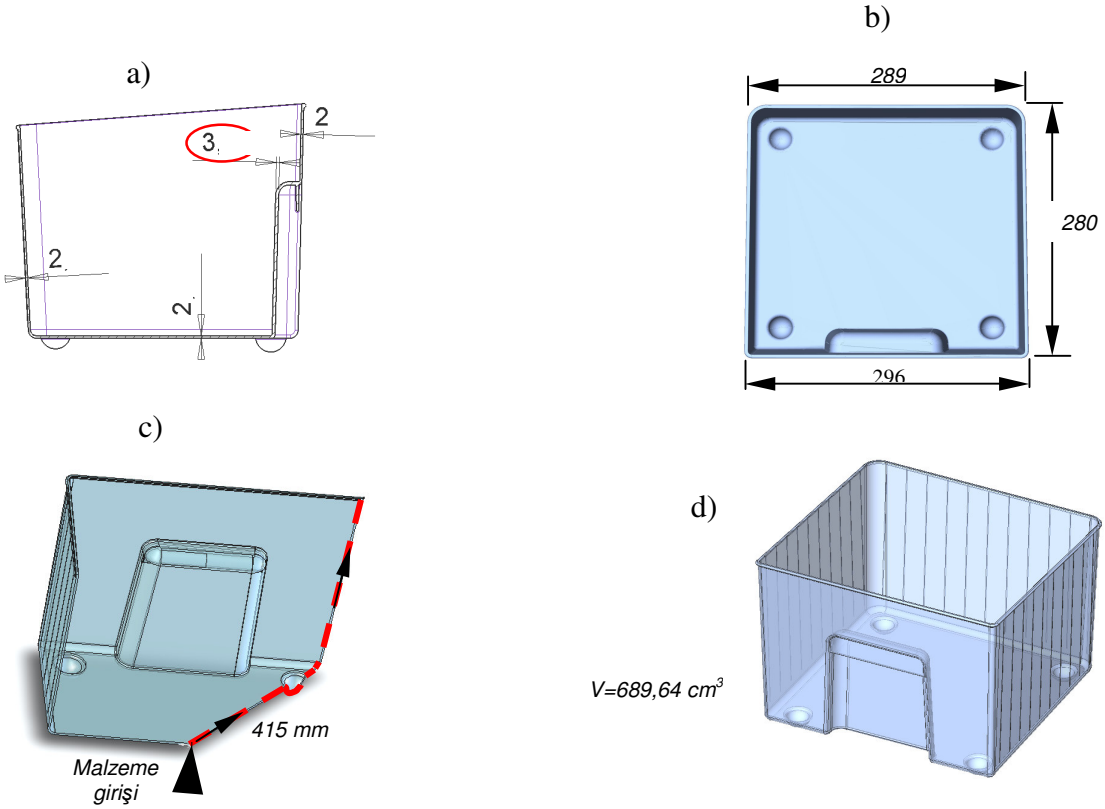
Malzeme olarak PS seçilmesindeki diğer etkili faktörlerden bazıları şöyledir:

PS, düşük su emme özellikli olup bu da soğutucu içerisinde oluşan nem açısından dolayısıyla parçanın formunu koruması açısından bir avantaj oluşturmaktadır. Polistirenin boyutsal olarak yüksek kararlılıkta olması da bu avantajı desteklemektedir. Kokusuz ve tatsız bir termoplastik olması da gıda maddelerinin saklanması için kullanılacak sebzelik için yine bir seçim nedeni olmaktadır.

Ürün ile ilgili olarak yapılması gereken tespitlerin başında parçanın maksimum duvar kalınlığı gelmektedir. Parçaya ait teknik resimlerden ürünün en büyük duvar kalınlığı 3 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.3.a). En büyük duvar kalınlığı değeri, çevrimin en fazla soğutma süresini etkilemektedir.

Parçanın izdüşüm alanı da kalıbın enjeksiyon sırasında ihtiyaç duyacağı mengene kilitleme gücünün tespit edilmesi açısından önemlidir. Bu parça için izdüşüm alanı 819 cm^2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.3.b). Parça içerisinde yolluk girişinden en uzak mesafeye kadar malzemenin alacağı yol yine CAD programı yardımıyla yapılan ölçümle 415 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.3.c).

Kontrol ölçüsü (A) olarak parçadaki en uzun ölçü 296 mm olarak belirlenmiş, tolerans olarak DIN 16901 130A'da 250-315 mm arası ölçüler için verilen ±1,1 esas alınmıştır. Kalıp boşluğu hacmi, 689,64 cm^3 olarak CAD programları yardımıyla tespit edilerek (Şekil 3.3.d). Buna göre parça ağırlığı teorik olarak 689,64 x 1,05 = 724,122 g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Ürüne ilişkin tespitler
a)Maksimum duvar kalınlığı b) İzdüşüm alanı
c) Maksimum akış mesafesi d) Kalıp boşluğu hacmi

3.1.2. Enjeksiyon Makinesi

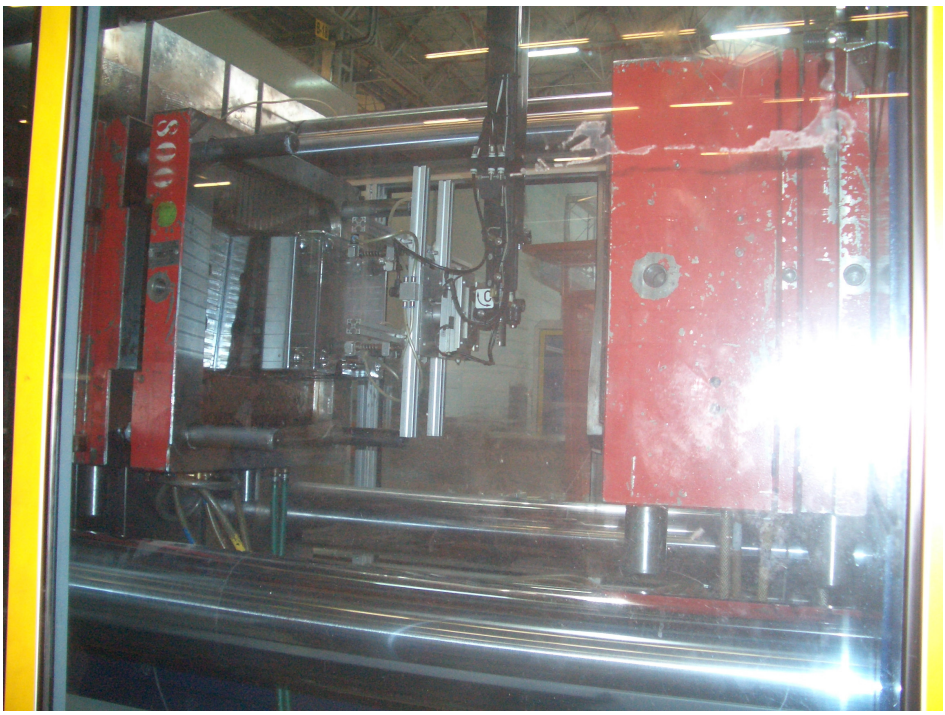
Enjeksiyon makinesi olarak kullanılan Krauss Maffei KM 420 - 3500 C1 (Şekil 3.4) makinesine ait teknik veriler çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Enjeksiyon makinesi kapasitesi

Kilitleme kuvveti	4200 kN
Kalıp açılma kuvveti	250 kN
Kalıp plaka ölçüleri	1270 mm x 1200 mm
Kalıp açılma stroğu	1020 mm
Minimum kalıp yüksekliği	380 mm
Hidrolik itici stroğu	250 mm
Vida (helezon) çapı	90 mm
L / D	20
Enjeksiyon basıncı	1742 bar
Strok hacmi	1953 cm^3
Dozaj ağırlığı (PS)	1777 g
Enjeksiyon hızı	649 cm^3/s
Plastikasyon hızı	130 g/s
Meme basıncı	173 kN



Şekil 3.4. Krauss Maffei enjeksiyon makinesi (KM 420 - 3500 C1)



Şekil 3.5. Robotun parçayı kalıptan alma işlemi



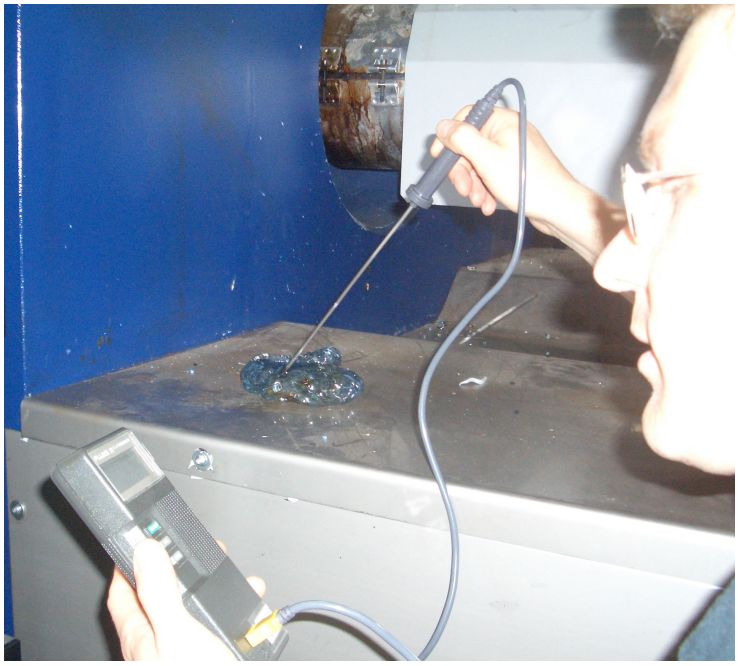
Şekil 3.6. Robotun parçayı taşıyıcı bant üzerine bırakması

3.1.3. Termometre

Enjeksiyon kalıpçılığında yaygın olarak kullanılan problu termometre (Şekil 3.7.), eriyik malzeme sıcaklığının, kalıp yüzey sıcaklıklarının ve kalıptan çıkan malzemenin sıcaklığının ölçülmesinde kullanılmıştır. Kullanılan termometrenin iki ayrı aparatı mevcuttur. Malzeme sıcaklığı ölçülürken çubuk prob, sıcak eriyik malzemenin içine batırılarak (Şekil 3.8), diğer prob ise sıcaklığı ölçülecek yüzeye temas ettirilerek (Şekil 3.9.) ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Problu termometre



Şekil 3.8. Eriyik malzeme sıcaklığının ölçülmesi



Şekil 3.9. Kalıp yüzey sıcaklığının ölçülmesi

3.1.4. Hassas terazi

Parça ağırlıkları ölçülürken hassasiyeti 0,01 g olan elektronik terazi kullanıldı (Şekil 3.10.) Ölçümler g cinsinden yapıldı.



Şekil 3.10. Problu termometre ve elektronik hassas terazi

3.2. Metod

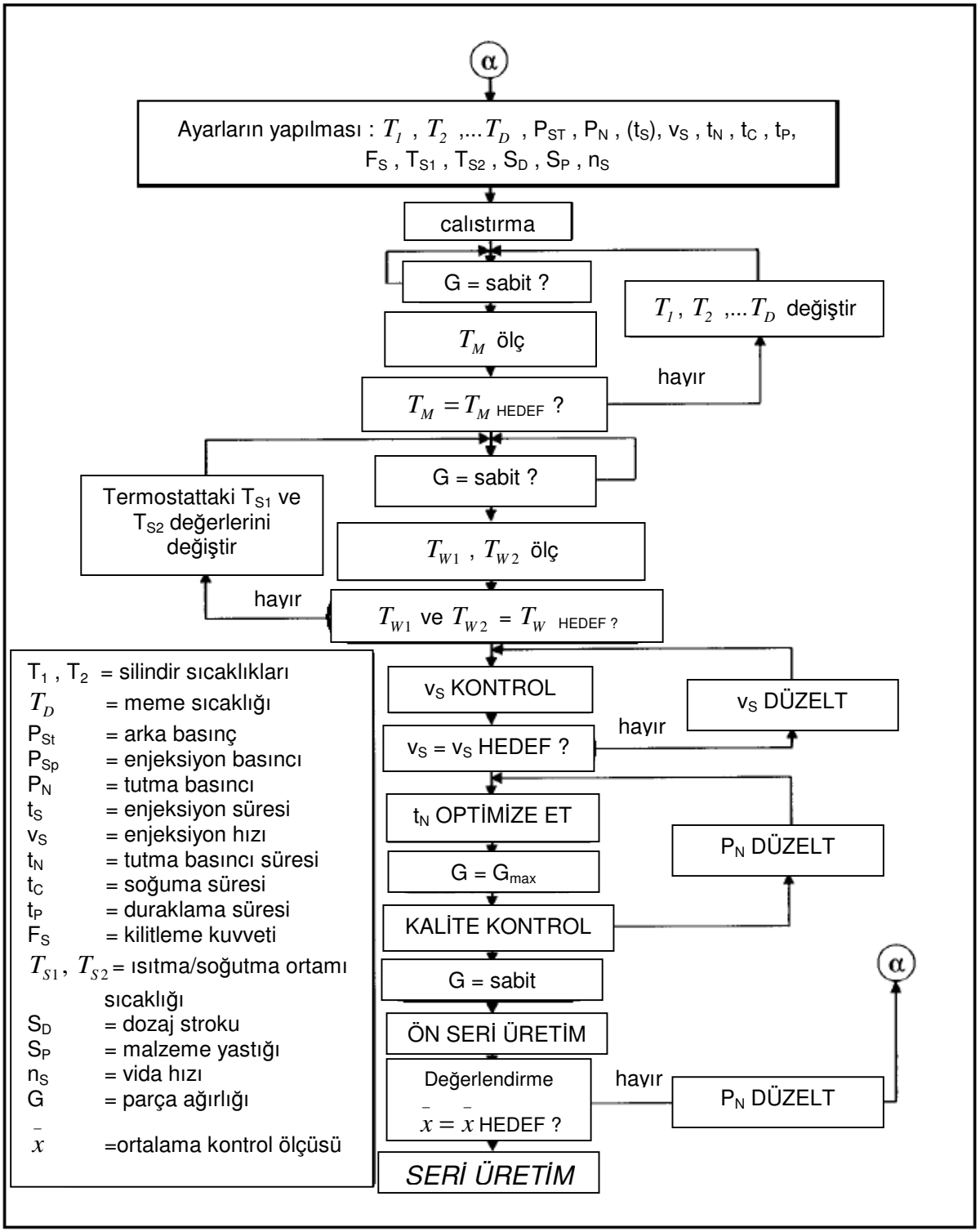
İlk olarak üretilecek parçaya ilişkin teknik veriler toplandı. Parçaya ait teknik resim ve CAD programları kullanılarak elde edilen 3D katı model yardımıyla; maksimum duvar kalınlığı, projeksiyon alanı, kalıp boşluğu hacmi, maksimum akış mesafesi ve kontrol ölçüsü belirlendi. Kullanılacak PS hammaddeye ait üretici firmanın tavsiye ettiği değerler derlendi. Çevrim zamanı evrelerine ait süreler çıkartıldı ve buna göre enjeksiyon makinesinin uygunluğu değerlendirildi.

Makine değişimine karar verilerek, yeni makinedeki hidrolik mengene ünitesi sayesinde mengene açma ve kapama sürelerinin daha etkin kontrolü sağlandı.

Robot çalışma zamanı yeniden düzenlendi.

Gerekli parametreler enjeksiyon makinesine girilerek hedef değerler elde edildi (Şekil 3.11.). Tutma basınçları süresi değiştirilerek parça ağırlığının artık artmayacak noktaya geldiği optimum süre tespit edildi. Aynı deney tutma basıncı (ütüleme basıncı) değiştirilerek tekrarlandı. Bu şekilde yapılan üretimlerden alınan numuneler 24 saat bekletildikten sonra ölçü ve ağırlık dağılımları çıkartıldı. Bu dağılımlar değerlendirilerek basınç düzeltmesi yapıldı ve bu düzeltmeye karşılık gelen ağırlık tespit edildi.

Soğutma süresi, çevrim zamanı ve üretim verimliliği hesaplandı.



Şekil 3.11. Parametrelerin optimizasyonu stratejisi için akış diyagramı

4. DENEYLER

4.1. Deneye Hazırlık

Kullanılan hammaddeye (BASF Polystyrol 165 H) ilişkin üretici firmanın tavsiye ettiği malzeme, kalıp ve kalıptan çıkış sıcaklıkları tespit edildi (Çizelge Ek-A.1.)

Hidrolik mengeneli KM 420-3500 C1 enjeksiyon makinesinde ilk ayar parametreleri (Çizelge Ek-A.2) girilerek enjeksiyon başlatıldı. Parça ağırlıkları ölçülerek, ağırlık rejime girene dek devam baskıya devam edildi (Çizelge Ek-A.3., Şekil Ek-A.1.).

Malzeme sıcaklığı ve kalıp sıcaklıkları problu termometre kullanılarak ölçüldü (Çizelge Ek-A.4.). Diğer parametreler sabit tutularak silindir sıcaklıkları 10°C artırıldı ve baskıya devam edildi (Çizelge Ek-A.5.). Ağırlık seyri takip edildi (Çizelge Ek-A.6., Şekil Ek-A.2.).

Malzeme ve kalıp yüzey sıcaklıkları tekrar (ikinci kez) kontrol edildi (Çizelge Ek-A.7.). Kalıp soğutma suyu sıcaklıkları termostat değerleri 3°C azaltıldı (Çizelge Ek-A.8.). Baskıya devam edilerek ağırlığın seyri takip edildi (Çizelge Ek-A.9, Şekil Ek-A.3.).

Kalıp yüzeyi çalışma sıcaklıkları ölçüldü (Çizelge Ek-A.10.).

Ütüleme basınçları 725 bar kalmak suretiyle ütüleme süresi 6 s'den 2 s, 3 s, 4 s ve 5 s'ye indirilerek enjeksiyon yapıldı. Her bir süre için üretilen parçalardan 5'er numune alınarak ağırlıkları ölçüldü. 4 s'den fazla ütüleme yapıldığında bunun ağırlık artışına önemli bir etki yapmadığı görülerek ütüleme süresi olarak 4 s alındı (Çizelge Ek-A.11, Şekil Ek-A.4.).

4.2. Deney Serileri

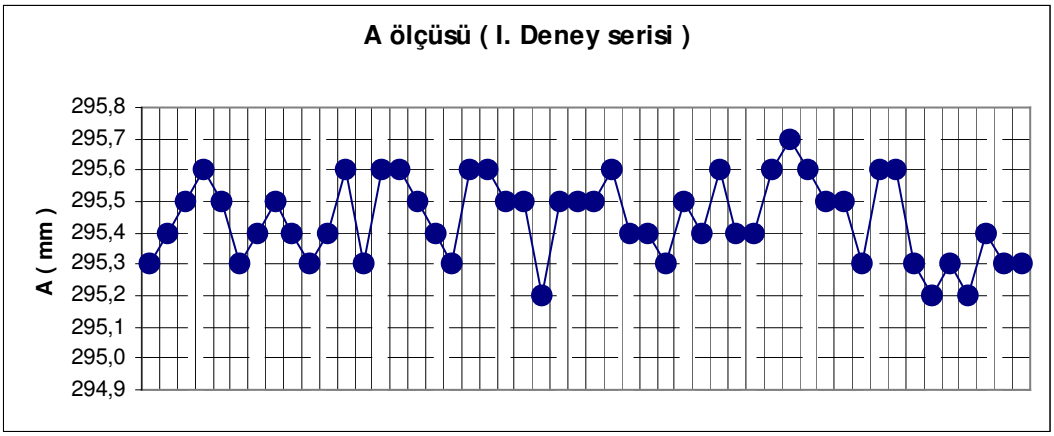
İlk ayar süreci sonundaki parametrelerden yalnızca ütüleme basıncı değiştirilerek 3 ön seri üretim yapıldı. Yapılan üretimlerden 50'şer adet parça 24 saat süre ile bekletilerek kontrol ölçüsü ve ağırlık dağılımları çıkartıldı. Ortalama değerler ve standart sapmaları (S) hesaplandı. +3S ve -3S aralıkları tespit edildi.

4.2.1. Birinci deney serisi (P_N = 625 bar)

Ütüleme basıncı PN = 625 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait kontrol ölçüleri Çizelge 4.1.'de, bu kontrol ölçülerine ait grafik dağılımı da Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Birinci deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm)

1	295,3	**11**	295,4	**21**	295,5	**31**	295,5	**41**	295,3
2	295,4	**12**	295,6	**22**	295,5	**32**	295,4	**42**	295,5
3	295,5	**13**	295,3	**23**	295,3	**33**	295,6	**43**	295,6
4	295,5	**14**	295,6	**24**	295,5	**34**	295,4	**44**	295,4
5	295,5	**15**	295,6	**25**	295,4	**35**	295,4	**45**	295,3
6	295,3	**16**	295,5	**26**	295,5	**36**	295,5	**46**	295,4
7	295,4	**17**	295,4	**27**	295,6	**37**	295,6	**47**	295,2
8	295,5	**18**	295,3	**28**	295,3	**38**	295,4	**48**	295,4
9	295,4	**19**	295,6	**29**	295,4	**39**	295,5	**49**	295,3
10	295,3	**20**	295,6	**30**	295,3	**40**	295,5	**50**	295,3



Şekil 4.1. Birinci deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm)

A = 296 ± 1,1 mm (DIN 16901 130A)

A_{maks} = 297,1 mm

A_{min} = 294,9 mm

$\overline{X}$ = 295,4 mm

n = 50

Standart sapma:

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(X - \overline{X}\right)^2}{n-1}} = 0{,}13 \text{ mm}$$

3S = 0,39 mm

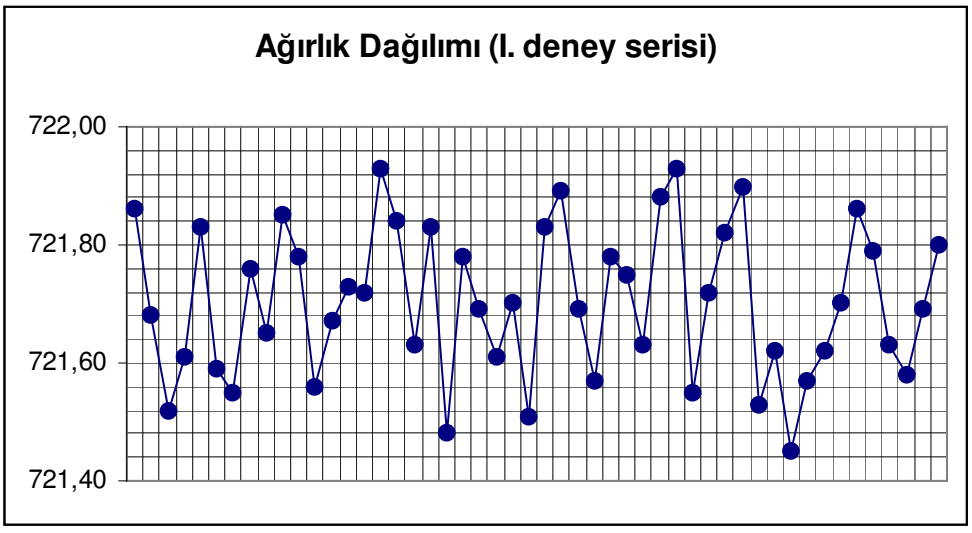
$\overline{X}$ + 3S = 295,4 + 0,39 = 295,83 mm

$\overline{X}$ - 3S = 295,4 – 0,39 = 295,01 mm

Ütüleme basıncı PN = 625 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait ağırlıklar Çizelge 4.2.'de, bu ağırlıklara ait grafik dağılımı da Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Birinci deney serisine ait parça ağırlıkları (g)

1	721,9	**11**	721,8	**21**	721,8	**31**	721,8	**41**	721,5
2	721,7	**12**	721,6	**22**	721,7	**32**	721,6	**42**	721,6
3	721,5	**13**	721,7	**23**	721,6	**33**	721,9	**43**	721,6
4	721,6	**14**	721,7	**24**	721,7	**34**	721,9	**44**	721,7
5	721,8	**15**	721,7	**25**	721,5	**35**	721,6	**45**	721,9
6	721,6	**16**	721,9	**26**	721,8	**36**	721,7	**46**	721,8
7	721,6	**17**	721,8	**27**	721,9	**37**	721,8	**47**	721,6
8	721,8	**18**	721,6	**28**	721,7	**38**	721,9	**48**	721,6
9	721,7	**19**	721,8	**29**	721,6	**39**	721,5	**49**	721,7
10	721,9	**20**	721,5	**30**	721,8	**40**	721,6	**50**	721,8



Şekil 4.2. Birinci deney serisi ağırlık dağılımı (g)

Ortalama ağırlık $\overline{G}$ = 721,70 g

Standart sapma S = 0,13 g

3S = 0,39 g

$\overline{G}$ + 3S = 722,09 g

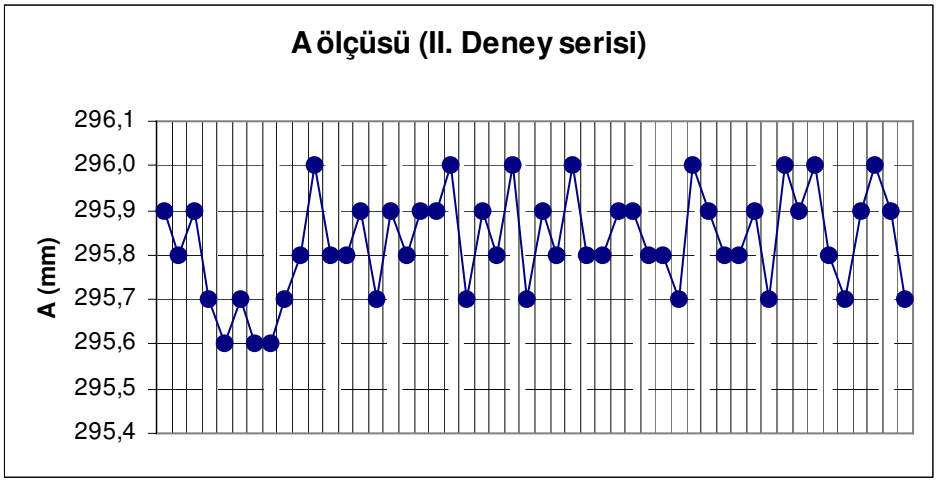
$\overline{G}$ - 3S = 721,31 g

4.2.2. İkinci deney serisi (P_N = 725 bar)

Ütüleme basıncı PN = 725 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait kontrol ölçüleri Çizelge 4.3.'de, bu kontrol ölçülerine ait grafik dağılımı da Şekil 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. İkinci deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm)

1	295,9	**11**	296,0	**21**	295,7	**31**	295,9	**41**	295,7
2	295,8	**12**	295,8	**22**	295,9	**32**	295,9	**42**	296,0
3	295,9	**13**	295,8	**23**	295,8	**33**	295,8	**43**	295,9
4	295,7	**14**	295,9	**24**	296,0	**34**	295,8	**44**	296,0
5	295,6	**15**	295,7	**25**	295,7	**35**	295,7	**45**	295,8
6	295,7	**16**	295,9	**26**	295,9	**36**	296,0	**46**	295,7
7	295,6	**17**	295,8	**27**	295,8	**37**	295,9	**47**	295,9
8	295,6	**18**	295,9	**28**	296,0	**38**	295,8	**48**	296,0
9	295,7	**19**	295,9	**29**	295,8	**39**	295,8	**49**	295,9
10	295,8	**20**	296,0	**30**	295,8	**40**	295,9	**50**	295,7



Şekil 4.3. İkinci deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm)

A = 296 ± 1,1 mm (DIN 16901 130A)

A_{maks} = 297,1 mm

A_{min} = 294,9 mm

$\overline{X}$ = 295,8 mm

n = 50

Standart sapma:

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(X - \overline{X}\right)^2}{n-1}} = 0{,}11 \text{ mm}$$

3S = 0,33 mm

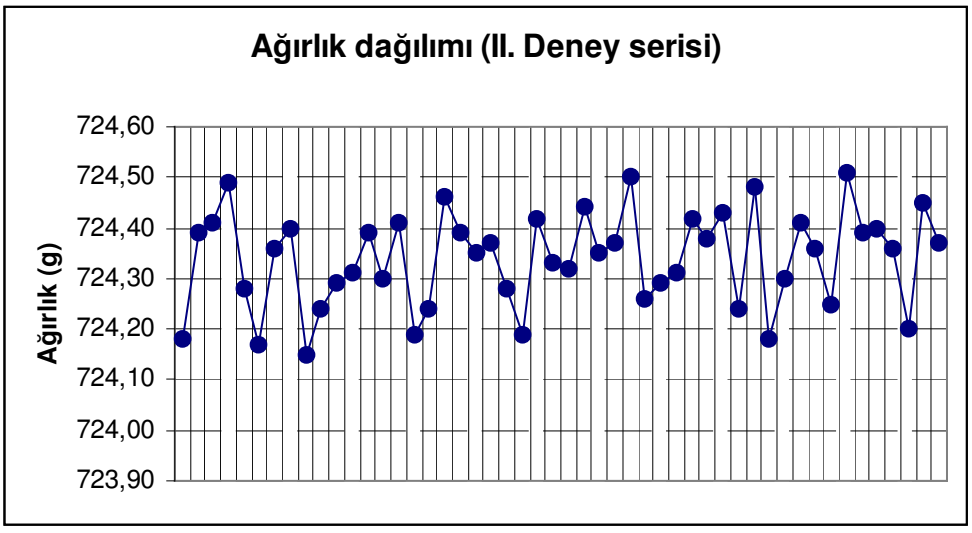
$\overline{X}$ + 3S = 295,8 + 0,33 = 296,13 mm

$\overline{X}$ - 3S = 295,8 – 0,33 = 295,47 mm

Ütüleme basıncı P_N = 625 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait ağırlıklar Çizelge 4.4.'de, bu ağırlıklara ait grafik dağılımı da Şekil 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. İkinci deney serisine ait parça ağırlıkları (g)

1	724,2	**11**	724,3	**21**	724,4	**31**	724,3	**41**	724,4
2	724,4	**12**	724,3	**22**	724,3	**32**	724,3	**42**	724,4
3	724,4	**13**	724,4	**23**	724,2	**33**	724,3	**43**	724,3
4	724,5	**14**	724,3	**24**	724,4	**34**	724,4	**44**	724,5
5	724,3	**15**	724,4	**25**	724,3	**35**	724,4	**45**	724,4
6	724,2	**16**	724,2	**26**	724,3	**36**	724,4	**46**	724,4
7	724,4	**17**	724,2	**27**	724,4	**37**	724,2	**47**	724,4
8	724,4	**18**	724,5	**28**	724,4	**38**	724,5	**48**	724,2
9	724,2	**19**	724,4	**29**	724,4	**39**	724,2	**49**	724,5
10	724,2	**20**	724,4	**30**	724,5	**40**	724,3	**50**	724,4



Şekil 4.4. İkinci deney serisi ağırlık dağılımı (g)

Ortalama ağırlık $\overline{G}$ = 724,34 g

Standart sapma S = 0,09 g

3S = 0,27 g

$\overline{G}$ + 3S = 724,61 g

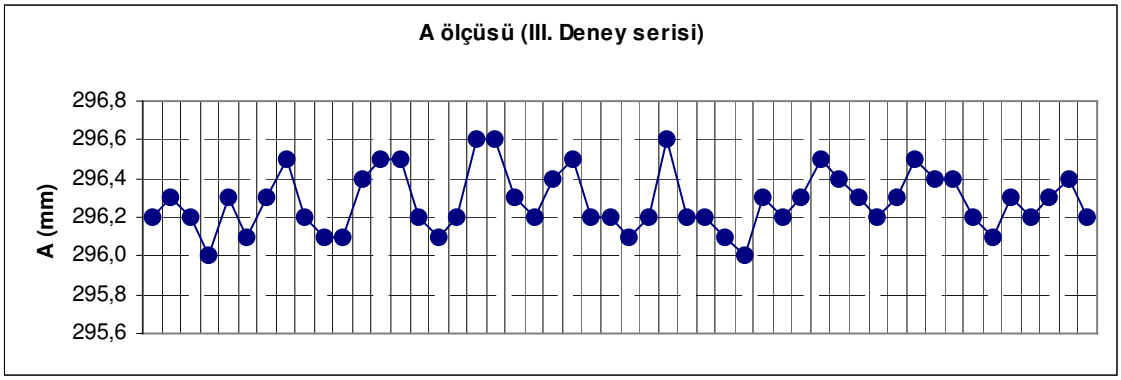
$\overline{G}$ - 3S = 724,07 g

4.2.3. Üçüncü deney serisi (P_N = 825 bar)

Ütüleme basıncı PN = 825 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait kontrol ölçüleri Çizelge 4.5.'de, bu kontrol ölçülerine ait grafik dağılımı da Şekil 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Üçüncü deney serisine ait kontrol ölçüleri (mm)

1	295,9	**11**	296,0	**21**	295,7	**31**	295,9	**41**	295,7
2	295,8	**12**	295,8	**22**	295,9	**32**	295,9	**42**	296,0
3	295,9	**13**	295,8	**23**	295,8	**33**	295,8	**43**	295,9
4	295,7	**14**	295,9	**24**	296,0	**34**	295,8	**44**	296,0
5	295,6	**15**	295,7	**25**	295,7	**35**	295,7	**45**	295,8
6	295,7	**16**	295,9	**26**	295,9	**36**	296,0	**46**	295,7
7	295,6	**17**	295,8	**27**	295,8	**37**	295,9	**47**	295,9
8	295,6	**18**	295,9	**28**	296,0	**38**	295,8	**48**	296,0
9	295,7	**19**	295,9	**29**	295,8	**39**	295,8	**49**	295,9
10	295,8	**20**	296,0	**30**	295,8	**40**	295,9	**50**	295,7



Şekil 4.5. Üçüncü deney serisi kontrol ölçüsü dağılımı (mm)

A = 296 ± 1,1 mm (DIN 16901 130A)

A_{maks} = 297,1 mm

A_{min} = 294,9 mm

$\overline{X}$ = 296,3 mm

n = 50

Standart sapma:

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(X - \overline{X}\right)^2}{n-1}} = 0{,}15 \text{ mm}$$

3S = 0,45 mm

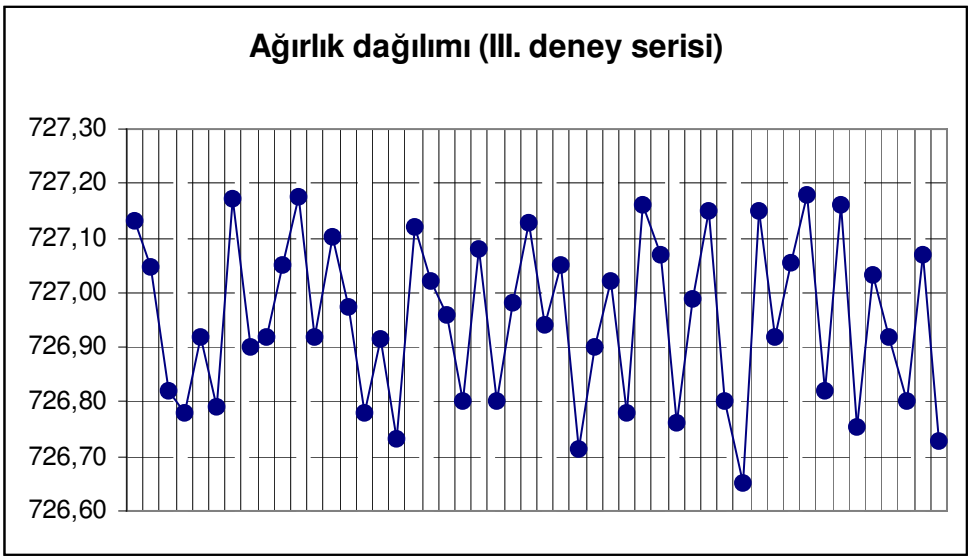
$\overline{X}$ + 3S = 296,3 + 0,45 = 296,75 mm

$\overline{X}$ - 3S = 296,3 – 0,45 = 295,85 mm

Ütüleme basıncı P_N = 825 bar alınarak yapılan üretimden alınarak 24 saat bekletilen 50 adet parçaya ait ağırlıklar Çizelge 4.6.'de, bu ağırlıklara ait grafik dağılımı da Şekil 4.6.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Üçüncü deney serisine ait parça ağırlıkları (g)

1	727,1	**11**	727,2	**21**	726,80	**31**	726,78	**41**	727,1
2	727,0	**12**	726,9	**22**	727,08	**32**	727,16	**42**	727,2
3	726,8	**13**	727,1	**23**	726,80	**33**	727,07	**43**	726,8
4	726,8	**14**	727,0	**24**	726,98	**34**	726,76	**44**	727,2
5	726,9	**15**	726,8	**25**	727,13	**35**	726,99	**45**	726,8
6	726,8	**16**	726,9	**26**	726,94	**36**	727,15	**46**	727,0
7	727,2	**17**	726,7	**27**	727,05	**37**	726,80	**47**	726,9
8	726,9	**18**	727,1	**28**	726,71	**38**	726,65	**48**	726,8
9	726,9	**19**	727,0	**29**	726,90	**39**	727,15	**49**	727,1
10	727,1	**20**	727,0	**30**	727,02	**40**	726,92	**50**	726,7



Şekil 4.6. Üçüncü deney serisi ağırlık dağılımı (g)

Ortalama ağırlık	$\overline{G}$	= 726,95 g
Standart sapma	S	= 0,15 g
3S		= 0,45 g
$\overline{G}$ + 3S		= 727,40 g
$\overline{G}$ - 3S		= 726,50 g

5. DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Değerlendirme

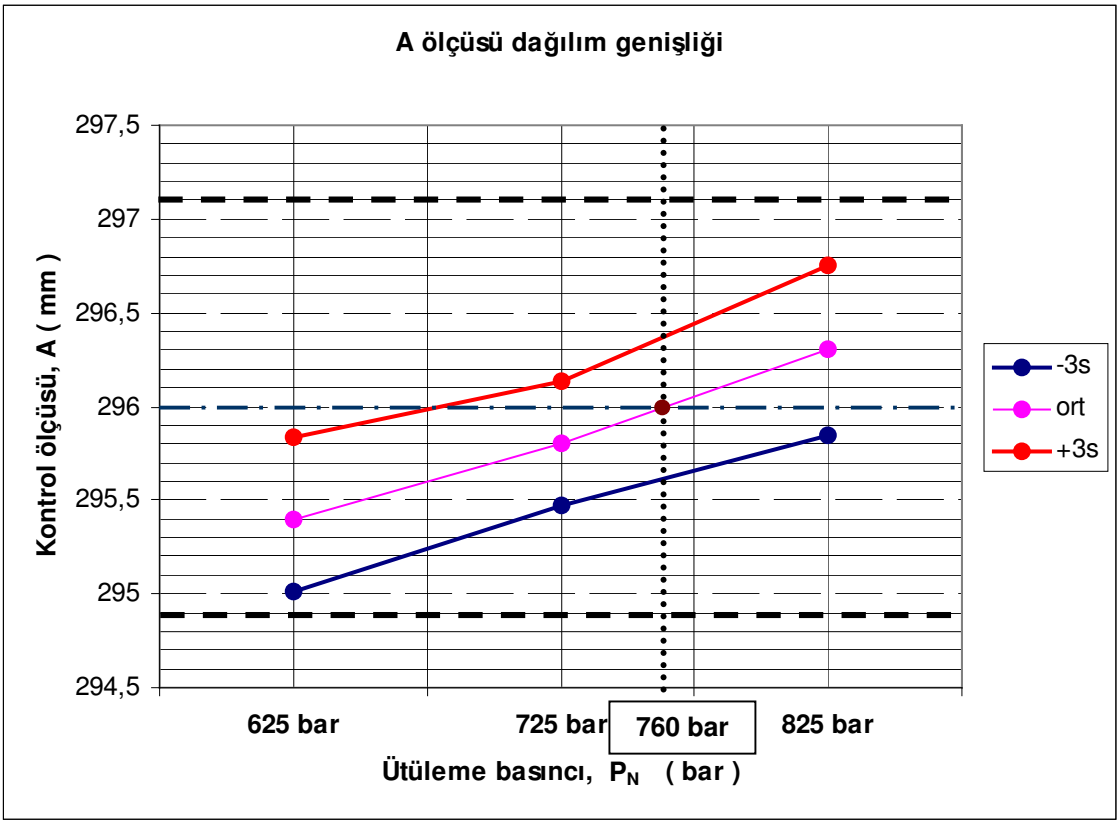
5.1.1. Deney serilerinin değerlendirilmesi

Çizelge 5.1.'de her üç deney serisine ait ortalama kontrol ölçüsü ve +3S, -3S değerleri aynı anda görünmektedir. Parçanın teorik kontrol ölçüsü (296 ∓ 1,1) Şekil 5.1.'de belirtilmiştir. Her üç deneye ait ortalama kontrol ölçüsü değerleri birleştirildiğinde ve bunlara ait ∓ 3S değerleri içinde aynı işlem tekrarlandığında Şekil 5.1. elde edilmektedir. Ortalama değerleri birleştiren çizginin teorik değerle kesiştiği noktadan basınç eksenine dik çıkılarak, teorik değere en yakın ortalama değeri verecek basınç değeri 760 bar olarak tespit edilmiştir.

Her üç deney serisi için elde edilen ortalama ağırlık değerleri, ∓3S standart sapmalarıyla beraber Çizelge 5.2.'de verilmiştir. 760 bar'a karşılık gelen ağırlık değerinin bulunması için Şekil 5.2. ile verilen grafik üzerinde, basınç ekseninde 760 bar değerinden dik çıkılıp ortalama ağırlık ortalama 725,26 g olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney serilerine ait kontrol ölçüsü dağılımları

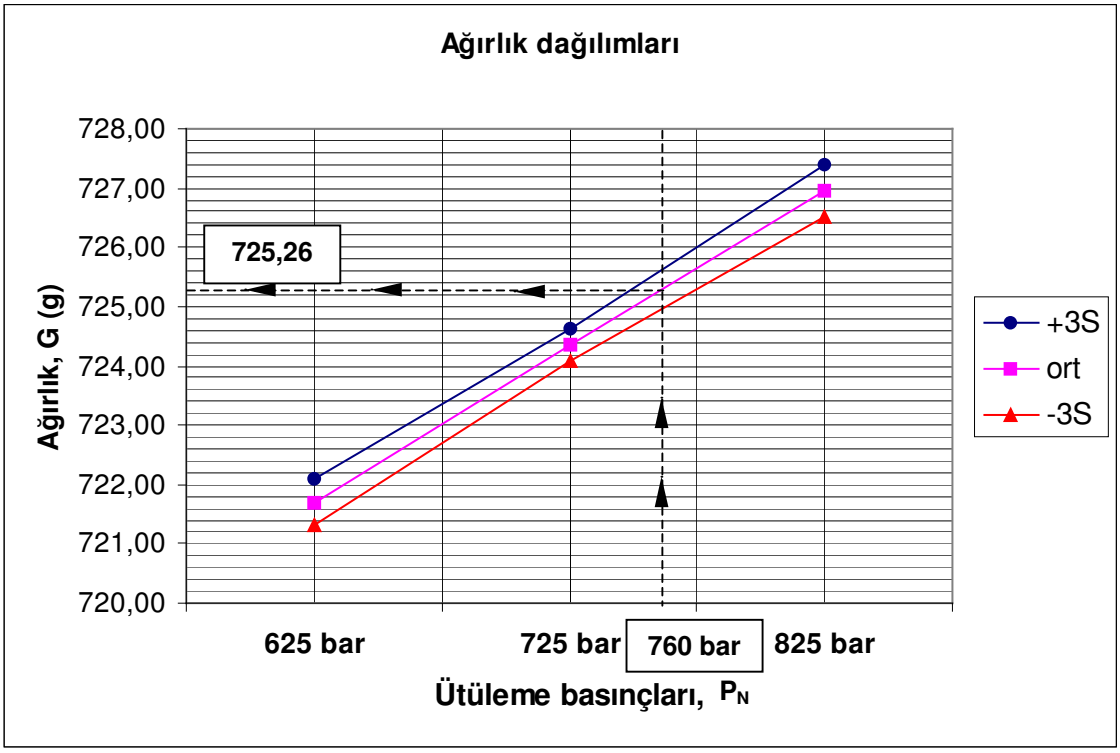
	1. Deney serisi (P_N = 625 bar)	2. Deney serisi (P_N = 725 bar)	3. Deney serisi (P_N = 825 bar)
$\overline{X}$ + 3S [mm]	295,83	296,13	296,75
$\overline{X}$ [mm]	295,40	295,80	296,30
$\overline{X}$ - 3S [mm]	295,01	295,47	295,85



Şekil 5.1. Kontrol ölçüsüne göre basınç düzeltmesi

Çizelge 5.2. Deney serilerine ait ağırlık dağılımları

	1. Deney serisi (P_N = 625 bar)	2. Deney serisi (P_N = 725 bar)	3. Deney serisi (P_N = 825 bar)
$\overline{G}$ + 3S [g]	722,09	724,61	727,40
$\overline{G}$ [g]	721,70	724,34	726,95
$\overline{G}$ - 3S [g]	721,31	724,07	726,50



Şekil 5.2. Basınç düzeltmesine göre ağırlık tespiti

5.1.2. Mengene zamanlarından kazanç

Çalışma başlamadan önce mekanik mengene sistemli bir enjeksiyon makinesi kullanılmaktaydı. Bu makinede, mengene kapanma zamanı 4,2 s, mengene açma zamanı 3,8 s olarak ölçülmüştür. Hidrolik mengene sistemli KM 420 - 3500 C1 makinesinde aynı kalıp için, mengene kapanma zamanı 3,2 s, mengene açma zamanı 3,1 s olarak tespit edilmiştir. Yeni makinedeki hidrolik mengene ünitesi sayesinde mengene açma ve kapama sürelerinin daha etkin kontrolü sağlanmış, mengene açma ve mengene kapama süreleri toplamı 8 s'den 6,3 s'ye düşmüştür.

5.1.3. Robot çalışma zamanından kazanç

Robotun içeriye girme hareketi 4 s öne alınarak iticilerin ileri hareketini tamamladığı anda robotun parçayı alması ve robotun çıkış hareketi hızlandırılarak, bir sonraki çevrimin mengene kapanması tamamlanmadan makineyi terketmesi sağlanmıştır. Robotun içeri ve dışarı hareketleri için harcanan toplam 8 s süre çevrim zamanından çıkarılmıştır.

5.1.4. Ütüleme (tutma) basınçları süresinden kazanç

Deneylere hazırlığın son aşamasında, 4 s'den fazla ütüleme yapıldığında bunun ağırlık artışına önemli bir etki yapmadığı görülerek etkili ütüleme basıncı süresi 6 s yerine 4 s alınarak çevrim zamanından 2 s tasarruf sağlamıştır.

5.1.5. Soğutma süresinden kazanç

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_M - \overline{T_W}}{\hat{T}_E - \overline{T_W}}\right)$$

s $= 3\ mm$

a_{eff} $= 0{,}08\ mm^2 / s$ (Akyüz, 1998)

T_M $= 235\,℃$

$\overline{T_W}$ $= 55\,℃$

$\hat{T}_E$ $= 89\,℃$ (Anonymous, 2005)

$$t_K = \frac{3^2}{\pi^2 \cdot 0{,}08} \cdot \ell n\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{235-55}{89-55}\right)$$

$$t_K = 11{,}3986 \cdot \ell n\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{180}{34}\right)$$

$$t_K = 11{,}3986 \cdot 1{,}9082$$

$$t_K = 21{,}75\ s$$

Burada hesaplanan soğutma süresi, kalıbın dolmasından itibaren kalıbın açılmasına dek geçen süredir. Uygulamada bu süre "ütüleme süresi" ve "soğutma süresi" nin toplamına karşılık gelmektedir. Ütüleme süresinin 6 s'den 4's değerine düşmesiyle bu değer 24 - 2 = 22 s dir. Bu süre teorik değer olan 21,75 s'ye oldukça yakındır. İlave soğutma süresinde 1 s'lik bir azalma denenmiş ve parça yüzeyinde belirgin herhangi bir bozukluk (itici izleri, yanma vb.) görülmemiştir. Bunun sonucunda ilave soğutma süresi 17 s olarak tespit edilmiştir.

5.2. Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde toplanabilir:

1. Mekanik yerine hidrolik mengene sistemli makine kullanılarak, çevrim zamanında 1,7 s'lik doğrudan bir azalma sağlamıştır. (Çevrim zamanı: 48,4 s)
2. Robot sisteminin çalışma zamanları yeniden organize edilerek çevrim zamanından 8 s kazanılmıştır. (Çevrim zamanı: 40,4 s)
3. Tutma basınçları zamanı ağırlığa göre optimize edilerek çevrim zamanı 2 s azaltılmıştır. (Çevrim zamanı: 38,4 s)
4. İlave soğutma süresinde 1 s azaltma yapılmıştır. (Çevrim zamanı: 37,4 s)
5. Deney serileri sonunda basınç düzeltmesi yapılarak, tutma basıncı 760 bar olarak belirlenmiştir.
6. Çevrim zamanı, 50,1 s'den 37,4 s'ye indirilmiştir. (Çizelge 5.3. ve çizelge 5.4.)
7. Üretim miktarı 71,8 parça/h'ten 96,26 parça/h'e çıkartılmış, 8 saatlik vardiya için düşünüldüğünde 574,4 parça yerine 770,08 parça üretimi sağlanmış ve üretim artışı %34,06 olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3. Başlangıçtaki çevrim zamanı

Mengene kapanma zamanı	4,2 s
Enjeksiyon zamanı	4,0 s
Soğuma süresi[1]	*24,0 s*
Ütüleme süresi	6,0 s
İlave soğuma süresi	18,0 s
Mengene açma	3,8 s
İtici ileri	2,1 s
Robot içeri	4,0 s
Robot parça alma	2,0 s
İtici geri	1,0 s
Robot dışarı	4,0 s
Emniyet	1,0 s
TOPLAM	**50,1 s**

Çizelge 5.4. Çalışma sonrası ulaşılan çevrim zamanı

Mengene kapanma zamanı	3,2 s
Enjeksiyon zamanı	4,0 s
Soğuma süresi	*21,0 s*
Ütüleme süresi	4,0 s
İlave soğuma süresi	17,0 s
Mengene açma	3,1 s
İtici ileri	2,1 s
Robot parça alma	2,0 s
İtici geri	1,0 s
Emniyet	1,0 s
TOPLAM	**37,4 s**

[1] Soğuma süresi, ütüleme süresi ve ilave soğutma süresinin toplamı olarak alınmıştır.

5.3. Öneriler

Plastik enjeksiyonla kalıplamada çevrim zamanı optimizasyonu, kalite kriterlerini muhafaza ederek üretim verimliliğini arttırmaktadır. Optimizasyon çalışmalarını hızlandırarak ve etkinliğini arttırabilecek bazı öneriler şunlardır:

- Hidrolik kontrollü mengene ünitesine sahip makinelerin tercih edilmesi, mengene açılma kapanma zamanlarından tasarruf sağlayabilmektedir.
- Parça alma işlemlerinin robot kullanılarak yapıldığı sistemlerde robot çalışma zamanlarında gerekli düzenlemeler yapılarak robot parça alma zamanı mümkün olan en az kayıpla gerçekleştirilmelidir.
- Tutma basınçları süresi ağırlığa göre veya kalıp iç basıncına göre tespit edilmeli, süre tespiti yapıldıktan sonra üretilen parçalarda ölçüsel, şekilsel ve yüzeysel hataların kontrolü de yapılmalıdır. Ölçü kontrolü, parçalar en az yirmi dört saat bekledikten sonra yapılmalıdır.
- Üretilecek parçanın boyutsal doğruluk ve kararlılığını artırmak için basınç düzeltmesi gerekliliği kontrol edilmelidir.
- Malzeme ve kalıp sıcaklıklarının termometreyle ölçümü sırasında üretimde kesinti yapılmak durumundadır. Bunu önlemek için; meme ucuna ve kalıbın uygun yerlerine sıcaklık sensörleri yerleştirilerek değerlerin kontrol ünitesinden takibinin yapılması, parametrelerin sürekli olarak kontrol edilebilmesi imkanını sağlayacaktır.
- Kalıp boşluğu içerisindeki basıncın, yerleştirilecek bir basınç sensörü sayesinde takip edilmesi ve zamana bağlı eğrisinin izlenmesi, prosesin sürekli olarak gözlenmesi ve kontrol edilmesini kolaylaştıracaktır.
- Üretilecek parça için görsel kalite unsurları göz ardı edilebilecek ise, köpürtücü katkıların kullanılması denenebilir. Köpürtücülerin kullanılması, ütüleme işlemini devre dışı bırakmakta, çevrim zamanından önemli tasarruflar sağlayabilmektedir. Ancak kristal polistrenin saydam görüntüsü olumsuz etkilenmektedir.

6. KAYNAKLAR

AKKURT S., 1991, Plastik Malzeme Bilgisi Kitabı, Birsen Yayınevi, s.110-111

AKYÜZ F., 1998, "Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş" Kitabı, Pagev Yayınları, s.28-35, s.91-122, s.153-178

ANONYMOUS, 1999, "What You Need to Know About Plastics", BSH PEG A.Ş. Plastik Semineri Notları, s.2-7

ANONYMOUS, 2000, "A Procesing Guide for Injection Molding), BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.9-11, s.27-28, s.23

ANONYMOUS, 2000, "ATI 1144 e: Production Equipment/Machinery", BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.3-11

ANONYMOUS, 2000, "ATI 1145 e: Processing Data And Advice", BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com) s.3-13

ANONYMOUS, 2001, "Designing With Thermoplastics", The Dow Chemical Company Official Web Pages (www.dow.com), s.24-29, 32-39, 40

BİLGİÇ T., 2001, "Plastik Malzeme Seçimi", Polimerler I kitabı, Pagev Yayınları, s.13-16

BOZDANA T., EYERCİOĞLU Ö., 2002, "Development of an expert system for the definition of injection moulding parameters of thermoplastic materials: EX-PIMM", Journal of Materials Processing Technology 128 (2002) 113-122, s.118

JOISTEN S., 1997, "PI 061 e: Injection Moulding Process Optimisation and Control", BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.3-12

KOMINSKI A. J., LAMBECK F. W., 1997, "ATI 1103 d,e: Relationship between screw diameter, metered volume, density and shot weight", BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.1-4

KOMINSKI A. J., LAMBECK F. W., 2001, "ATI 1122 d,e: Injection moulding screws", BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.1-3,

KOPP A., 2000, "Plastik Parça İmalatı", BSH PEG A.Ş. Seminer Programı, Bölüm5

KRAUSS MAFFEI AG, 2000, "Krauss Maffei Injection Moulding Machines Series C Technical Data", s.20

MICHAELI vd., 2000, “Training In Plastics Technology” Kitabı, Hanser Publishers, s.32-33, s.85-95

REES H., 1994, “Understanding Injection Molding Technology” Kitabı, Hanser Publishers, s.7-25

TAŞKIRAN İ., 2001, “Polistiren”, Polimerler I kitabı, Pagev Yayınları, s.167-197

TURAÇLI H., 1999, “Enjeksiyoncunun El Kitabı”, Pagev Yayınları, s.9-55, s.57-58

TURAÇLI H., 2000, “Enjeksiyon Makinesi ve Kalıp Dizaynına Etkileri”, Enjeksiyon Kalıpları İmalatı Kitabı, Pagev Yayınları, s.35-39

www.basf.com

www.matweb.com

www.polystyrene.org

www.teachingplastics.com

ZOLLNER O., 1994, “ATI 916 e: Process Variables as Production Cost Factors In The Injection Moulding of Thermoplastics”, BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.12-13

ZOLLNER O., 1999, “ATI 1104 d,e: Optimised Mould Temperature Control”, BAYER AG Plastic Business Group Official Web Pages (www.plastics.bayer.com), s.21-28

7. ÖZGEÇMİŞ

1972 Tekirdağ doğumlu. İlkokulu Tekirdağ Merkez Aydoğdu İlkokulu'nda okudu. Ortaokul ve liseyi de Tekirdağ Merkez Namık Kemal Lisesi'nde birincilikle tamamladı. 1997'de İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği'nden mezun oldu ve aynı yıl Bosh Siemens Profilo A.Ş. Çerkezköy fabrikasında soğutucu fabrikası geliştirme departmanında WTS (Worldwide Technical Standardisation) proje grubunda geliştirme mühendisi olarak meslek hayatına başladı. Bu görevde 6 ay süreyle çalıştı ve askerlik hizmeti dolayısıyla işinden ayrılarak askerliğini yaptı. Askerliğini tamamladıktan sonra yine aynı iş yerinde bu kez proje mühendisi olarak işe başladı. Bu süre içinde şirket içi çeşitli eğitim ve seminerlere katıldı. Ağustos 2001'de görevinden ayrılarak Trakya Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı birimde Makine ve Otomotiv Programlarına ders vermektedir. Evlidir ve Tekirdağ'da ikamet etmektedir.

EK-A

Çizelge Ek-A.1. Hammadde üreticisi firmanın tavsiye ettiği sıcaklık değerleri

Malzeme sıcaklığı, T_M	215°C - 255°C
Kalıp sıcaklığı, T_W	20°C - 70°C
Kalıptan çıkış sıcaklığı (maks), $\hat{T}_E$	89°C

Çizelge Ek-A.2 İlk ayar parametreleri

Silindir sıcaklıkları						
MEME	A	B	C	D	E	F
210 °C	215 °C	220 °C	215 °C	205 °C	200°C	190 °C
Kalıp soğutma suyu sıcaklıkları			$T_1 = 17$ °C $T_2 = 46$ °C $T_3 = 55$ °C $T_4 = 63$ °C			
Basınçlar						
Enjeksiyon basıncı (P_{SP})	*968 bar*		Hidrolik enjeksiyon basıncı (P_{HSP})	*100 bar*		
Ütüleme basıncı (P_N)	*725 bar*		Hidrolik ütüleme basıncı (P_{HN})	*75 bar*		
Arka basınç (P_{ST})	*210 bar*		Hidrolik arka basıncı (P_{HST})	*2 bar*		
Süreler:						
Enjeksiyon süresi, t_S			4 s			
Ütüleme süresi, t_N			6 s			
Soğuma süresi, t_K			24 s			

Çizelge Ek-A.3. İlk ayar sürecinde ilk 20 parça ağırlıkları

1	715,53	6	719,16	11	724,27	16	725,19
2	716,47	7	719,94	12	725,11	17	725,29
3	716,56	8	721,71	13	725,30	18	725,40
4	717,74	9	723,47	14	725,11	19	725,60
5	718,52	10	723,70	15	725,61	20	725,50



Şekil Ek-A.1. İlk ayar süreci (İlk 20 parça ağırlık seyri)

Çizelge Ek-A.4. İlk ayar sürecinde ilk sıcaklık kontrolleri

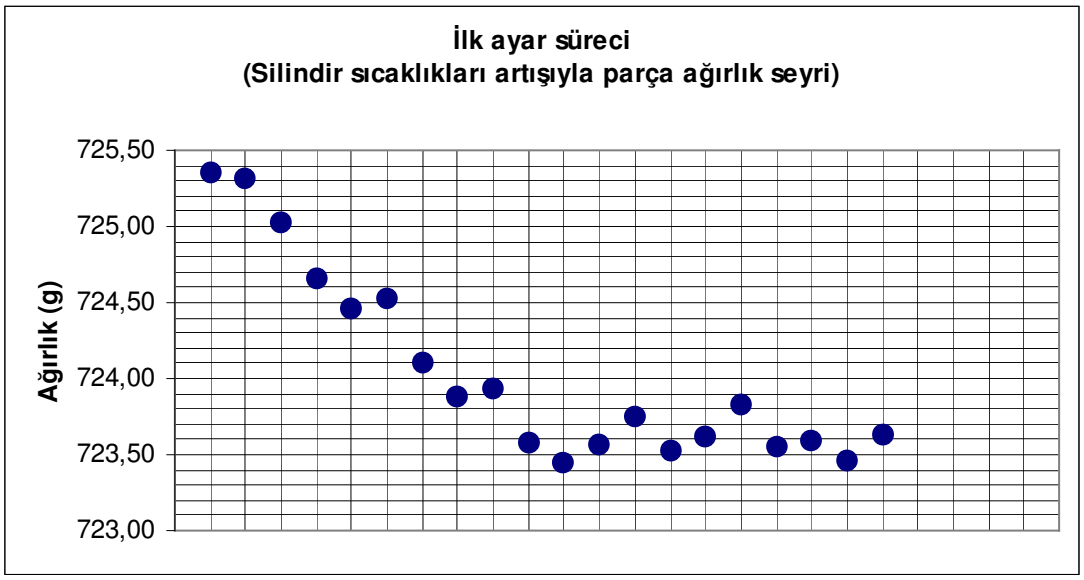
Malzeme sıcaklığı	$T_M = 221,2$ °C
Kalıp yüzeyi çalışma sıcaklıkları	$T_{W1} = 60,1$ °C $T_{W2} = 51,3$ °C $\overline{T_W} = 55,75$ °C

Çizelge Ek-A.5. İlk ayar sürecinde artırılmış silindir sıcaklıkları

MEME	A	B	C	D	E	F
215 °C	220 °C	230 °C	225 °C	215 °C	210°C	200 °C

Çizelge Ek-A.6. Silindir sıcaklıkları 10°C arttırıldığında ağırlıklar

21	725,36	26	724,52	31	723,45	36	723,83
22	725,31	27	724,11	32	723,56	37	723,55
23	725,02	28	723,88	33	723,75	38	723,59
24	724,66	29	723,93	34	723,53	39	723,46
25	724,46	30	723,58	35	723,62	40	723,63



Şekil Ek-A.2. İlk ayar süreci (silindir sıcaklıkları artışıyla ağırlık değişimi)

Çizelge Ek-A.7. İlk ayar sürecinde sıcaklık kontrolleri (II)

Malzeme sıcaklığı	$T_M = 235{,}6\ ℃ = T_{M(HEDEF)}$
Kalıp yüzeyi çalışma sıcaklıkları	$T_{W1} = 63{,}2\ ℃$ $T_{W2} = 53{,}9\ ℃$ $\overline{T_W} = 58{,}1\ ℃$

Çizelge Ek-A.8. Azaltılmış kalıp soğutma suyu sıcaklıkları

Kalıp soğutma suyu sıcaklıkları	$T_1 = 17 - 3 = 14$°C $T_2 = 46 - 3 = 43$ °C $T_3 = 55 - 3 = 52$ °C $T_4 = 63 - 3 = 60$ °C

Çizelge Ek-A.9. Soğutma suyu termostat değerleri 3°C azaltıldığında ağırlıklar

41	723,58	46	723,83	51	724,26	56	724,31
42	723,45	47	724,00	52	724,42	57	724,42
43	723,71	48	723,91	53	724,23	58	724,42
44	723,79	49	723,95	54	724,31	59	724,24
45	723,65	50	724,14	55	724,39	60	724,27



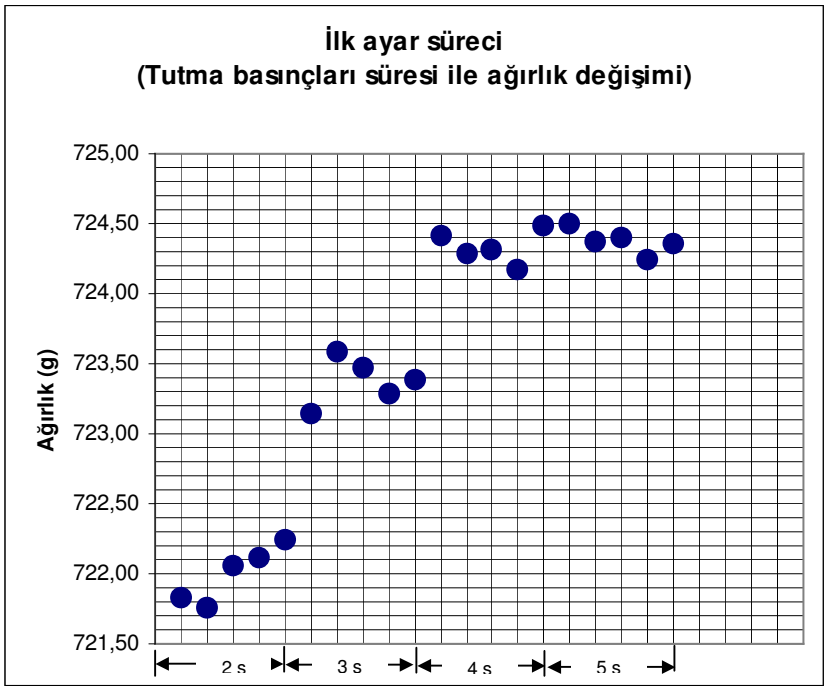
Şekil Ek-A.3. İlk ayar süreci (Kalıp sıcaklığı değişimiyle ağırlık değişimi)

Çizelge Ek-A.10. İlk ayar sürecinde sıcaklık kontrolleri (III)

Kalıp yüzeyi çalışma sıcaklıkları	$T_{W1} = 60\ ℃$ $T_{W2} = 50\ ℃$ $\overline{T_W} = 55\ ℃ = \overline{T_{W\ HEDEF}}$

Çizelge Ek-A.11. İlk ayar sürecinde tutma basınçları süresinin ayarlanması

	2 s		3 s		4 s		5 s
ort = 722,00	721,83	ort = 723,38	723,15	ort = 724,34	724,42	ort = 724,38	724,50
	721,76		723,59		724,29		724,37
	722,06		723,47		724,32		724,40
	722,12		723,29		724,17		724,25
	722,25		723,38		724,48		724,36



Şekil Ek-A.4. İlk ayar süreci (Ütüleme süresi değişimiyle ağırlık değişimi)