

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

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BASINÇ VE**  
**SICAKLIK PARAMETRELERİNİN ÜRÜN KALİTESİNE**  
**ETKİLERİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE**  
**OPTİMİZASYONU**

**Ömer Şaban KAMBER**

**DOKTORA TEZİ**  
**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**  
**MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN**  
**Prof.Dr. Mustafa KURT**

**İKİNCİ DANIŞMAN**  
**Y.Doç.Dr. Oğuz GİRİT**

**İSTANBUL 2008**

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

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BASINÇ VE  
SICAKLIK PARAMETRELERİNİN ÜRÜN KALİTESİNE  
ETKİLERİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE  
OPTİMİZASYONU**

**Ömer Şaban Kamber  
(141201720030248)**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Prof.Dr. Mustafa KURT**

**İKİNCİ DANIŞMAN  
Y.Doç.Dr. Oğuz GİRİT**

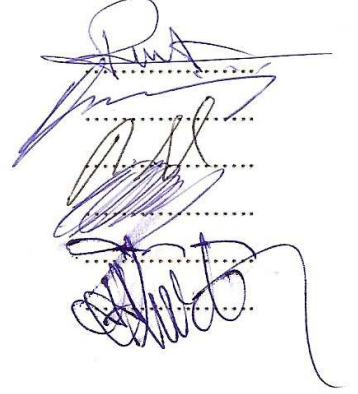
**İSTANBUL 2008**

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABUL ve ONAY BELGESİ**

Ömer Şaban Kamber'in **Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu** başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07.04.2008 tarih ve 2008/10-17 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında DOKTORA Tezi olarak Kabul edilmiştir.

|                 |                               |              |
|-----------------|-------------------------------|--------------|
| Danışman        | : Prof. Dr. Mustafa KURT      | (M.Ü.T.E.F.) |
| İkinci Danışman | : Yard. Doç. Dr. Oğuz GİRİT   | (M.Ü.T.E.F.) |
| 1. Üye          | : Prof. Dr. Niyazi ERUSLU     | (İ.T.Ü)      |
| 2. Üye          | : Doç. Dr. Mustafa ÖKSÜZ      | (M.Ü.T.E.F.) |
| 3. Üye          | : Yard. Doç. Dr. Hamdi SÖZÖZ  | (M.Ü.T.E.F.) |
| 4. Üye          | : Yard. Doç. Dr. Hüseyin KURT | (M.Ü.T.E.F.) |



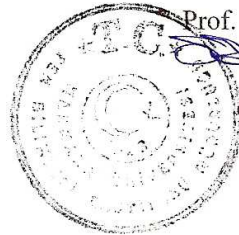
Tezin Savunulduğu Tarih : 29.04.2008

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05.05.2008...tarih ve 2008/12-11 sayılı kararı ile Ömer Şaban KAMBER.....'ın Makine Eğitimi..... Anabilim Dalı ..... Programında ~~Y.Lisans (MSc.)~~ / Doktora (Dr, PhD.) derecesi alması onanmıştır.

Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Sevil ÜNAL



# TEŞEKKÜR

Ülkemiz plastik kalıpcılık sektörüne oldukça katkı sağlayacağına ve bilimsel olarak ileriye dönük birçok çalışmalarda örnek gösterileceğine inandığımız bu tezin hazırlanmasında; bilgisini, tecrübelerini ve yakın ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, tüm bilimsel çalışmalarım süresince her zaman desteğini gördüğüm tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Mustafa KURT hocama şükranlarımı sunarım. Doktora çalışmalarım süresince teşvik, destek ve samimiyetini devamlı üzerimde hissettiğim Sayın Prof. Dr. Osman ISIKAN hocama çok teşekkür ediyorum.

Tecrübelerinden ziyadesiyle istifade ettiğim Sayın hocam Yrd. Doç.Dr. Oğuz GİRİT'e, Kıymetli büyüğüm Yrd. Doç.Dr Hüseyin KURT hocama, tecrübelerini benimle paylaşan Yrd. Doç.Dr. Hamdi SÖZÖZ hocama, deneysel çalışmalarım süresince maddi, manevi yardımlarını esirgemeyen İhlas Ev Aletleri San ve Tic AŞ tüm elemanlarına, Nel Elektronik AŞ satış müdürü Sayın Bade AKSOY hanıma, Kistler Proje müdürü Sayın Mark SCHAUFELGÜH beyefendiye de çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca her türlü desteğini her zaman yanımda hissettiğim Kıymetli hocam, Sevgili Babam, Teknik Öğretmen Sayın Selahattin KAMBER'e sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

**Nisan, 2008**

**Ömer Şaban KAMBER**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR.....                                                                 | I   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                             | II  |
| ÖZET.....                                                                     | I   |
| ABSTRACT .....                                                                | II  |
| YENİLİK BEYANI.....                                                           | III |
| SEMBOLLER .....                                                               | IV  |
| KISALTMALAR.....                                                              | V   |
| ŞEKİLLER .....                                                                | VI  |
| TABLOLAR .....                                                                | XI  |
| BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....                                                   | 1   |
| BÖLÜM II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VEİRDELENMESİ....                             | 3   |
| II.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ SINIFLANDIRMASI.....                           | 3   |
| II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ İRDELENMESİ .....                              | 3   |
| II.2.1. Basınç .....                                                          | 9   |
| II.2.1.1. Enjeksiyon Basıncı .....                                            | 11  |
| II.2.1.2. Tutma Basıncı Ve Etkileri .....                                     | 12  |
| II.2.1.3. Geri Basınç Ve Etkileri.....                                        | 13  |
| II.2.1.4. Mengene Ünitesi Kilitleme Basıncı Ve Etkileri .....                 | 15  |
| II.2.1.5. Kalıp İçerisinde Oluşan Basınç .....                                | 15  |
| II.2.2. Sıcaklık.....                                                         | 18  |
| II.2.2.1. Ergiyik Sıcaklığı .....                                             | 19  |
| II.2.2.2. Kalıp Sıcaklığı .....                                               | 23  |
| II.2.2.3. Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü .....                             | 27  |
| II.2.3. Zaman.....                                                            | 28  |
| II.2.3.1. Enjeksiyon Zamanı .....                                             | 29  |
| II.2.3.2. Ütuleme Zamanı .....                                                | 30  |
| II.2.3.3. Soğuma Zamanı .....                                                 | 32  |
| II.2.3.4. Toplam Çevrim Zamanı.....                                           | 32  |
| II.2.4. Hız .....                                                             | 33  |
| II.2.4.1. Enjeksiyon Hızı .....                                               | 33  |
| II.2.4.2. Vida Dönüş Hızı .....                                               | 39  |
| 2.a. Vida Geri Dönüş Hızı (Mal Alma).....                                     | 40  |
| II.2.5. Plastiklerin Zaman, Basınç Ve Sıcaklık Etkilerine Göre Hareketi ..... | 41  |
| II.3. BASINÇ VE SICAKLIKLARIN KALIP İÇERİSİNDEN SENSÖRLERLE ÖLÇÜLMESİ .....   | 43  |
| II.3.1. Kalıp Göz Basıncını Ölçme Sistemi Uygulamaları .....                  | 48  |
| II.3.1.1. Kalıp İçerisinden Direkt Basınç Ölçme .....                         | 48  |

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.3.1.2. Kalıp İçerisinden Endirekt Basınç Ölçme .....                                                             | 49        |
| II.3.2. Kalıp Göz Basıncı Ölçme Sisteminin Faydaları .....                                                          | 50        |
| II.3.3. Sensörlerin Yerleşiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar .....                                             | 52        |
| <b>BÖLÜM III. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>                                                               | <b>56</b> |
| <b>III.1. TEORİK ÇALIŞMALAR .....</b>                                                                               | <b>56</b> |
| III.1.1. Teorik Çalışmalarda Kullanılan Taguchi Yöntemi.....                                                        | 56        |
| III.1.1.1. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi .....                                                                 | 57        |
| III.1.1.2. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı .....                                                               | 59        |
| III.1.1.3. Temel çalışma biçimi .....                                                                               | 59        |
| III.1.1.4. Deney Tasarımı .....                                                                                     | 61        |
| 4.a. Statik Sonuçlu Tasarım; .....                                                                                  | 61        |
| 4.b. Dinamik Sonuçlu Tasarım .....                                                                                  | 62        |
| III.1.1.5. Uygulama Prosedürleri .....                                                                              | 62        |
| III.1.1.6. Deneylerin Yapılış Sırası .....                                                                          | 67        |
| III.1.1.7. Deneylerin Tekrarlanma Sırası .....                                                                      | 67        |
| III.1.2. Deneysel Çalışmaların Taguchi Yöntemi İle Tasarımı .....                                                   | 69        |
| III.1.2.1. Deneylerde Kullanılacak Parça Tasarımı.....                                                              | 69        |
| III.1.2.2. Deney Parametre Değerlerinin Tespiti.....                                                                | 70        |
| 2.a. Sıcaklık Değerlerinin Tespiti .....                                                                            | 70        |
| 2.b. Basınç Değerlerinin Tespiti .....                                                                              | 71        |
| 2.c. Zaman Değerlerinin Tespiti.....                                                                                | 72        |
| III.1.2.3. Taguchi Yöntemine Göre Deney Tasarım .....                                                               | 73        |
| <b>III.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>                                                                              | <b>75</b> |
| III.2.1. Malzeme, Makina Ve Ölçme Sistemleri.....                                                                   | 75        |
| III.2.1.1. Ürün Malzemesi.....                                                                                      | 75        |
| III.2.1.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi.....                                                                         | 75        |
| III.2.1.3. Plastik Enjeksiyon Kalıbı.....                                                                           | 75        |
| III.2.1.4. Parçaların Optik Okunması .....                                                                          | 77        |
| III.2.1.5. Co-Mo Amplifikatör .....                                                                                 | 78        |
| 5.a. Analiz Programı .....                                                                                          | 79        |
| III.2.1.6. Basınç Ve Sıcaklık Sensörleri.....                                                                       | 79        |
| 6.a. Basınç Sensörleri.....                                                                                         | 80        |
| 6.b. Basınç Ve Sıcaklık Kombine Sensörü .....                                                                       | 81        |
| III.2.2. Sensörlerin Kalıp İçerisindeki Konumlarının Belirlenmesi .....                                             | 82        |
| <b>III.3. ÇALIŞMANIN PLANLANMASI.....</b>                                                                           | <b>88</b> |
| III.3.1. Deney Aşamaları .....                                                                                      | 89        |
| <b>BÖLÜM IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>                                                                         | <b>91</b> |
| <b>IV.1. SONUÇLAR .....</b>                                                                                         | <b>91</b> |
| IV.1.1. Parçaların Optik Okunması.....                                                                              | 95        |
| IV.1.2. Deneylerden Elde Edilen Parçaların Ölçüm Sonuçlarına Göre Minitab R14 İle Taguchi Analizinin Yapılması..... | 97        |
| IV.1.3. Basınç, Sıcaklık Ve Zaman Parametrelerine Göre Çöküntü Miktarlarının İncelenmesi .....                      | 100       |
| IV.1.3.1. Basınç Ve Zaman Parametresinin Çöküntüye Etkileri. 100                                                    |           |
| IV.1.3.2. Basınç Ve Sıcaklık Parametresinin Çöküntüye Etkileri101                                                   |           |
| IV.1.3.3. Sıcaklık Ve Zaman Parametresinin Çöküntüye Etkileri .....                                                 | 102       |
| IV.1.3.4. Deneylerin Üç Boyutlu Grafiklerinin Gösterilmesi .....                                                    | 103       |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| IV.1.4. Deneylerin Doğrulanması .....              | 104        |
| IV.2. TARTIŞMALAR.....                             | 109        |
| <b>BÖLÜM V. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER .....</b> | <b>111</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                              | <b>113</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                  | <b>117</b> |
| EK A. PLASTİK HAMMADDE ÖZELLİKLERİ .....           | 118        |
| EK B. KALIP RESİMLERİ .....                        | 121        |
| EK C. ENJEKSİYON MAKİNASI ÖZELLİKLERİ .....        | 125        |
| EK D. DENEY SONUÇ GRAFİK VE ÖLÇÜMLERİ.....         | 126        |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                               | <b>158</b> |

# ÖZET

## PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BASINÇ VE SICAKLIK PARAMETRELERİNİN ÜRÜN KALİTESİNE ETKİLERİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Plastik parçalar, yaşantımızın birçok alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Plastik parçaların üretimi, diğer malzemelerden yapılmış parçalara göre daha ucuz, hızlı ve kolay olması nedeniyle günümüzde değişik parçaların üretiminde kullanılan plastiklerin miktarı hacim bakımından metalleri ve seramikleri çok gerilerde bırakmıştır. Ancak plastik parçaların üretim sürecinde boyutsal kararlılık, estetik ve kalite yönlerinden kararlı bir üretimin sağlanması her zaman mümkün değildir. Enjeksiyon kalıplama hatalarını önlemek için enjeksiyonla kalıplama sırasında optimum çalışma şartlarının sağlanması gerekir.

Bu çalışmada, kalıp ve makinedeki aşınma, ölçme cihazlarındaki hassasiyet ve kalibrasyon yetersizliği, hava şartları ve ham maddelerdeki değişiklikler ve voltajdaki dalgalanmaların elde edilen parça kalitesi üzerinde etkili oldukları belirlendi. Teorik ve deneysel çalışmalarda basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri, enjeksiyon makinesindeki ölçme cihazları yerine kalıp içerisine yerleştirilen sensörlerden alındı.

Basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı Taguchi Yöntemi ile elde edilen plana göre ölçüldü. Üretim hatalarını minimize etmek üzere boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları belirlendi. Kaliteli bir ürün ve minimize edilmiş üretim hataları için gerekli basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri optimizasyon teknikleriyle elde edildi.

Nisan, 2008

Ömer Şaban KAMBER

# **ABSTRACT**

## **THE EFFECTS OF PRESSURE AND TEMPERATURE PARAMETERS ON PRODUCT QUALITY AND THEIR OPTIMIZATION WITH TAGUCHI METHOD IN PLASTIC INJECTION MOULDS**

Plastics parts are widely used in many areas of life. Nowadays the amount of plastics used for the production of various parts surpass metals and ceramics in terms of volume since the production of plastic parts is much cheaper, quicker and easier than the parts made of other materials. However, in the manufacturing process of plastic parts it is not always possible to ensure a stable production in terms of dimensional stability, aesthetics and quality. In order to prevent injection molding defects, optimum working conditions must be provided during injection molding process.

In this study, wear on the mold and machine, the lack of sensitivity and calibration on the measuring devices, the changes on weather conditions and raw materials and fluctuations on voltage all are found to be effective on the resultant part quality. In theorethical and experimental investigations, the values of pressure, temperature and injection time were taken from sensors placed within molds instead of the measuring devices placed on injection machine.

The pressure, temperature and injection time were measured with respect to the plan obtained through Taguchi Method. Dimensions, distortion and circularity errors were determined in order to minimize production defects. For a quality product and minimum product defects, the necessary pressure, temperature and injection time values were obtained by optimization techniques.

**April, 2008**

**Ömer Şaban KAMBER**

# YENİLİK BEYANI

## PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA BASINÇ VE SICAKLIK PARAMETRELERİNİN ÜRÜN KALİTESİNE ETKİLERİ VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Plastik parçalar, yaşantımızın birçok alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Plastik parçaların üretimi, diğer malzemelerden yapılmış parçalara göre daha ucuz, hızlı ve kolay olması nedeniyle günümüzde değişik parçaların üretiminde kullanılan plastiklerin miktarı hacim bakımından metalleri ve seramikleri çok gerilerde bırakmıştır. Ancak plastik parçaların üretim sürecinde boyutsal kararlılık, estetik ve kalite yönlerinden kararlı bir üretimin sağlanması her zaman mümkün değildir. Enjeksiyon kalıplama hatalarını önlemek için enjeksiyonla kalıplama sırasında optimum çalışma şartlarının sağlanması gerekir.

Bu çalışmada, kalıp ve makinedeki aşınma, ölçme cihazlarındaki hassasiyet ve kalibrasyon yetersizliği, hava şartları ve ham maddelerdeki değişiklikler ve voltajdaki dalgalanmaların elde edilen parça kalitesi üzerinde etkili oldukları belirlendi. Teorik ve deneysel çalışmalarda basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri, enjeksiyon makinesindeki ölçme cihazları yerine kalıp içerisine yerleştirilen sensörlerden alındı.

Basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı Taguchi Yöntemi ile elde edilen plana göre ölçüldü. Üretim hatalarını minimize etmek üzere boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları belirlendi. Kaliteli bir ürün ve minimize edilmiş üretim hataları için gerekli basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri optimizasyon teknikleriyle elde edildi.

Nisan, 2008

Prof.Dr. Mustafa KURT

Ömer Şaban KAMBER

## SEMBOLLER

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| <b>E</b>                   | : Elastikiyet Modülü (MPa) |
| <b><math>\mu</math></b>    | : Sürtünme Katsayısı       |
| <b>P</b>                   | : Basınç (bar)             |
| <b><math>\sigma</math></b> | : Çekme Gerilmesi (MPa)    |
| <b>T</b>                   | : Ergime Sıcaklığı (°C)    |
| <b>t</b>                   | : Zaman (s)                |
| <b><math>\tau</math></b>   | : Kayma Gerilmesi (MPa)    |
| <b>v</b>                   | : Hız (mm/s)               |
| <b>V</b>                   | : Hacim (cm <sup>3</sup> ) |
| <b>W</b>                   | : Kütle (g)                |
| <b>Z</b>                   | : Toplam Proses Zamanı (s) |

## KISALTMALAR

|               |                                              |
|---------------|----------------------------------------------|
| <b>ABS</b>    | :Akrilonitril Butadiyen Stren                |
| <b>ABS/PC</b> | :Akrilonitril Butadiyen Stren / Polikarbonat |
| <b>FEA</b>    | :Sonlu Elemanlar Analizi                     |
| <b>FEGG</b>   | :Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi      |
| <b>MFA</b>    | :Ergiyik geçiş kesit alanı                   |
| <b>MFI</b>    | :Ergiyik Akış indeksi                        |
| <b>MFV</b>    | :Ergiyiğin akış hızı                         |
| <b>OD</b>     | :Ortogonal Diziler                           |
| <b>P</b>      | :Basınç                                      |
| <b>PC</b>     | :Polikarbonat                                |
| <b>PP</b>     | :Polipropilen                                |
| <b>PE</b>     | :Polietilen                                  |
| <b>PS</b>     | :Polistren                                   |
| <b>S/N</b>    | :Sinyal/Gürültü                              |
| <b>T</b>      | :Sıcaklık                                    |
| <b>TC</b>     | :Termokupl (Isıl Çift)                       |
| <b>Z</b>      | :Zaman                                       |

# ŞEKİLLER

## SAYFA NO

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil II-1 Enjeksiyon hata oranları.....                                         | 5  |
| Şekil II-2 Enjeksiyon basınç-zaman grafiği .....                                 | 10 |
| Şekil II-3 Geri basıncın gösterilmesi .....                                      | 14 |
| Şekil II-4 Enjeksiyon makinesindeki basınç değişimleri .....                     | 16 |
| Şekil II-5 Kalıp içi basınç eğrisi.....                                          | 16 |
| Şekil II-6 Enjeksiyon ve kalıp iç basıncının zamana göre değişimi .....          | 17 |
| Şekil II-7 Enjeksiyon iç basıncının parka ve helezon konumuna göre değişimi..... | 17 |
| Şekil II-8 Enjeksiyonda üretilmiş bir parçada basınç izlenimi.....               | 18 |
| Şekil II-9 Vida kovan sistemi .....                                              | 19 |
| Şekil II-10 Pastiklerde bozulma bölgesi.....                                     | 21 |
| Şekil II-11 Kalıp sıcaklığının enjeksiyon baskısına göre değişimi .....          | 24 |
| Şekil II-12 Enjeksiyonda üretilmiş bir parçada sıcaklık izlenimi .....           | 26 |
| Şekil II-13 Çevrim zamanı sıralaması .....                                       | 29 |
| Şekil II-14 Enjeksiyon akışında ergiyiğin kabuklaşması .....                     | 35 |
| Şekil II-15 Ergiyikte akış karakteristiği .....                                  | 36 |
| Şekil II-16 Ergiyiklerin birleşmeleri ve kaynak çizgisi.....                     | 37 |
| Şekil II-17 Amorf ve yarı kristal hammaddeler için basınç- zaman grafiği.....    | 41 |
| Şekil II-18 Plastiğin kalıp içerisindeki hareketleri ve sonuçları.....           | 42 |
| Şekil II-19 Basınç-sıcaklık ölçüm sensörü kesiti .....                           | 47 |
| Şekil II-20 Direkt ölçüm için sensörün yerleştirilme şekli.....                  | 48 |
| Şekil II-21 Direkt ölçüm için sensörün kalıp içerisine yerleştirilme şekli ..... | 49 |
| Şekil II-22 Endirekt ölçüm için sensörün yerleştirilme şekli .....               | 50 |
| Şekil II-23 Basınç-sıcaklık sensörünün uygun şekilde yerleştirilmesi.....        | 52 |
| Şekil II-24 Basınç sensörü kesit resmi .....                                     | 52 |
| Şekil II-25 Sensör konumlandırılması.....                                        | 53 |
| Şekil II-26 Akış hattı boyunca basınç düşüşü .....                               | 54 |
| Şekil II-27 Sıcaklık sensörünün ölçüm basamakları .....                          | 54 |
| Şekil II-28 Basınç-sıcaklık-zaman grafiği.....                                   | 55 |
| Şekil III-1 Taguchi'nin kalite kontrol sistemi .....                             | 57 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil III-2</b> Taguchi metodunun sistematığı.....                                     | 58 |
| <b>Şekil III-3</b> Plastik deney parçası teknik resmi.....                                | 69 |
| <b>Şekil III-4</b> Plastik parçanın kati model resmi (pro-engineer).....                  | 70 |
| <b>Şekil III-5</b> Moldflow programında sıcaklık değerleri .....                          | 70 |
| <b>Şekil III-6</b> Moldflow programında enjeksiyon basınç değeri .....                    | 71 |
| <b>Şekil III-7</b> Moldflow programında doldurma zamanı .....                             | 72 |
| <b>Şekil III-8</b> Moldflow programında parça donma zamanı.....                           | 72 |
| <b>Şekil III-9</b> Enjeksiyon makinesi.....                                               | 75 |
| <b>Şekil III-10</b> Plastik parçanın 4 gözlü ve yolluk girişli katı modeli .....          | 76 |
| <b>Şekil III-11</b> Erkek kısım kalıp tasarımı .....                                      | 76 |
| <b>Şekil III-12</b> Dişi Kalıp tasarımı.....                                              | 77 |
| <b>Şekil III-13</b> Kalıp tasarımı .....                                                  | 77 |
| <b>Şekil III-14</b> Kistler como tipi2869a amplifikatörü.....                             | 79 |
| <b>Şekil III-15</b> 6157BA basınç sensörü ve özellikleri .....                            | 81 |
| <b>Şekil III-16</b> 6190 BA (p-t) basınç ve sıcaklık kombine sensörü ve özellikleri ..... | 82 |
| <b>Şekil III-17</b> Deney kalıbına sensor yerleşimi.....                                  | 82 |
| <b>Şekil III-18</b> Deney kalıbındaki akış şekli.....                                     | 83 |
| <b>Şekil III-19</b> Yolluk yakınında oluşan basınç izlenimi.....                          | 84 |
| <b>Şekil III-20</b> Basınç ve sıcaklık sensörleri yerleşimi.....                          | 85 |
| <b>Şekil III-21</b> Sensörlerin Pro-Engineer programında yerleşimi .....                  | 86 |
| <b>Şekil III-22</b> Sensör ve kablo kanalı yerleşimi .....                                | 86 |
| <b>Şekil III-23</b> Deney kalıbına basınç ve sıcaklık konektörlerinin yerleşimi .....     | 87 |
| <b>Şekil III-24</b> Deney düzeneği .....                                                  | 87 |
| <b>Şekil IV-1</b> 7 nolu deneyde elde edilen parça .....                                  | 91 |
| <b>Şekil IV-2</b> 7 nolu deney sonuç grafikleri.....                                      | 92 |
| <b>Şekil IV-3</b> 7 nolu deney üst yüzey ölçümleri .....                                  | 93 |
| <b>Şekil IV-4</b> 7 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....                       | 93 |
| <b>Şekil IV-5</b> 7 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....                       | 94 |
| <b>Şekil IV-6</b> 7 nolu deney iç yüzey ölçümleri .....                                   | 94 |
| <b>Şekil IV-7</b> 7 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri.....                 | 94 |
| <b>Şekil IV-8</b> 7 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                                 | 95 |
| <b>Şekil IV-9</b> Nokta bulutundan oluşturulan yüzey .....                                | 95 |
| <b>Şekil IV-10</b> Katı model ile nokta bulutunun karşılaştırılması.....                  | 96 |
| <b>Şekil IV-11</b> Elde edilen yüzey ile katı model maksimum farkı.....                   | 97 |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil IV-12</b> L9 (3**3) ortogonal deney düzeni seçilmesi .....             | 98  |
| <b>Şekil IV-13</b> Tüm ölçümler için S/N oranı sonuç grafikleri .....           | 100 |
| <b>Şekil IV-14</b> Basınç ve Zaman parametresine göre çöküntü .....             | 101 |
| <b>Şekil IV-15</b> Basınç ve sıcaklık parametresine göre çöküntü .....          | 102 |
| <b>Şekil IV-16</b> Sıcaklık ve zaman parametresine göre çöküntü .....           | 103 |
| <b>Şekil IV-17</b> Ölçüm sonuçlarının Matlab programında dizilimi .....         | 103 |
| <b>Şekil IV-18</b> Matlab programında elde edilen 3D grafik .....               | 104 |
| <b>Şekil IV-19</b> Doğrulama deneyinden elde edilen parça .....                 | 105 |
| <b>Şekil IV-20</b> Doğrulama deneyi üst yüzey ölçümleri .....                   | 105 |
| <b>Şekil IV-21</b> Doğrulama deneyi yan yüzey ölçümleri .....                   | 106 |
| <b>Şekil IV-22</b> Doğrulama deneyi yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....        | 106 |
| <b>Şekil IV-23</b> Doğrulama deneyi iç yüzey ölçümleri .....                    | 106 |
| <b>Şekil IV-24</b> Doğrulama deneyi iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri ..... | 107 |
| <b>Şekil IV-25</b> Doğrulama deneyi dairesellik ölçümleri .....                 | 107 |
| <b>Şekil IV-26</b> Doğrulama deneyi üst çap ölçümleri .....                     | 107 |
| <b>Şekil IV-27</b> Tüm deney sonuçlarının histogram diyagramı .....             | 108 |
| <b>Şekil IV-28</b> Deney sonuçlarının değişkenlik analizi .....                 | 108 |
| <b>Şekil EK B-1</b> Patlatılmış kalıp resmi .....                               | 121 |
| <b>Şekil EK B-2</b> Tasarlanmış deney kalıbı .....                              | 121 |
| <b>Şekil EK B-3</b> Kalıp dişi plaka .....                                      | 122 |
| <b>Şekil EK B-4</b> Kalıp erkek plaka .....                                     | 122 |
| <b>Şekil EK B-5</b> Kalıp erkek ve dişi plaka .....                             | 123 |
| <b>Şekil EK D-6</b> 1 nolu deney sonuç grafikleri .....                         | 126 |
| <b>Şekil EK D-7</b> 1 nolu deneyde elde edilen parça .....                      | 127 |
| <b>Şekil EK D-8</b> 1 nolu deney üst yüzey ölçümleri .....                      | 127 |
| <b>Şekil EK D-9</b> 1 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                      | 127 |
| <b>Şekil EK D-10</b> 1 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....          | 128 |
| <b>Şekil EK D-11</b> 1 nolu deney iç yüzey ölçümleri .....                      | 128 |
| <b>Şekil EK D-12</b> 1 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri .....   | 128 |
| <b>Şekil EK D-13</b> 1 nolu deney dairesellik ölçümleri .....                   | 129 |
| <b>Şekil EK D-14</b> 1 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri .....          | 129 |
| <b>Şekil EK D-15</b> 2 nolu deney sonuçları .....                               | 130 |
| <b>Şekil EK D-16</b> 2 nolu deneyde elde edilen parça .....                     | 131 |
| <b>Şekil EK D-17</b> 2 nolu deney üst yüzey ölçümleri .....                     | 131 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil EK D-18</b> 2 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 131 |
| <b>Şekil EK D-19</b> 2 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 132 |
| <b>Şekil EK D-20</b> 2 nolu deney iç yüzey ölçümleri .....                   | 132 |
| <b>Şekil EK D-21</b> 2 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 132 |
| <b>Şekil EK D-22</b> 2 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 133 |
| <b>Şekil EK D-23</b> 2 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 133 |
| <b>Şekil EK D-24</b> 3 nolu deney sonuçları .....                            | 134 |
| <b>Şekil EK D-25</b> 3 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 135 |
| <b>Şekil EK D-26</b> 3 Nolu Deney Üst Yüzey Ölçümleri.....                   | 135 |
| <b>Şekil EK D-27</b> 1 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 135 |
| <b>Şekil EK D-28</b> 3 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 136 |
| <b>Şekil EK D -29</b> 3 nolu deney iç yüzey ölçümleri.....                   | 136 |
| <b>Şekil EK D-30</b> 3 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 136 |
| <b>Şekil EK D-31</b> 3 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 137 |
| <b>Şekil EK D-32</b> 3 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 137 |
| <b>Şekil EK D-33</b> 4 nolu deney sonuçları .....                            | 138 |
| <b>Şekil EK D-34</b> 4 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 139 |
| <b>Şekil EK D-35</b> 4 nolu deney üst yüzey ölçümleri .....                  | 139 |
| <b>Şekil EK D-36</b> 4 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 139 |
| <b>Şekil EK D-37</b> 4 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri.....        | 140 |
| <b>Şekil EK D-38</b> 4 nolu deney iç yüzey ölçümleri.....                    | 140 |
| <b>Şekil EK D-39</b> 4 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 140 |
| <b>Şekil EK D-40</b> 4 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 141 |
| <b>Şekil EK D-41</b> 4 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 141 |
| <b>Şekil EK D-42</b> 5 nolu deney sonuçları .....                            | 142 |
| <b>Şekil EK D-43</b> 5 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 143 |
| <b>Şekil EK D-44</b> 5 nolu deney üst yüzey ölçümleri .....                  | 143 |
| <b>Şekil EK D-45</b> 5 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 143 |
| <b>Şekil EK D-46</b> 5 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 144 |
| <b>Şekil EK D-47</b> 5 nolu deney iç yüzey ölçümleri.....                    | 144 |
| <b>Şekil EK D-48</b> 5 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 144 |
| <b>Şekil EK D-49</b> 5 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 145 |
| <b>Şekil EK D-50</b> 5 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri .....       | 145 |
| <b>Şekil EK D-51</b> 6 nolu deney sonuçları .....                            | 146 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil EK D-52</b> 6 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 147 |
| <b>Şekil EK D-53</b> 6 nolu deney ust yuzey ölçümleri .....                  | 147 |
| <b>Şekil EK D-54</b> 6 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 147 |
| <b>Şekil EK D-55</b> 6 nolu deney yan yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 148 |
| <b>Şekil EK D-56</b> 6 nolu deney iç yuzey ölçümleri .....                   | 148 |
| <b>Şekil EK D-57</b> 6 nolu deney iç yuzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 148 |
| <b>Şekil EK D-58</b> 6 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 149 |
| <b>Şekil EK D-59</b> 6 nolu deney ust yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 149 |
| <b>Şekil EK D-60</b> 8 nolu deney sonuçları .....                            | 150 |
| <b>Şekil EK D-61</b> 8 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 151 |
| <b>Şekil EK D-62</b> 8 nolu deney ust yuzey ölçümleri .....                  | 151 |
| <b>Şekil EK D-63</b> 8 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 151 |
| <b>Şekil EK D-64</b> 8 nolu deney yan yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 152 |
| <b>Şekil EK D-65</b> 8 nolu deney iç yuzey ölçümleri .....                   | 152 |
| <b>Şekil EK D-66</b> 8 nolu deney iç yuzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 152 |
| <b>Şekil EK D-67</b> 8 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 153 |
| <b>Şekil EK D-68</b> 8 nolu deney ust yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 153 |
| <b>Şekil EK D-69</b> 9 nolu deney sonuçları .....                            | 154 |
| <b>Şekil EK D-70</b> 9 nolu deneyde elde edilen parça.....                   | 155 |
| <b>Şekil EK D-71</b> 9 nolu deney ust yuzey ölçümleri .....                  | 155 |
| <b>Şekil EK D-72</b> 9 nolu deney yan yüzey ölçümleri .....                  | 155 |
| <b>Şekil EK D-73</b> 9 nolu deney yan yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 156 |
| <b>Şekil EK D-74</b> 9 nolu deney iç yuzey ölçümleri .....                   | 156 |
| <b>Şekil EK D-75</b> 9 nolu deney iç yuzey, kare ve alt yüzey ölçümleri..... | 156 |
| <b>Şekil EK D-76</b> 9 nolu deney dairesellik ölçümleri.....                 | 157 |
| <b>Şekil EK D-77</b> 9 nolu deney ust yuzey ve üst çap ölçümleri .....       | 157 |

# TABLolar

|                                                                                             | <u>SAYFA NO</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo II-1</b> Parça kalitesine etki eden faktörler.....                                 | 8               |
| <b>Tablo II-2</b> Bazı plastiklerin ergiyik sıcaklıkları.....                               | 20              |
| <b>Tablo II-3</b> Enjeksiyon proses aşamalarının parça kalitesi üzerine olan etkileri ..... | 42              |
| <b>Tablo III-1</b> Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar .....               | 60              |
| <b>Tablo III-2</b> Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları .....                                | 62              |
| <b>Tablo III-3</b> 2k tasarımı deney planı .....                                            | 65              |
| <b>Tablo III-4</b> Taguchi tasarımı deney planı .....                                       | 65              |
| <b>Tablo III-5</b> Parametreler ve seviyeler .....                                          | 73              |
| <b>Tablo III-6</b> L9 (3**3) ortogonal dizin .....                                          | 73              |
| <b>Tablo III-7</b> L9 Parametrelere göre ortogonal dizin.....                               | 74              |
| <b>Tablo III-8</b> L9 Nümerik değerkli tablo.....                                           | 74              |
| <b>Tablo III-9</b> Sensörlerin seçim tablosu (kistler) .....                                | 80              |
| <b>Tablo III-10</b> 6157BA basınç (p) sensörü özellikleri.....                              | 80              |
| <b>Tablo III-11</b> 6190 BA (p-t) sensör özellikleri.....                                   | 81              |
| <b>Tablo IV-1</b> Deney parçalarının ölçüm neticeleri.....                                  | 98              |
| <b>Tablo IV-2</b> L9(3**3) Minitab programında verilerin girilmesi .....                    | 99              |
| <b>Tablo IV-3</b> Doğrulama deney parçalarının ölçüm neticeleri .....                       | 108             |
| <b>Tablo EK B-1</b> Dişi kısım kalıp lokma ölçüleri B-B kesiti.....                         | 123             |
| <b>Tablo EK B-2</b> Dişi kısım kalıp lokma ölçüleri A-Akesiti .....                         | 124             |
| <b>Tablo EK B-3</b> Erkek kısım kalıp lokma ölçüleri .....                                  | 124             |
| <b>Tablo EK C-4</b> Haitian enjeksiyon makinası teknik özellikleri.....                     | 125             |

# BÖLÜM I.

## GİRİŞ VE AMAÇ

Plastik parçaların imal edilmesi diğer malzemelerden yapılmış parçaların imal edilmesine göre daha ucuz, daha hızlı ve daha kolay olmasına nazaran, parça kalitesi olarak bakıldığında mühendislik yönünden kararsız davranışlar gösterebilmektedir. Plastik parça imalatında ölçü standartlığı, estetik ve fonksiyonellik yönünden kararlı bir üretimin sağlanması her zaman mümkün olmamaktadır.

Plastik hammadde, plastik kalıbı ve enjeksiyon makinesi prosesleri arasında bulunan ilişkiden dolayı çeşitli kalite problemleri meydana gelmektedir. Bu kalite problemlerinde kalıp ve hammadde yönünden uyum sağlanmış ise, uyumsuzluk tamamen enjeksiyon proses şartlarına bağlıdır.

Plastik enjeksiyon makinelerinde proses parametrelerinin uygun hale getirilebilmesi için ilk olarak hangi proseslerin parça kalitesini ne yönden etkilediğini araştırmak gerekmektedir. Belirlenen etkiye derecelerine göre bu parametrelerin gerçek ve olması gereken değerlere yaklaşmasını sağlamak, parça kalitesini etkileyen en önemli faktördür.

Plastik enjeksiyonda istenilen boyut hassasiyetinde, mekanik ve fiziksel özelliklerde parça üretimi için enjeksiyon parametrelerinin sağlıklı bir şekilde belirlenip, kontrol edilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Enjeksiyon prosesini ve üretilen parça kalitesini etkileyen birçok parametre vardır. Bunların hepsinin birden kontrol edilmesi şüphesiz pek mümkün değildir. Ancak işlem üzerinde hayati öneme sahip diyebileceğimiz bazı parametreler bu çalışmada incelenmiştir. Bu parametrelerin başlıcaları, sıcaklık, basınç, zaman ve hızdır. Belirlenen bu enjeksiyon parametrelerinin plastik parça kalitesine etkileri, bu parametrelerin en güvenilir şekilde nasıl belirleneceği ve bu parametre değerlerine göre nasıl bir optimizasyon yapılacağı bu çalışmada incelenecektir.

Yapılan bu çalışmanın temel amaçlarından biride yukarıda söz konusu olan enjeksiyon parametre değerlerinin gerçek değerlerde olmasıdır.

Gerçek değerlerde olması demek; Mesela, enjeksiyonda basılacak parça için gerçek basıncın kalıp göz içi basıncı, gerçek sıcaklık için ise yine kalıp göz içi sıcaklığı ve gerçek proses zamanının bilinmesi demektir. Yapılan bir çok araştırmada bu parametre değerleri hep enjeksiyon makinası üzerinden ölçülen ve ayarlanabilen değerlerden yapılmış ve her zaman da bu değerler gerçek kalıp içinden ölçülen değerlerden farklı olmuştur ve istenilen kalite parametrelerine yaklaşım maksimum düzeylerde gerçekleşememiştir. Dolayısıyla da parça zerindeYapacağımız bu çalışmada ise enjeksiyon proses parametre değerleri direkt olarak kalıp gözleri içerisinden sensörler ile llerek alınacak ve bu gerçek değerlere göre Taguchi optimizasyonu yapılacaktır.

## **BÖLÜM II.**

### **LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE İRDELENMESİ**

#### **II.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ SINIFLANDIRMASI**

Günümüzde plastiklerin üretiminde kullanılan en yaygın metot enjeksiyondur. Hemen hemen her evde, fabrikada, otomobilde plastik enjeksiyon ürünlerine rastlamak mümkündür. Çok çeşitli şekillere ve ölçülere sahip üç boyutlu parçaların yüksek miktarlarda üretimdeki en etkili yöntem plastik enjeksiyon yöntemidir. Plastik enjeksiyonu plastik malzeme, kalıp ve enjeksiyon makinesinin birlikte gerçekleştirdiği bir prosestir.

Plastik enjeksiyon işlemi temel de basit bir prosestir. Granül veya toz halindeki termoplastik malzeme besleme hunisinden geçer ve ısıtılarak ergitileceği kovanın içine gelir. Bu kovan içinde daha sonra belli bir basınçla ergiyik haldeki plastik itilerek bir nozülde geçirilir ve kovana göre göreceli olarak soğuk ve basınç ile birbirlerine sıkıca bastırılan bir kalıbın içine doğru zorlanır. Parçanın soğuması için yeterli bir zaman beklendikten sonra kalıp açılarak basılmış parça kalıp dışına çıkarılır ve çevrim yeniden başlar.

Çıkarılan ürünün istenilen kaliteye sahip olması için kalıp içi basıncının, sıcaklığının ve proses zamanının uygun seçilmesi gerektiği birçok literatür çalışmasında görülmektedir. Ayrıca bu konuda yapılan çalışmaların önemli bir kısmı da bu parametrelerin gerçek zaman içerisinde ölçülmesi ve değerlendirilmesi üzerinedir.

#### **II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ İRDELENMESİ**

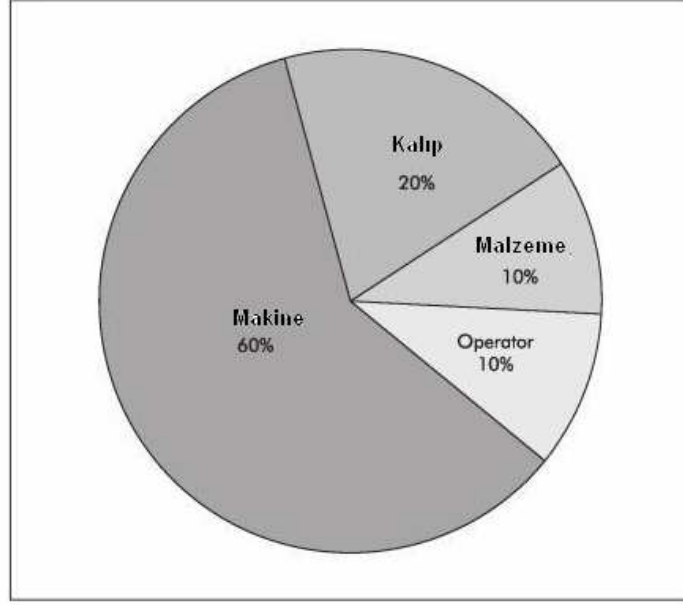
Plastik enjeksiyon yöntemi ile plastik parça üretimini etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Yapılan bir çok araştırmaya göre bir çok parametrenin proses üzerinde az veya çok olarak etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir. İlk bakışta sıcaklık, basınç, hız ve zaman gibi birkaç parametreden söz edilebilir. Ancak enjeksiyon prosesinde sıcaklık tek başına bir anlam ifade etmezken bunun alt parametreleri olan

ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, granül kurutma sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığının bile dikkate alınması gerekmektedir. Bunun gibi basınç konusunda da enjeksiyon basıncı (bir veya birden fazla kademe de yapılabilir), tutma basıncı, geri basıncı ve kilitleme basıncının çok iyi bilinmesi şarttır. Hız denildiğinde enjeksiyon hızı akla gelen ilk parametredir ancak bununla birlikte vida dönüş hızı da dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Aynı şekilde zaman içinde ilk akla gelen makinenin açma kapama zamanıdır fakat bu zamanı oluşturan bir çok proses ve bunlara ait de bir çok parametreler olduğunu asla unutmamak gerekir[1,6].

Genellikle plastik enjeksiyonunda parça kalitesine etki eden proses parametreleri; soğutma zamanı, ,enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon zamanı, doldurma zamanı, ergiyik sıcaklığı, itme basıncı, kalıp sıcaklığı kalıp geometrik şekli, ergiyik hammadde özellikleri, egiyik hız ve akış esnasındaki ısı hareketleridir. Ayrıca, doldurma zamanı, ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı malzemenin teknik özelliklerine, mukavemetine ve çarpılmasına etki eder[7].

Otomatik enjeksiyon kalıpları plastik parçaların kaliteli ve sağlam olarak üretilmesinde kullanılan bir imalat prosesidir. Proses parametreleri (sıcaklık, soğutma zamanı) parçanın yüzey kalitesini etkiler. Bu parametrelerin varyasyonları parçanın ölçüsel ve mekanik kalitesini etkiler. En yaygın operasyon geliştirme yöntemi istatistiksel proses kontrolüdür. Başka tekniklerde (Fuzzy Logic ve Yapay Sinir Ağları) bu proseslerde kullanılabilir. Günümüzde plastik parçalar montaj komponentleri olarak kullanılmakta ve yüksek kalitede üretimlerde örneğin dişli kutularında ölçü tamlığı önemlidir ve prosesin sürekli bir kontrolü söz konusudur[8].

Deneme ve hata yöntemi genellikle enjeksiyon kalıplaması işlem parametrelerinin belirlenmesi için kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle uzmanın tecrübesine ve harcadığı zamana dayanır. Bu yöntem, uzmanın enjeksiyon tecrübelerinden faydalanılarak fuzzy nedenleme ile parametrelerin ayarlamasını sağlayabilmektedir[9].



**Şekil II-1** Enjeksiyon hata oranları

30 yılı aşkın bir süredir yapılan bazı araştırmalar enjeksiyon ile üretilen plastik parçaların hata oranlarının Şekil II-1’de dağılımları olduğu gözlemlenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere üretilen parçaların hata oranlarının genellikle enjeksiyon makinesi tarafından gerçekleştirildiği aşıkardır[3].

Young [10] araştırmasında enjeksiyon kalıplarında üretilen lenslerde artık gerilme ve çekme etkilerini inceleyerek, enjeksiyon kalıpcılığında parçalarda artık gerilme davranışını ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanı gibi farklı proses şartlarının etkilediği görmüştür. Kalıplarda farklı şartlarda yapılan baskılarda değişik lens kalınlıklarında deneyler yapılmış, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon basıncının lenslerde kalınlık yönünde çekmeyi etkileyen en önemli faktörlerden olduğunu belirtmiştir. Kalıp çeperlerindeki ısı transfer katsayısı etkisini simülasyonla araştırılmış ve kalıp sıcaklığı, enjeksiyon zamanı, ısı transfer katsayısı, enjeksiyon basıncı ve malzeme gibi faktörlerin etkilerini araştırmıştır.

Enjeksiyon kalıplarında üretilen plastik parçaların kalitesini arttırmak çarpılmanın azaltılması ile mümkündür. Ölçüsel kararlılık ince kabuklu plastiklerde minimum çarpılmanın sağlanmasıyla olur. Minimum çarpılmayı etkileyen faktörler kalıp sıcaklığı, ergiyik sıcaklığı, enjeksiyon zamanı ve enjeksiyon basıncı olarak alınmıştır[11].

Ozcelik ve Erzurumlu [12] araştırmalarında, karşıtlık analizi, yapay sinir ağları ve genetik algoritma kullanılarak plastik enjeksiyon kalıpcılığında çarpılmanın optimize edilmesi araştırılmıştır. Bilindiği üzere plastik enjeksiyon kalıplaması plastik hazırlığı, enjeksiyon, tleme, soğutma, parçanın çıkarılması ve işlem sürecinde kontrol uygulamalarını kapsamaktadır. Günümüzde plastik sektöründe rekabet had safhayı almıştır daha ucuza ve daha kaliteli en az çöküntü ve çarpılmanın sağlandığı prosesler tercih edilir hale gelmiştir. Bu gereksinimi karşıklamak için bilgisayar destekli mühendislik yazılımları kullanılmaktadır.

Bu alışmada Moldflow kullanılarak en iyi yolluk yeri, doldurma, akış ve çarpılma analizleri yapılarak proses şartlarının optimize edilmesi sağlanmıştır. Bu makalede işlem parametreleri olarak en uygun yolluk yeri, kalıp sıcaklığı, ergiyik sıcaklığı, tleme zamanı, tleme basıncı, soğutma zamanı alınmıştır. İnce kabuklu plastik parçalar için süreç parametrelerinin etkisi hem deneysel olarak, hemde Taguchi optimizasyonu ile ve sonlu eleman analizi programı olan Moldflow ile incelenmiştir. Yapay sinir ağları yöntemi minimum çarpılma değerlerini bulmak için etkili olmuştur. arpılmayı etkileyen en önemli parametreler karşıtlık analizi yönteminin analizi üstüne temellenen sonlu eleman analizi sonuçlarıyla belirlenir. Bu alışma sonucunda çarpılma oranı PC (Polikarbonat) parçada %51 oranında azaldığı görülmüştür.

Chiang [13] makalesinde enjeksiyon da kalıplanmış ince kabuklu parçaların optimum proses şartlarının daha hızlı ve verimli hale getirilmesi için ABS/PC (Blend) karışımı termoplastik malzemeden basılan bir cep telefonu parçası üzerinde gerekli çalışmalar yapılmıştır. alışmasında temel enjeksiyon parametreleri olan kalıp açma zamanı, kalıp sıcaklığı, ergime sıcaklığı, doldurma zamanı, doldurma basıncı, tleme zamanı, tleme basıncı ve soğutma zamanı optimize edilmiş bunlarla birlikte çoklu makine cevapları kaynak çizgisinin dayanımı, çekme ve farklı dağılım sıcaklıklarıda hesaba katılmıştır. Bunlara ek olarak değişim analizi (ANOVA) kullanılarak makine parametrelerinin enjeksiyon kalıp proseslerine cevap etkisi bulunmuştur.

Bozdana ve Eyercioglu [38] yaptıkları çalışmada şu yönde gelişmektedir; Enjeksiyon kalıbı içerisine ergiyik polimer akarak kalıp boşluğunun şeklini alır ve yüksek basınç altında katılaşır. Enjeksiyon kalıbı proseslerinde farklı parametreler vardır. Bu parametrelerin birbirlerine olan etkilerini anlamak çok zordur.

Çalışmada, termoplastik malzemelerin enjeksiyon kalıbı parametrelerini incelemek için uzman sistemler kullanılmıştır ve bu sistemle uygun göz sayısının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu makalede geliştirilen sistemde 3 modüle ayrılarak inceleme yapılmıştır. Bunlardan birincisi; Plastik Enjeksiyon Kalıplama Makinesinin uygun seçilmesi, İkincisi uygun termoplastik malzemenin seçilmesi, Üçüncüsü olarak da optimum göz sayısının bulunmasıdır.

Gu ve Li [18] yaptıkları araştırmada Termal gerilme ve uygun olmayan proses şartları enjeksiyon kalıpcılığında çarpılmaya neden olduğunu, nümerik analiz ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak soğuma sırasında oluşan termal ve artık gerilmeleri karşılaştırmışlardır. Deneysel ve nümerik analizle hesaplanan sıcaklık ve basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Makaledeki çarpılmayı sağlayan ilk faktör olarak dengesiz sıcaklık dağılımı, ikinci olarak ütüleme basıncının gereğinden az olması olarak bulunmuştur.

Erzurumlu ve Ozcelik [16] yaptıkları bir çalışmada, farklı feder kesitlerine sahip plastik parçaların proses parametreleri ile çöküntü ve çarpılmanın minimum hale getirilmesini incelemiştir. Kalıp sıcaklığı, ergiyik sıcaklığı, paketlenme basıncı, feder kesiti tipleri ve feder açısı gibi faktörlerin çöküntü indeksi ve çarpılmanın indirgenmesinde rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Bir parçanın üretimine ait üretim operasyonları şöyle sıralanabilir; Plastik üretim tasarımı, enjeksiyon kalıp tasarımı, enjeksiyon prosesleri ve kalite kontrol parametreleri ayrı ayrı görev yapmaktadırlar.

Sık sık rastlanan kalite problemleri zayıf yapılan iletişim ve yanlış yapılan anlaşılmalardan da kaynaklanmaktadır. Depolar ve mühendislik takımları da kaliteyi etkileyen kritik faktörlerdendir. Buralara da odaklanmak gerekmektedir. billhasa depo ve mühendislik ekipmanları kalite optimizasyonunda ilk sıraları almaktadırlar. Plastik kalıp tasarımını C-Mold ileri kalıpcılık programında yapabilmektedir.

Diğer üretim operasyonlarını ise Taguchi parametre tasarımında optimize edebiliriz. Bu optimizasyonu yapabilmek için de yedi farklı enjeksiyon parametresini kullanabiliriz. Bu parametreler aşağıda belirtilmiştir[6].

- Enjeksiyon basıncı
- Enjeksiyon zamanı
- Akış hızı
- Kalıp sıcaklığı

- Erime sıcaklığı
- Doldurma basıncı
- Ütüleme basıncı

Bu kadar çok parametrenin bir arada bulunarak etkilediği enjeksiyon prosesinin kontrolü sanıldığı gibi de çok zor değildir. Önemli olan bu parametreleri bir önem ve öncelik sırasına koyarak en çok etkisi olan parametreden en az etkisi olana doğru sıralayabilmek ve önemli parametreler üzerinde yoğunlaşarak bu parametrelerin plastik parçalar üzerindeki etkilerinin bilinmesidir.

Tablo II-1’deki çizelgede enjeksiyonla kalıplama proseslerinde parça kalitesine etkileyen parametrelerin öncelik sırasına göre etkiye değerleri gösterilmiştir.

**Tablo II-1** Parça kalitesine etki eden faktörler



Parça kalitesine etki eden faktörler ve etki dereceleri 1 ile 9 arasında sıralayacak olursak, 1 ürün kalitesine olan en yüksek etki, 9 ise ürün kalitesine olan en düşük etki konumunda kalmaktadır. Çeşitli Alman makine imalatçıları kalıplama parametrelerinin hangisinin kalıplama sonunda en yüksek etkileri olduğunu bulmak için birçok farklı kalıp üzerinde denenerek incelemeler yapılmış ve yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo II-I de enjeksiyonla kalıplanmış plastik parça kalitesine etki eden en önemli 4 parametre öncelik sırasına göre gösterilmiştir.

Bunları şöyle sıralayabiliriz;

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Kalıp içi basıncı; etki derecesi | 1 en yüksek |
| Enjeksiyon hızı; etki derecesi   | 2           |
| Erime sıcaklığı; etki derecesi   | 3           |
| Kalıp sıcaklığı; etki derecesi   | 4 en düşük  |

Bazı araştırmacılar enjeksiyon parametrelerinin geliştirilmesi ve tasarım edilebilmesi için iki kural tanımlayarak bunların ilişkilendirilmesi sonucu doğru bir parametre seçilebileceğini savunmuşlardır. Bu kurallardan biri temel malzeme özellikleri, diğeri ise şimdiye kadar denenmiş ve başarılı olmuş, insan tecrübeleridir[29].

Yapacağımız bu çalışmada bu parametrelerin sırası ile parça kalitesine nasıl etkidiklerini ve bu parametrelere nasıl müdahale edilebileceğini inceleyeceğiz.

İnceleyeceğimiz bu parametrelerin sıcaklık ile olan kısmını yani erime sıcaklığını ve kalıp dışı kısım sıcaklığını tek bir parametre altında kalıp iç sıcaklığı olarak inceleyeceğiz. Yine bu parametrelerden enjeksiyon zamanını da enjeksiyon zamanı ve ütüleme zamanı olarak birlikte, bir bütün parametre şeklinde olarak ele alacağız.

### **II.2.1. Basınç**

Enjeksiyonla kalıplama yönteminde, plastik hammaddenin ergitilmesi, karıştırılması ve kalıp içerisine enjekte edilmesi ile kalıbın açılıp - kapanması gibi görevleri enjeksiyon makinesi yerine getirmektedir. Enjeksiyon makinesinin en önemli karakteristiği enjeksiyon basıncıdır. Enjeksiyon basıncı, kalıplanmış plastik parçanın kalitesini etkilemekte ve kilitleme kuvvetinin tespitini sağlayarak kitleme mekanizmasının boyutlandırılmasında etken olmaktadır. Bu nedenle enjeksiyon makinesinde oluşan basınçların ve enjeksiyon basıncını etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir[2].

Hendry, Brookshaw ve Vinning [14] Yaptıkları çalışmada harici gaz kalıplama yöntemi ile klasik enjeksiyon kalıplamasını karşılaştırarak, yeni oluşan bu yöntemin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Bu işlemin ana iddialarından biri aşırı bir biçimde düşürülmüş olan ütüleme basıncı, enjeksiyon basıncı ve kalıp içi basıncının parça kalitesine olan olumlu etkileridir. Kalıp içi basıncı sensörleri özel bir kalıp testinde işlemin kritik bölümlerindeki basıncı izlemek için konulmuştur.

Bu tür gaz enjeksiyon uygulamalarında gerek enjeksiyon çevrim zamanında gerekse elektrik sarfiyatından oldukça tasarrufa gidilebilmektedir.

Plastik enjeksiyon makinesinin enjeksiyon basıncını bir çok faktör etkilemektedir. Enjeksiyon basıncını etkileyen başlıca faktörleri şöyle sıralayabiliriz.

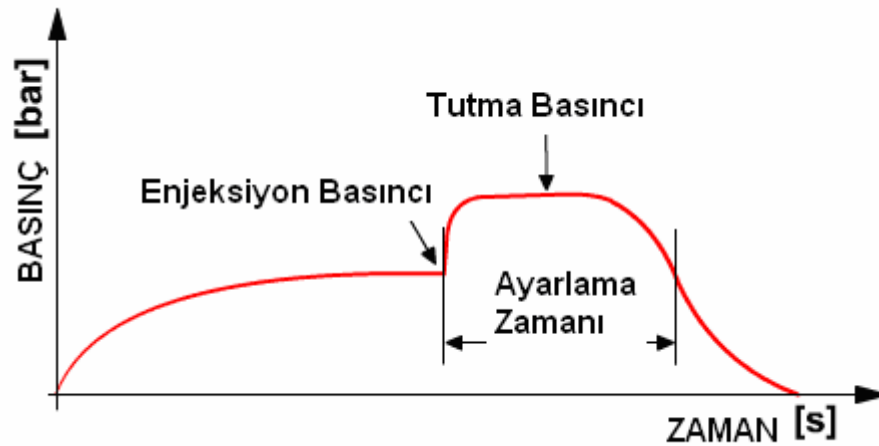
- Enjeksiyon malzemesi (akışkanlığı)
- Sıcaklık ( ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı )
- Kalıplanan parçanın biçimi, et kalınlığı ve ağırlığı
- Yolluk sistemi
- Enjeksiyon memesi
- Meme, yolluk ve dağıtıcıların yüzey kalitesi

Enjeksiyon makinelerinde iki önemli basınç bölgesi vardır ve bu bölgelerdeki basıncın çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunlar, enjeksiyon ünitesindeki basınçlar ve mengene ünitesi basınçlarıdır. Bu iki basınç bölgesi birbirleriyle yakından ilgilidir çünkü bu iki basınç her zaman birbirlerine karşıdırlar.

Enjeksiyon ünitesinin basınçları, ergimiş polimerin kalıp gravürünü tam ve eksiksiz bir şekilde doldurmasına ve bir miktar basınç altında tutulmasına yetecek büyüklükte olması gerekmektedir, Aksi halde kalıbın tam olarak doldurulmaması söz konusu olacaktır.

Enjeksiyon makinalarının enjeksiyon üniteleri genellikle üç değişik türde basınç üretirler. Bunlar enjeksiyon basıncı, tutma basıncı ve geri basıncıdır,

Şekil II-2’de enjeksiyon ünitesinin ürettiği basınçların zamana göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil II-2 Enjeksiyon basınç-zaman grafiği

### II.2.1.1. Enjeksiyon Basıncı

Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon ünitesinin gerçekleştirdiği önemli parametrelerden birisidir. Bu basınç sayesinde enjeksiyon vidası önünde bekleyen ergimiş plastik vidanın adeta bir piston gibi hareketi ile kalıp içine doğru gönderilir. Bu basınç hem vidanın hızını hem de kalıbın doldurulması prosesini çok yakından etkiler.

Enjeksiyon basıncı ile hedeflenen şey kalıp içerisine mümkün olduğunca hızlı bir şekilde ergimiş malzeme sevk ederek kalıbı doldurmaktır. Bu nedenle enjeksiyon basıncı mümkün olan en yüksek değerde seçilmektedir. Yüksek seçilen basınç değerinin bir önemli sonucu da çalışma sıcaklıklarının düşük seçilmesine olanak sağlamasıdır. Bu sayede parça soğuma zamanlarında önemli tasarruflar yapılarak çevrim zamanı da kısalmış olmaktadır, Burada önemli olan nokta enjeksiyon basınç büyüklüğünün ve uygulanacağı sürenin çok iyi tespit edilmesi gerekliliğidir. Çünkü gereğinden yüksek ve düşük seçilen basınç değerlerinin hem parça hem de makine ve kalıp üzerinde olumsuz etkileri olacaktır.

Enjeksiyon basıncının düşük seçilmesi durumunda aşağıda belirtilen durumlar meydana çıkabilir. Kalıbın doldurulması için yeterli malın kalıba gelememesi ve eksik baskı başta olmak üzere, parça üzerindeki ergimiş katmanların yeterince bir arada tutulmaması nedeniyle akış çizgileri oluşturmaması. Kalıp doldurulması sırasında kollara ayrılan akış hatlarının tekrar birleşmesi sırasında yeterli basınç olmaması nedeniyle kaynak izleri oluşturmaması. Parça yüzeyinin kalıpla yeterli basınçla temas etmemesi nedeniyle bozuk ve kötü yüzey elde edilmesi. Soğuma esnasında yeterli basıncın olmaması sonucu çöküntü izleri ve çöküntülerin oluşumu ve soğuma esnasında boyut ve şekilden sapmalar göstererek çarpılmalar oluşması gibi sorunlar oluşmaktadır[1].

Akış direncinin enjeksiyon basıncı ile olan ilişkisi:

Enjeksiyon basıncı meme, yolluk sistemi ve kalıp boşluğunda malzemenin akış direncini yenmek için uygulanan basınçtır. Enjeksiyon basıncı genellikle kısa bir zaman içerisinde, sistemdeki en düşük basınçtan, ergiyik malzemenin bütün dirençleri yenip, kalıp boşluğuna iletilmesini sağlayacak büyüklüğe ulaşmaktadır.

Akış direnci, malzemenin vida ucundan kalıp boşluğunu dolduruncaya kadar ergiyik akışına karşı gösterilen dirençtir. Malzemenin viskozitesine, meme, yolluk, kalıp biçimine ve yüzey kalitesine bağlı olarak değişen bu direncin yüksek olması durumunda hidrolik basınç belli bir değere kadar kısa sürede hızla artmaktadır.

Kalıp içerisinde akış direncini yenmek ve kalıbı doldurmak için basınç bir miktar daha artırılır. Basıncın ulaştığı maksimum noktadan itibaren ütüleme zamanı dediğimiz zamanda basınç belli bir değere kadar düşer ve bu değerde kalıp içerisindeki malzemeye belirli bir basınç uygulanır. Belirli bir tutma sürecinden sonra basınç düşmeye başlar ve sistemdeki en düşük değerine ulaşır[2].

Bu tür düşük akıcılığı olan plastik hammaddelerde grift kalıpların yani ince cidarlı parçalara sahip kalıpların basılması çok daha zordur. Ergiyik malzemesinin kalıbı tam doldurması ve kusursuz parça elde edilmesi için daha yüksek enjeksiyon basınçlarına ve zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Akış direncinin düşük olması durumunda kalıbın dolum noktasına kadar uygulanan basınç daha düşük, fakat basınç süresi daha uzun olmaktadır.

Akışkanlığı yüksek olan plastik hammaddeler de ise grift kalıpların basılması daha kolaylaşır. Bunların basılmasında yüksek basınçlara ihtiyaç yoktur. Akış direncinin çeşitli bölgelerde farklı olması durumunda, gerekli basınçta kalıp dolum noktasına kadar değişim göstermektedir. Kalıp dolduktan sonra, kalıp içerisindeki malzemenin katılaşması neticesinde kendini çekmeden dolayı oluşan hacim azalmasını önlemek ve sıkı yapılı parça elde etmek için basınç artışı belli bir değere kadar devam etmektedir[2].

#### **II.2.1.2. Tutma Basıncı Ve Etkileri**

Tutma basıncı enjeksiyon işleminde kalıp içerisine gönderilmiş ergimiş plastiğe enjeksiyon basıncından sonra etki eden ikinci basınç olarak tarif edilebilir. Ergiyik malzemenin kalıp içerisindeki katılaşma süreci tutma basınç etkisi altında tamamlanmış olur. Böylece parçaların eksiksiz ve tam olarak kalıp gravürü şeklini alması ve tok bir yapıya sahip olmaları sağlanmış olur.

Enjeksiyondan sonra kalıp boşluğundaki basınç bir maksimuma ulaşır. Kalıp içerisinde soğuyan malzemenin kendini çekmesinden dolayı hacim küçülmesi oluşur. Bu hacim küçülmesini önlemek ve sıkı yapılı parça elde etmek için katılaşan malzemeye uygulanan bir basınç olarak da adlandırılabilir[4].

İletişim ve elektronik üretimleri zaman ilerledikçe daha hafif, ince ve küçük bir hal almaktadır. Huang ve Tai [15] Yaptıkları çalışmalarında Bu isteği gerçekleştirmek için parçalarda et kalınlığının azaltılması gerektiğini savunmuşlar. Bu yüzden ince kabuk özellikli parçalarda çarpılmanın incelenmesi önem

kazanmaktadır. Çoğu parçalarda çarpılma, çekme, çöküntü, artık gerilme v.b. kalite problemlerine rastlanmaktadır.

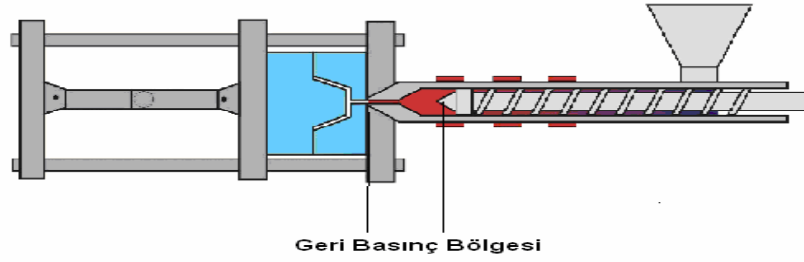
Yaptıkları optimizasyonda enjeksiyon kalıbı proseslerinde bazı parametreler optimize edilmiş ve C-Mold programı ile simüle edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki ütüleme basıncı, çarpılmanın önlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Tutma basıncının süresi ve büyüklüğü kalıplanan parçanın görünüşü ve boyut hassasiyeti için çok önemlidir. Tutma basıncı süresinin kısa olması durumunda parça üzerinde boşluklarına neden olmaktadır. Tutma basınç süresi uzun olması durumunda kalıbın içersindeki parçanın sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığına ulaşır, Bu durumda kalıbın açılmasından hızlı basınç düşüşü parçada çatlamalara neden olur[2].

Bu nedenle tutma basıncının etkin olduğu sürenin akış yolu boyunca ergimiş malzemenin geçtiği en dar kesitli bölgenin tamamen katılaşması için geçen süre olabileceğini de söyleyebiliriz. Genellikle bu en dar kesitli bölge yolluğun gravüre giriş yaptığı yolluk adını verdiğimiz parça giriş bölgesidir. Dolayısıyla akış yolu üzerindeki kesitlerin katılaşmasından önce basınçtaki değişiklikler parçaya aktarılabilirken, katılaşma sonrasında gravür iç basıncı üzerinde tutma basıncının rol oynaması söz konusu olmamaktadır.

#### **II.2.1.3. Geri Basınç Ve Etkileri**

Geri basıncı enjeksiyon işleminden hemen sonra uygulanmaya başlayan basınçtır. Tutma basıncının sona ermesiyle kontrol ünitesine verilen bir sinyal ile bir sonraki çevrime (baskıya) hazırlık amacıyla enjeksiyon vidası dönmeye başlar ve bu sayede vida kovan sisteminin uç kısmına (meme) yeni plastik granülleri gelmeye başlar. Pratikte de bilindiği şekliyle enjeksiyon vidası mal alma işlemi sırasında geriye doğru bir enjektör gibi çekilmez aksine bu safhada vida dönüş hareketi sayesinde meme kısmına doğru yeni granülleri ısı ve sürtünmeler etkisiyle eriyen granüller vida uç kısmını doldurmaya başlar ve ergimiş polimer enjeksiyon vidasını geriye doğru iter.



**Şekil II-3** Geri basıncın gösterilmesi

Geri basıncı ile enjeksiyon vidasının mal alma yani geriye gitme hızı ve aynı zamanda da vida önünde enjeksiyon için hazır bekleyen polimerin sıkışma basıncı belirlenmiş olur. Geri basıncı enjeksiyon basınçları ile kıyaslandığında oldukça düşük bir seviyededir. 4 bar ile 40 bar arasında değişim gösteren bir değerde kullanılan polimerin yapısına bağlı olarak ayarlanabilmektedir.

Geri basıncının kullanılmasının en temel nedeni parça ağırlığında, yoğunluğunda ve malzeme görünüşünde bir istikrar yakalama gerekliliğidir. Ayrıca geri basıncı sayesinde malzeme içinde kalmış hava kabarcıkları ve kurutma ile alınamamış nem ergimiş polimerin sıkıştırılması sonucu ortamdaki uzaklaştırılmış olmaktadır, bu olay nedeniyle parçalardaki hava kabarcıkları sorununu en aza indirmekte ve hatta çoğu zaman ortadan tamamen kaldırmaktadır.

Geri basıncının ayarlanmasındaki en uygun yöntem 4 barlık değerle başlayarak uygun karışımın elde edilip edilemediğine bakılması ve en uygun malzeme karışımı ve yoğunluğu elde edilene kadar çok küçük miktarlarda değer artışı yapılmasıdır. Geri basıncının 4 barlık değer altına ayarlanması durumunda kontrol ve kumandanın yeteri kadar hassas yapılamaması nedeniyle parça kalitesinde istikrarın sağlanması zorlaşmaktadır. Ancak bu zorluklara rağmen günümüzde düşük geri basıncına ihtiyaç duyan plastiklerin enjeksiyonunda geri basıncının kontrol valfi ile kontrol edilmesinin dışında enjeksiyon vidasının geri gidiş hızının kontrol altına alındığı sistemlerde geliştirilmiştir. Geri basıncının gereğinden fazla büyük olması durumunda ise enjeksiyon vidasının adeta kilitlenerek hiç dönmemesi riski veya gereğinden fazla ön bölümde kalarak çok yavaş geriye gelmesi nedeniyle plastik malzemenin maruz kaldığı yüksek sürtünme ve sıkışma sonucunda ısıl bozulmalar ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak geri basıncı plastik parçaların uygun, yoğunlukta ve görünümde üretilmesinde ve bunun devamlılığının sağlanmasında çok önemli rol oynamaktadır.

Bununla birlikte parçalardaki hava kabarcıklarını engelleyen veya en aza indiren faktörlerden birisidir.

#### **II.2.1.4. Mengene Ünitesi Kilitleme Basıncı Ve Etkileri**

Mengene ünitesinin oluşturduğu basınç ise sadece kilitleme basıncıdır, Kilitleme basıncı da hidrolik ve mekanik olmak üzere iki farklı şekilde elde edilmektedir.

Mengene ünitesinin basıncı her zaman enjeksiyon ünitesinin oluşturduğu basıncı yenecek büyüklükte olmalıdır. Aksi halde kalıp kapanmayacak ve dışarıya ergiyik sızacaktır.

Kilitleme basıncı enjeksiyon makinelerinde mengene ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Mengene ünitesi kalıbın bağlandığı, mengene plakasının kapanması, kilitlenmesi ve gerektiğinde de açılması için gerekli hareketlerin ve kuvvetlerin üretildiği birimdir, Mengene ünitesi ve kalıp birlikte kapalı bir kuvvetler sistemi teşkil etmektedirler[1].

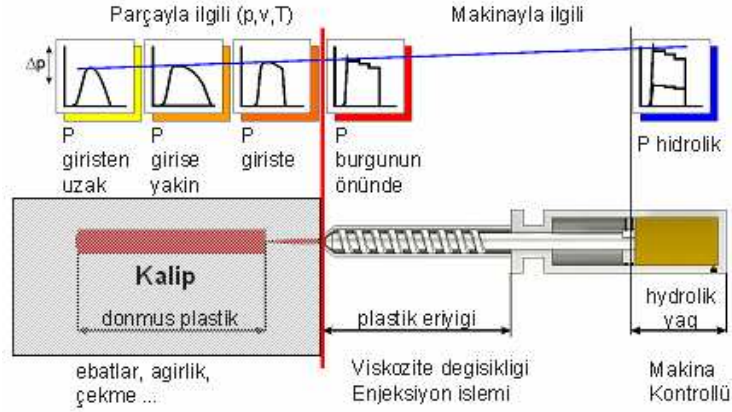
Kilitleme basıncının oluşturulmasının amacı enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında kalıp içine gönderilmiş ergimiş plastiğin yol açtığı kuvvetlere karşılık kalıp plakalarının açılmasına meydan vermeden onları bir arada tutmaktır. Bu nedenle kilitleme basıncının değeri en azından enjeksiyon kuvvetlerini yenecek büyüklükte olması gerekmektedir. Kilitleme kuvvetinin yeterli olmaması durumunda enjeksiyon esnasında kalıp plakalarının açılması söz konusu olacağından parçaların etrafında çapak olarak adlandırılan plastik bir şerit oluşacak ve bu da parçaların hatalı kabul edilmesine yol açacaktır. Çapak oluşumundan başka kalıp plakalarının açılmasının bir diğer olumsuz yönü de enjeksiyon basıncının yeteri kadar iyi parçaya aktarılamaması nedeniyle yeterince sıkışmanın sağlanamaması ve parça iç yapısında zayıflıkların oluşmasıdır.

Bu nedenle kilitleme basıncı oldukça büyük önem arz etmektedir. Kilitleme basıncı temel olarak hidrolik ve mekanik olmak üzere iki şekilde elde edilirken bu iki sistemin birlikte çalışması prensibine dayalı hidro-mekanik sistemler de mevcuttur.

#### **II.2.1.5. Kalıp İçerisinde Oluşan Basınç**

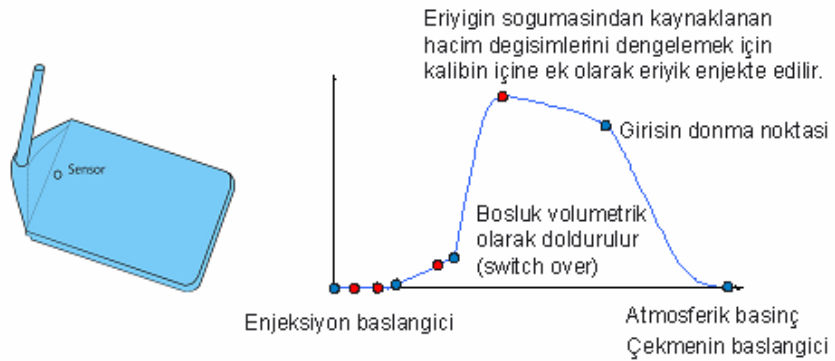
Meme ve yolluklardaki kayıplardan dolayı enjeksiyon basıncının sadece bir kısmı kalıp boşluğuna etki eder. Enjeksiyon basıncının kalıp boşluğunda etkili olduğu kısma kalıp iç basıncı denir. Enjeksiyon basıncı ile kalıp içersinde oluşan

basınç arasındaki basınç farkı, malzemenin kalitesine, sıcaklığa, yolluk, meme boyutlarına bağlıdır. Kalıp içersindeki basınç ile enjeksiyon basıncı arasındaki fark, enjeksiyon sıcaklığına bağlı olarak azalmakta veya çoğalmaktadır. Yüksek enjeksiyon sıcaklıklarında enjeksiyon basıncı ile kalıp iç basıncı arasındaki fark azalmaktadır. Düşük enjeksiyon sıcaklıklarında bu fark artmaktadır. Kalıp iç basıncı çok özel durumlarda enjeksiyon basıncına eşit olabilir.

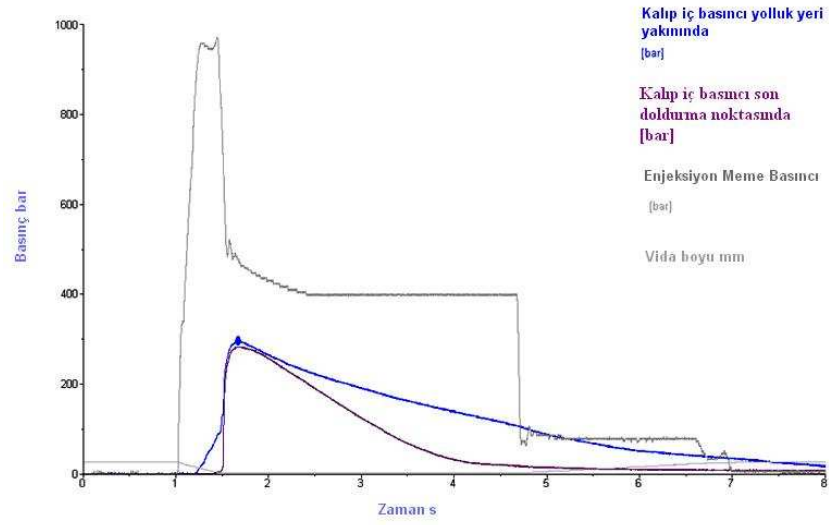


**Şekil II-4** Enjeksiyon makinesindeki basınç değişimleri

Kalıp iç basıncı kalıp sıcaklığından da etkilenmektedir. Kalıp sıcaklığı arttıkça iç basınç azalmakta, kalıp sıcaklığı, azaldıkça da kalıp iç basıncı artmaktadır. Parçanın son boyutlarına iki önemli faktör etki etmektedir. Bunlardan biri malzemenin ısısal genleşmesi, ikincisi kalıp boşluğundaki iç basınçtır[2].

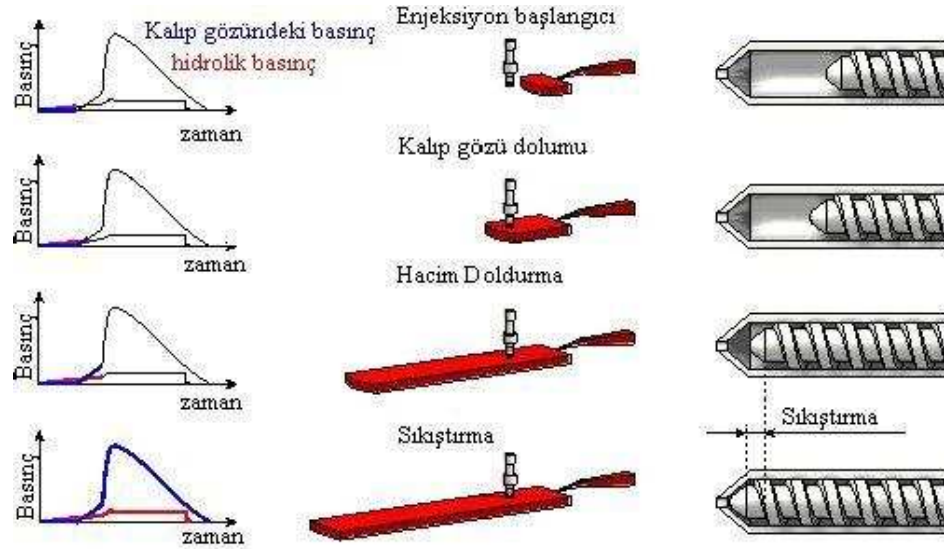


**Şekil II-5** Kalıp içi basınç eğrisi



**Şekil II-6** Enjeksiyon ve kalıp iç basıncının zamana göre değişimi

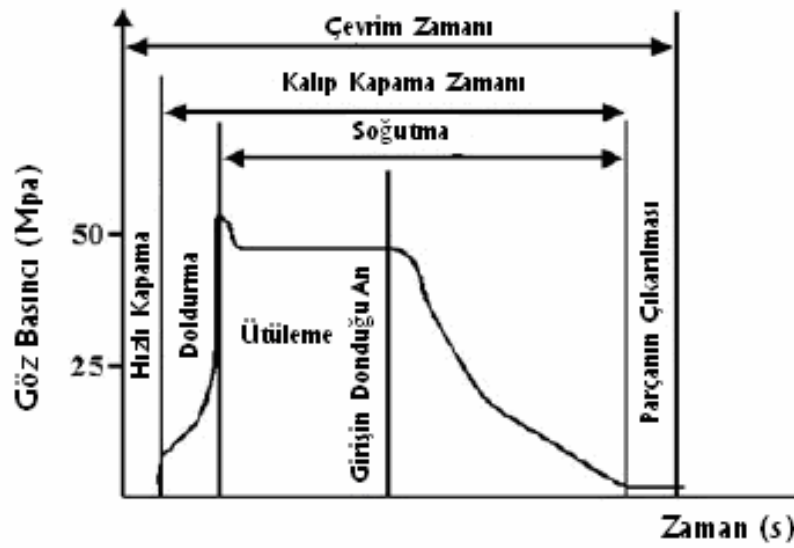
Kalıp içinde oluşan basıncın enjeksiyon basıncına bağlı değişimi Şekil II-6'de gösterilmeye çalışılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konuda gerçekte basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının kısa bir süre daha artış göstermesidir.



**Şekil II-7** Enjeksiyon iç basıncının parka ve helezon konumuna göre değişimi

Basınç değişim noktasından sonra kalıp iç basıncının bir miktar daha yükselmesi yüksek basınç ve hız altında sıkışmış olan ergimiş malzemenin kalıba gönderilmesinin ardından üzerindeki basınç kaldırıldığında bir miktar genişleme

eğiliminde olması ile açıklanmaktadır. Şekil II-7’de parça dolumuna göre olan basınç değişimleri gösterilmektedir. Sabit bir sıcaklıkta ergimiş olan polimer malzemelerin üzerine etki eden basıncın artması ile özgül hacimlerinde ciddi azalmalar olmaktadır. Buna bağlı olarak da enjeksiyon işleminde ilk basınç esnasında sıkıştırılmış olan ergiyik, basınç değişim noktasından sonra bir miktar genişmekte ve buda kalıp iç basıncında bir artış sağlamaktadır. Bu nedenle basınç değişim noktasının yerinin tespitinde bu basınç artışı da göz önüne alınması gereken bir noktadır. Şekil II-8’de üretilen bir plastik parça üzerindeki basınç değişimlerinin zamana bağlı olan değişimleri gösterilmiştir.



**Şekil II-8** Enjeksiyonda üretilmiş bir parçada basınç izlenimi

Enjeksiyon basıncının yukarıdaki bölümlerde belirtilen parça üzerindeki etkilerinden başka bitmiş ürün üzerindeki bir diğer etkisi de parça sertlik değeridir. Enjeksiyon basıncı sayesinde parça içyapısı sıkıca bir arada tutulduğundan parça sertliğinde basıncın artması ile artış gözlenmektedir.

### II.2.2. Sıcaklık

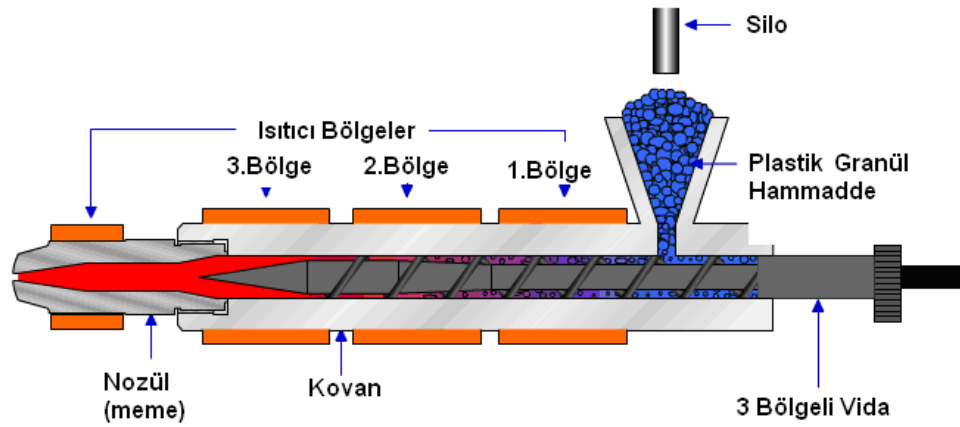
Enjeksiyon prosesine direkt etkisi olan en önemli parametrelerden birisi sıcaklıktır. Bu proste plastik parça kalitesine direk veya endirek etkileyen birçok sıcaklık çeşidi mevcuttur. Ergiyik sıcaklığı, hidrolik sistem sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, granül sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı bunlardan bazılarıdır. Bu sıcaklıkların her biri

plastik parça kalitesine etki etmede önemli rol oynamaktadırlar. Bu sıcaklıklardan önemli olanları bu bölümde incelenmiştir[1].

- Ergiyik sıcaklık kontrolü
- Kalıp sıcaklığı kontrolü
- Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü
- Kurutma Sıcaklığı

#### II.2.2.1. Ergiyik Sıcaklığı

Ergiyik sıcaklığı, plastik malzemenin enjeksiyon işlemindeki akış yolu boyunca edindiği sıcaklık olarak tarif edilmektedir. Plastik malzemenin takip edeceği bu yol, besleme hunisinden başlar ve malzemenin vida kovan sistemine girişi ile devam eder. Daha sonra etrafına rezistanslar sarılı olan vida kovan sistemi boyunca hem ısınır ergimeye başlar, hem de harekete zorlanarak meme (nozül) adı verilen ve malzemenin makineyi terk ederek kalıba gireceği kısma ulaşır. Buradan bir yolluk sistemi ile kalıba yani şeklini alacağı boşluklara (gravüre) dolmaya başlar. Malzemenin takip ettiği bu yola akış yolu denilir.



Şekil II-9 Vida kovan sistemi

Şekil II-9'da görüleceği gibi vida kovan sistemi ısıtıcı rezistans ile sarılıdır. Bu rezistanslar bir kelepçe gibi kovan etrafına takılmışlardır. Genellikle kovan üzerinde üç ile altı adet arası ısıtıcı rezistanslar mevcuttur.

Enjeksiyonlarda genellikle üç ana bölgesi olan kovan sistemleri mevcuttur. Bunlar arka, orta ve ön ısıtıcı bölgelerdir. Bunların dışında en az bir ısıtıcı rezistans da enjeksiyon memesi etrafına sarılmıştır ve buraya da meme veya nozül bölgesi adı verilmektedir.

Enjeksiyon prosesi için malzemenin uygun ocak sıcaklıklarına sahip olması yani uygun ergime değerine çıkması çok önemlidir. Besleme hunisinden vida kovan sistemine giriş yapan plastik granüller ilk ısı etkisiyle yumuşamaya başlar. Daha sonra vida sistemi etkisiyle malzeme orta bölüme doğru hareket ettirilir. Burada sıcaklık arka bölümüne nazaran 5–10°C daha yüksektir. Malzemenin ön bölümüne doğru hareketi devam ettikçe ve sıcaklıkta ergime sıcaklığına doğru artmış olması dolayısıyla plastik malzeme enjeksiyona hazır hale getirmektir. Bu noktada malzeme, kalıplama çevrimi tamamlanuncaya kadar bekler ve enjeksiyon yapılır[26].

Kovan etrafına takılmış ısıtıcı bamlardan ısı transferi yapılmasının yanı sıra enjeksiyon vidasının burğu, yani dönme ve sıkıştırma hareketi ile oluşan sürtünmelerden dolayı oldukça yüksek ısı açığa çıkarmaktadır.

Enjeksiyon vida dönüş hareketiyle sisteme yeni malzeme girişi yaparak bir sonraki baskıyı hazır hale gelmektedir. Besleme hunisinden kovan içerisine alınmış yeni malzeme vida kovan sistemi boyunca ilerledikçe vida kanatları ve kovan arasında sıkışmaya zorlanmaktadır. Bu zorlamadan doğan sürtünme nedeniyle de ısı açığa çıkmakta ve bu ısısında önemli bir bölümü plastik hammadde tarafından absorbe edilmektedir. Burada esas önemli nokta plastiğin enjeksiyon için uygun sıcaklık değerine çıkarılmasının sağlanmasıdır[57].

**Tablo II-2** Bazı plastiklerin ergiyik sıcaklıkları

| Plastik      | Erime sıcaklığı aralığı<br>(°C) | Özgül ısı<br>(kg/kg °C) | 1kg plastiği erimek<br>için gerekli ısı (kj/kg) |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| PVC (sert)   | 180–200                         | 1.05                    | 16FF                                            |
| Polistren    | 210–250                         | 1.34                    | 268                                             |
| HIPS         | 210–250                         | 1.40                    | 280                                             |
| ABS          | 210–260                         | 1.40                    | 308                                             |
| Noryl        | 240–300                         | 1.34                    | 308                                             |
| Polikarbonat | 280–320                         | 1.26                    | 353                                             |

Erime sıcaklığı plastik malzemenin cinsine göre 150°C ile 400°C arasında değişmektedir. Erimiş plastik erime sıcaklığının biraz altında kalıba basılır ve plastik soğuyarak sertleşir. Yukarıdaki tabloda da bazı plastiklerin erime ve özgül ısıları verilmiştir. Ocağın ana fonksiyonu plastik malzemenin en iyi şartlarda eritilerek, kalıp içine transferini sağlamaktır. Budan dolayı, belirli malzemeler ve kalıp için erimiş plastiğin sıcaklığı belli bir seviyede olmalıdır. Plastik malzemelerin her biri kendine has işleme özelliklerine sahiptir ve bu görünüşe göre her biri karakteristik

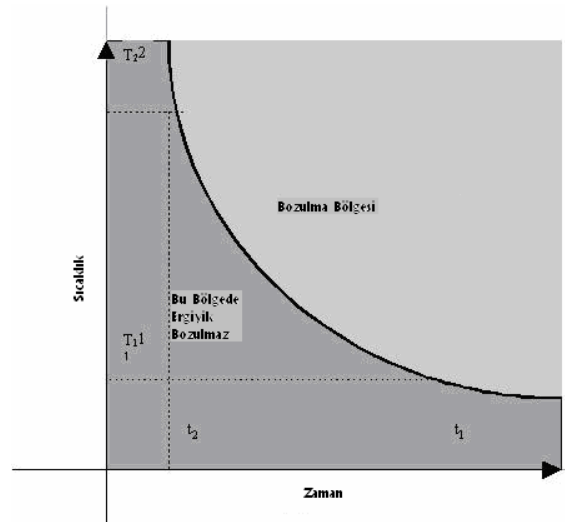
sıcaklık aralığına sahiptir. Kullanılan kesin sıcaklıklar polimerin bağlı bulunduğu kendi sınıfındaki derecesine bağlıdır; polimer tipine, içindeki katkı maddesinin miktarına ve kalıp doldurma için gerekli özel şartlara bağlıdır[53].

Ergiyik sıcaklığı meme bölgesinden makineyi terk eden plastikten, kalıba girmeden hemen önce, ölçülmektedir. Bu sıcaklık genellikle ergime sıcaklığından 5–6° C daha fazla olmalıdır.

Polimerlerin ergimesi için gerekli ısının iki değişik kaynağından biri ocak rezistanslarından elde edilen ısı, diğeri ise sıkışma ve sürtünmeler nedeniyle açığa çıkan ısıdır. Bu ısının varlığı vida kovan sistemindeki bazı bölgelerde sıcaklığın ayarlanan değerin üzerine çıkması ile anlaşılmaktadır. Bu gibi durumlarda o bölgedeki rezistansı kapatılması söz konusu bile değildir. Bu nedenle ideal olan çalışma şekli tüm ısı bölgelerinin açık olması ve sürtünme ısının olduğu bölümlerde sıcaklığın biraz düşülerek çalışılmasıdır.

Ergiyik sıcaklık kontrolü vida kovan sisteminde sıcaklık profilinin çok iyi dengelenmesi ile sağlanabilir. Vida kovan - sıcaklık profilinin dengelenmesin de sıcaklığın yanı sıra zaman yani ergiyik malzemenin ocak kısmından geçiş süresi ve polimerlerin ısıl dayanıklılığı söz konusudur.

Ergiyik malzemenin ocak kısmından geçiş süresi: Plastik malzemenin besleme hunisinden vida kovan sistemine girmesi ve meme bölgesinden çıkması arasında, vida kovan sisteminde kaldığı toplam süredir. Bu genellikle birkaç saniyelik süredir. Bu süre; malzemenin özgül ağırlığına ve çevrim zamanına bağlıdır.



Şekil II-10 Plastiklerde bozulma bölgesi

Şekil II-10'da bozulmamış çalışma bölgesi ve bozulmuş bölge gözükmemektedir. Eğer siz çalışmanızı bozulmamış bölgede yaparsanız kalıplanmış parçada gümüş renkli çizgiler veya gaz kabarcıkları olmayacaktır. Eğer çalışma bozulmuş bölgeye doğru kayarsa, gümüş çizgileri ve gaz kabarcıkları kaçınılmaz olacaktır[47].

Operasyon boyunca değişken bekleme süreleri plastik malzemenin renginin değişmesine sebep olacak ve bazı gölgeler de parça üzerinde belirecektir. Eğer boyalı bir malzeme kullanıyorsak bu bozulmayı önlemek için bekleme süresini çok hassas tayin etmemiz gerekir.

Yüksek sıcaklıklarda çalışılmasının bir diğer olumsuz tarafı da yüksek sıcaklıklarda polimerin gereğinden fazla akışkan hale gelmesi ve bu da ergiyik akışının çok türbülanslı olmasına sebep olur. Türbülanslı akışta hava ve gazlar ergiyik bulutunun içinde sıkışıp kalmaktadır. Sıkışan gaz ve hava da parça içinde baloncuk şeklinde kendini belli etmektedir. Bu nedenle plastik malzemenin gereğinden fazla ısılar ile çalışmasının engellenmesi, çevrim zamanının mümkün olduğunca kısa tutulması bu sorunun giderilmesi için tavsiye edilmektedir.

Ergiyik sıcaklığının düşük tutulması durumunda da polimer malzeme tamamen erimek için yeterli ısıyı alamamış olacaktır. Bunun sonucu olarak da yeterli kadar akışkan hale geçemeyerek kalıbın doldurulması başta olmak üzere bitmiş parçalarda da bu tam ergimemiş plastiğin ergimiş olanlara karışması sonucu bulutlu bir görüntü elde edilecektir. Bu özellikle şeffaf parçalarda kendini daha çok göstermektedir. Bulutlanmanın parça görünümünde olduğu kadar mekanik dayanımı üzerinde de olumsuz etkilerinin olacağı unutulmamalıdır.

Plastik parçaların gerilme modülünden de yola çıkarak proses parametreleri hakkında bir çok bilgi sahibi olunabilmektedir. Bu bilgilerle de üretim özellikleri ilişkilendirilebilmektedir[35].

Ergiyik sıcaklık kontrolünün bir önemi etkisi de bitmiş parça üzerindeki boyut hassasiyetidir. Bilindiği üzere katı maddeler ısıtıldıklarında belirli bir miktar genişler ve soğutulduklarında kendilerini çekerler. Plastikler içinde bu durum geçerlidir. Vida kovan sistemi içinde ısı etkisiyle plastik malzemeler genişler ve kalıp içinde soğuma etkisiyle de çekerler. Bu nedenle kalıplar imal edilirken bu çekme etkisi göz önüne alınarak bir miktar çekme payı ölçüsü de ilave edilerek daha büyük yapılır. Çekme payı her zaman aynı şekilde gerçekleşemez, dolayısıyla parça boyut hassasiyeti bazen farklılıklar gösterebilir, enjeksiyon parametrelerinin de bu çekme olayı

üzerinde önemli etkileri vardır. Çekme payını etkileyen en önemli parametrelerden birisi de hiç kuşkusuz ergiyik sıcaklığıdır.

Genel olarak söylemek gerekirse ergiyik sıcaklığı arttıkça çekme oranı da artış göstermektedir. Bunun en temel nedeni ısı etkisinin artması ile plastik moleküllerinin genişlemesidir. Isı arttıkça genişlemede artmakta ve hacim büyümektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta yapılan enjeksiyon işleminde kalıp boşluğuna normalden daha fazla genişmiş ergiyik gönderilmiş olacak ve parça soğuduğunda normalden daha fazla çekmiş olacaktır[1].

Bu da parçanın boyut hassasiyetini olumsuz yönde etkilemiş olacaktır. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta çekmenin fazla, düşük sıcaklıkta az olacağını söyleyebiliriz.

#### **II.2.2.2. Kalıp Sıcaklığı**

Ergimiş plastik enjeksiyon makinasının en son ısıtıcı bölgesi olan meme bölgesinden geçerek kalıba giriş yapar. Burada kalıbın ergiyik malzemeden aldığı ısıyı hemen transfer etmesi nedeniyle ergiyik hemen soğuma başlar. Kalıbın bu ısıyı absorbe etme hızı, plastiğin katılaşmaya başlayarak akışın durdurulmasından önce ne kadar uzağa gidebileceğinin göstergesidir. Her plastik parça kalıplanmadan sonra tasarımı ve malzemesine bağlı olarak belirli bir soğuma hızına ihtiyaç duyar. Bu soğuma hızı da ürün kalitesi üzerinde kritik rol oynar. Bu nedenle kalıp sıcaklık ayarı plastiğin soğuma hızına uygun olarak yapılmalıdır. Bu ayar genellikle kalıba açılan soğutma kanallarından sıcaklığı kontrol altında tutulan sıvı geçirerek yapılmaktadır.

Polimer üreticiler genellikle gerekli kalıp yüzey Sıcaklıklarını tavsiye ederler. İdeal olarak kalıp yüzeyindeki her noktanın sıcaklığı aynı olmalıdır.

Ancak pratikte bu tam olarak mümkün değildir. Bu nedenle hedeflenen kalıp sıcaklığından sapmalar mümkün olduğunca az olmalıdır. Kalıbın soğuk ve sıcak noktaları arasındaki farklılıklar mümkün mertebe düşük olmalıdır. Bu sıcaklık farklı soğutma kanallarının kalıp konstrüksiyonu ve dayanımı da göz önünde bulunarak, birbirlerine yaklaştırılması ile en aza indirilmelidir.

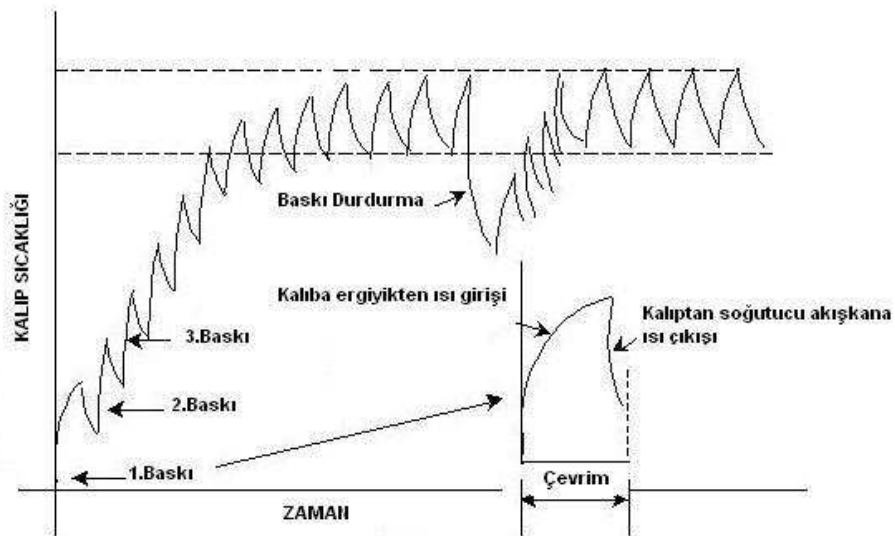
Masse, Bot, Arquis, Quilliet ve Delaunay [50] yaptıkları çalışmada, Plastiklerin hacim değişikliklerinde ısı değişimini sayısal olarak inceleyerek, enjeksiyon kalıp işlemi sırasında, polimer parçalar çekerek kalıp duvarlarından ayrılma ve yola çıkarak bunun hem parçanın şeklini hem de soğuma zamanını değiştirmeye yol açacak olan hava boşluklarına sebep olabileceğini ve dolayısıyla da termal temas dirençleri, artık gerilmeleri, ya da PVT diyagramı gibi anahtar parametreler hesaba

katılarak böyle bir polimer parçanın soğutulmasını araştırmış ve çiftli termomekanik yaklaşım kullanılarak, sayısal simülasyonun sonuçları, paralel olarak yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır.

Clements [17] enjeksiyon kalıbından çıkan çoğu parçanın tanımlanmasının daha önceden kullanılan 3D similasyon programları yerine başka bir similasyon programı kullanarak değişik kalınlıklara sahip parçalarında CAD (Compter Aidied Desing) datalarından yola çıkarak akış efektlerini doğru hesaplayarak bir çok defalar uğraşarak yaptığımız bazı testleri kolayca yapabilmektedir, mesela çarpılma gibi. Bilindiği gibi uniform olmayan sıcaklık dağılımları çarpılmaya sebeptir, biz bu programla kalıbın içindeymişiz gibi soğutma kanalları oluşturup termal similasyonu görebiliriz.

Bir plastik enjeksiyon kalıbında iki çeşit ısı transferi oluşur. Birincisi, ergimiş plastikten kalıp metal yüzeyine ısı girişi, ikincisi ise, kalıp metal yüzeyinden kalıbın içinde dolaşan soğutucu akışkana doğru ısı çıkışıdır.

Eğer kalıba ısı girişi, ısı çıkışından daha fazla olursa kalıp sıcaklığı her çevrimde giderek artış göstermeye başlayacak ve bu da parça kalitesinin baskıdan baskıya değişmesine yol açacaktır. Bu nedenle hedeflenen kalıp yüzey sıcaklığına ulaşıldıktan sonra ısı giriş ve çıkışın dengelenmesi gerekmektedir. Pratikte kalıp sıcaklığını zamana bağlı olarak sürekli aynı noktada tutmak mümkün değildir. Bu nedenle hedeflenen sıcaklığın üst ve alt noktalarındaki bir aralıkta kalıp sıcaklığının dalgalanması en iyi yöntemdir. Şekil II-11’de bu dalgalanma gösterilmeye çalışılmıştır[47,1].

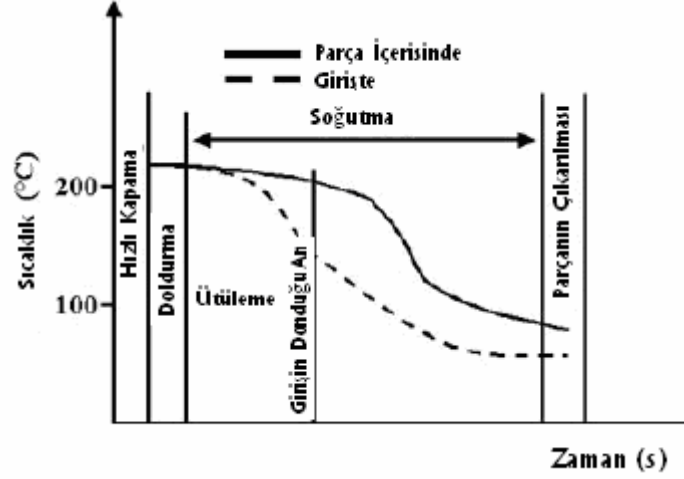


Şekil II-11 Kalıp sıcaklığının enjeksiyon baskısına göre değişimi

Samin, Kong, Tang, Sapuan ve Sulaiman [25] bir ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) deney parçası üzerinde termal artık gerilme analizindeki düzensiz soğutma testleri yapmış ve analiz elemanı programı olan Lusas Analiz versiyonu 13.5 kullanılarak geliştirilmiş ve çözülmüştür. Bu yazılım çevre alanının sıcaklık dağıtımını ve ayrıca plastik enjeksiyon kalıp döngüsü sıcaklık dağılımını zaman cevaplı eğrilerle belirlemiştir. Sonuçlar soğutma kanallarının yakınlarındaki bölgelerde diğer bölgelere göre daha çok çekme olduğunu göstermiştir. Bu kalıbın farklı bölgelerindeki düzensiz soğuma etkisi çarpılmaya neden olmuştur.

Kalıp sıcaklık kontrolündeki başarısızlıklar parçalarda gerilim farklılıkların, bozuk kesimlere, çökme izlerine, zayıf yüzey görüntüsüne ve kendini çekme oranlarındaki farklılıklara bağlı olarak boyut farklılıklarına neden olmalıdır. Düşük kalıp sıcaklıklarında yapılan enjeksiyonda kalıba giriş yapan ergimiş plastik katmanları hızla soğuma sürecine girerek birbirleriyle iyi birleşme sağlanamaz. Parçaların kalıptan çıkarılması ile de bu kaynamayan katmanların birbirlerinden ayrışması söz konusu olabilir. Bu da parçanın birleşme yerinden kırılmasına sebep olur[1].

Dimla, Camilotto ve Miani [34] çalışmalarında bir enjeksiyon kalıbındaki işlemlerin ana fazları doldurma, soğutma ve parçanın çıkartılması olduğunu incelemiş ve bir prosesde işlem maliyeti kalıbın çevrim süresine harcanan zamana bağlı olduğunu tesbit ederek, bu ana fazları incelemişlerdir. Yukarıda anılan 3 faz içerisinde en önemli faz soğutma fazıdır. Bu makalede uygun ve verimli soğutma kanallarının tasarımı enjeksiyon kalıp aracı ve termal ısı transferi analizi kullanılarak incelenmiştir. 3 boyutlu Cad modeli ile enjeksiyon kalıbının soğutma kanalı ve göz şekli uygun şekilde tasarım edilmiştir. Termal analiz ile yolluk girişi ve soğutma kanalının en uygun konumu incelenmiştir. Bu iki faktör kalıbın çevrim süresine katkıda bulunmaktadır eğer çevrim süresinde bir azalma işareti varsa bu faktörler optimizasyon edilir. Analiz edilen gerçek değerler göstermiştir ki tahmin edilen uygun soğutma kanalları çevrim zamanını farkedilebilecek biçimde azaltmıştır.



**Şekil II-12** Enjeksiyonda üretilmiş bir parçada sıcaklık izlenimi

Şekil II-12’de kalıp parçasına ait sıcaklık ve zaman eğrilerinin parça içindeki ve yolluk tarafındaki farklılıkları gözükmemektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi yolluk kısmı parça içinden daha çabuk donmaktadır.

Ayrıca Kalıp sıcaklık kontrolü aynı zamanda çevrim zamanına ve imalat ekonomisine olan etkileri içinde çok büyük önem arz etmektedir.

Çevrim zamanına etken bir diğer önemli nokta da yine ısı transferi ile doğrudan ilgisi olan kalıp çeliği malzemesinin seçimidir. Kalıp çeliği malzemelerinin bir görevinde ergiyikten almış oldukları ısıları dışarı atmaktır. Dolayısıyla plastik enjeksiyon kalıplarında çevrim sürelerini düşürmek ve fire oranlarını azaltmak için uygun çelik seçilmesi % 20 oranlarında tasarruf sağlayabilmektedir[54].

Li [55] yaptığı çalışma da kalıp plakalarının soğutulmasında var olan çoğu soğutma tasarımı sistemleri plastik enjeksiyon kalıplarının soğutma sistemi optimizasyonuna veya ayrıntılı analizine odaklanmıştır. Ancak soğutma sisteminin analizi veya optimizasyonundan önce temel bir tasarım geliştirilmelidir.

Çalışmada temel tasarım problemini çözmek amacıyla yeni bir sentez yaklaşımı yapılmıştır. Kompleks bir şekle sahip plastik parça oluşturulmadan önce daha basit bir şekil oluşturulmuştur. Bu makalede özelliklerin kabulü için soğutma sistemlerinde yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Tasarım örnekleri tasarım sentez prosesleri için C-Mold ile analiz edilmiş fizibilite yaklaşımları yapılmıştır.

Ferreira ve Mateus [37] yaptıkları çalışmada, son yıllarda kullanılan teknolojilerin özellikle plastik kalıp uygulamalarında soğutma sisteminin parça kalitesi yönünden (birleşme izleri çökmeler gibi) etkilerini minimuma indirebilmek

için PP ve ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) özellikli plastikler kullanılarak hızlı prototipleme ile basit ve ucuz kalıplar yapıldığını ve tüm denemelerin de bu ucuz kalıplar üzerinde yapmış ve olumlu sonuç almışlardır.

### II.2.2.3. Hidrolik Sistem Sıcaklık Kontrolü

Ergiyik ve kalıp sıcaklıklarından başka enjeksiyon makinasının hidrolik sistem sıcaklığı da dikkate alınması gereken ve sıcaklık meydana getiren bir parametredir. Birçok makinada hidrolik akışkan sıvısının sıcaklığı 30 °C ila 60 °C arasında değişen bir çalışma sıcaklığına sahiptir. Hidrolik akışkanın gereğinden fazla soğuk olması durumunda akıcılığı azalacak ve hidrolik sistemi elemanlarının daha yavaş çalışmasına neden olacaktır. Akışkanın gereğinden fazla sıcak olması ise akışkan özelliğini yitirecek, komponentlerin sıkışmasına, valf ve silindirlerin görevlerini tam olarak yapamamasına neden olacaktır. Her iki durumda ergiyik ve kalıp sıcaklıklarında olduğu gibi parça kalitesine direkt etkisi olmasa da enjeksiyon makinasının proseslerin gereği gibi yerine getirememesine neden olacağından, zamanla parça kalitesine az da olsa olumsuz etki etmeye başlayacaktır.

Enerji kaybı ve pompa verimi akışkanın viskozitesine bağlıdır. Bu nedenle enjeksiyon makinesinin bütün hareketleri yağ sıcaklığından etkilenir. Operasyon sıcaklığına ulaşılmadan harekete geçmeyi önleyen hareket kontrolü ve yüksek kalite gerektiren parçalar için yağ sıcaklığı kontrolünün yapılması gerekir. Tüm bu olumsuzlukların önlenmesi için enjeksiyon makinelerine monte edilmiş ısı eşanjörleri hidrolik akışkan sıcaklığını kontrol etmeye çalışırlar.

Bünyesinde nem barındıran bu granüllerin vida kovan sistemine girmesi ve ısı etkisinde kalması ile yeniden su buharı ortaya çıkmaktadır. Üretim sırasında ortaya çıkan su buharının plastiğin kararlılığını etkileyerek mekanik ve fiziksel özelliklerinin bozulmasına yol açtığı bilinmektedir. Bununla birlikte bitmiş parçaların yüzey kalitesi üzerinde de olumsuz birtakım etkileri vardır. Vida kovan sisteminde ortaya çıkan su buharı adeta ergiyik plastiğin içerisine his olmuş ve ergiyik ile birlikte hareket ederek kalıp boşluğunu doldurmaktadır. Bu nedenle enjeksiyon işlemi sonunda elde edilen ürünün kalitesi ön kurutmanın başarısıyla doğru orantılıdır.

Kurutmanın yapılmaması veya düşük sıcaklıklarda yapılması durumunda plastik içerisindeki nem uzaklaştırılmış olmamaktadır, Bunun parça üzerinde yaptığı iki temel olumsuz etkisi vardır. Bunlardan ilki parça yüzey kalitesi ile ilgili etkisidir. Genellikle yüzeyde kabarcık, harenleme. Gümüş çizikler oluşumu ile kendisini belli

etmektedir. Bu görüntü bozukluklarının olduğu bölgeler aynı zamanda kırılgen yapıya da sahiptirler. İkinci etki ise parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisidir. Tam kurutulmanın. Yapılmaması durumunda parça darbe dayanımında ve çekme dayanımında azalmalar olduğu ve ergiyik akışının zayıfladığı belirlenmiştir.

Tüm parametrelerin düzgün olarak ayarlandığı ve teknik açıdan kusursuz parçaların elde edildiği bir enjeksiyon prosesinde çalışma ortamındaki yükleme-boşaltma kapılarının açılması veya havalandırılması fanlarının devreye sokulması ile prosesin bozulmaya başlaması pek çok defa karşılaşılan bir sorun olmuştur.

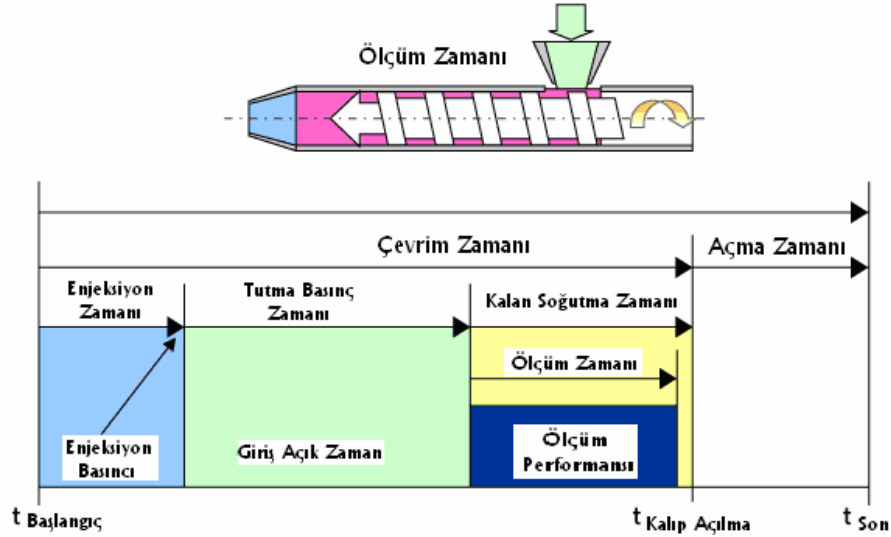
Bu olaylar enjeksiyon makinesini saran havanın sıcaklığını etkilediğinden ve bu da makine üzerindeki sıcaklık kontrol ünitelerinin okuma sonuçlarında farklılıklara sebep olduğundan birkaç saat süreyle proseste dengesizlikler oluşabilmektedir.

Bu nedenle mümkün olduğunca homojen ortam sıcaklıklarının sağlanması prosesin devamlılığı için önem arz etmektedir. Bu sebeple bie enjeksiyon işlemine başlamadan önce en az yarım saat makinanın ısınması ve yine düzgün bir parça alınabilmesi için de ortamın en az 2 saat kadar ısıtılması gerekmektedir.

### **II.2.3. Zaman**

- Enjeksiyon Zamanı
- Ütüleme Zamanı
- Soğuma zamanı
- Toplam çevrim zamanı

Enjeksiyon işlemi boyunca pek çok proses gerçekleşmektedir. Bunlardan bazıları birbirleriyle aynı anda yani paralel olarak gerçekleşirken bazıları da birbirlerini takip eden yani birinin bitip diğerinin başladığı süreçte yer almaktadırlar. Doğal olarak gerçekleşen bütün bu enjeksiyon proseslerinin ayrı ayrı süreleri vardır[1].



**Şekil II-13** Çevrim zamanı sıralaması

#### II.2.3.1. Enjeksiyon Zamanı

Enjeksiyon safhası, kalıba malzemenin dolmaya başladığı anla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Bu safha genelde hız kontrollü olarak gerçekleştirilir.

Yani helezon, malzemeyi 5 ile 10 basamak arasında değişen bir hız profili ile kalıba iter. Hız profili de diğer işlem parametreleri gibi malzemeye ve kalıba (yani parçaya) göre ayarlanmalıdır. Genelde malzemenin kalıba enjeksiyonu düşük bir hızda başlar, zamanı kısaltmak için hız arttırılır ve kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılır. Başlarken ve biterken enjeksiyon yapılan hızların düşük tutulması, kalıba herhangi bir zarar vermemek içindir. Her malzeme, makina ve kalıp (yani ürün) için bir optimal enjeksiyon zamanı aralığı vardır Bu zaman aralığı özellikle ekonomik sebeplerden dolayı çok önemlidir. Enjeksiyon zamanının çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olur. Çok uzun enjeksiyon zamanı ise, kalıp duvarına yakın eriyiğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur. Bu sebeplerden dolayı enjeksiyon zamanının minimum basınç değerlerini sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir.

Çıkan ürünün iyi kalitede olmasının şartlarından biri de kalıp içindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulmasıdır. Eğer enjeksiyon zamanı kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı

enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olabilir. Yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme, sıcaklığını artırır. Enjeksiyon zamanı uzun tutulursa da tam tersi meydana gelir, yani akış çizgisinin uç noktasının sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Oysa enjeksiyon sıcaklığıyla malzeme akış çizgisinin uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması ürünün boyutsal kararlılığı açısından önemli olup bunu sağlayan ortalama bir enjeksiyon zamanının olduğunu da hatırlatalım. Akış işlemi sırasında oluşan gerilmeler, mekanik özellikleri işlem şartlarına bağlı olarak kolayca değişebilen malzemelerin akıştaki bozulmasını önlemek amacıyla, akış çizgisi boyunca düşük ve sabit tutulmaya çalışılmalıdır[4].

#### II.2.3.2. Ütuleme Zamanı

Tutma basınçları safhasının en önemli yönü; uygulanan basınçlar sayesinde, soğumaya başlayan malzemede termal büzülme (çekme)den dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpıklıklara) engel olabilmek için, yolluk donuncaya kadar kalıba malzeme doldurulmaya devam edilmesidir. Tutma basınçları safhası, helezonun belirlenen bir konumundan itibaren başlar ve belirlenen bir süre için devam eder. Tutma basınçları enjeksiyon işlemi biter bitmez, malzeme daha tam soğumadan uygulanmaya başlamalıdır çünkü malzeme kalıp duvarlarına değdiği andan itibaren soğumaya ve hızlı bir şekilde donmaya geçer. Tutma basınçları safhası, basınç kontrollü olarak gerçekleştirilir. Bu da çoğu zaman helezonun 5 ile 10 arası basamakta, farklı değerlere sahip basınçlarla yüklenmesi anlamına gelir. Basınç değerleri ile basınç profili, kullanılan malzemeye, kalıba ve diğer işlem parametrelerine göre ayarlanmalıdır. Basınç profili, üretilecek parçanın büzülme ve yamulma davranışlarını optimize edebilmek için kullanılmalıdır. Enjeksiyondan tutma basınçları safhasına geçiş, ani basınç değişimleri olmaması ve dolayısıyla kalıbın aniden aşırı yüklenmemesi açısından büyük önem taşır[56].

Enjeksiyon safhasından tutma basınçları safhasına geçiş, pürüzsüz bir şekilde yapılmalıdır Kural olarak bu geçiş kalıbın hacimsel dolum işlemi bittiğinde yani kalıp boşluğu tam olarak dolduktan sonra yapılmalıdır. Eğer tutma basınçları safhasına geçiş çok erken olursa, bu safhada enjeksiyon işlemi devam eder ki bu durum basınç eğrisinde gözle görülür bir düşüşe sebep olur. Eğer geçiş çok geç olursa tutma basınçları safhasında ani bir basınç yükselmesi meydana gelir.

Bu durumda basınç düşmeye başladıktan sonra düşük miktarda malzeme yolluğa geri akabilir, oysa bu geri akış ürün üzerinde istenmeyen oryantasyonların oluşumuna neden olabilir. Genelde enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında ani basınç değişimleri istenmez çünkü ani basınç değişimleri kalıba veya ürünün kalitesine zarar verebilir. Enjeksiyondan tutma basınçları safhasına geçiş en yumuşak ve pürüzsüz şekilde ayarlanmalıdır

Tutma basınçları safhasına geçişin ana olarak üç şekli vardır:

- Zamana bağlı geçiş,
- Helezonun konumuna bağlı geçiş
- Basınca bağlı geçiş.

Basınca bağlı geçiş iki ayrı şekilde olmaktadır.

- Hidrolik basınca (makinanın yağının çalışma basıncına) bağlı geçiş.
- Kalıp boşluğunda eriyik malzemenin oluşturduğu basınca bağlı geçiş.

Zamana bağlı geçişte makinanın tutma basınçlarını uygulamaya geçmesi, başka hiçbir koşula bağlı olmaksızın, enjeksiyon işleminden belli bir zaman geçtikten sonra olur. Bu yöntem artık günümüzde esnek olmaması ve kalıpta oluşan ürünü dikkate almaması sebebiyle pek kullanılmamaktadır. Helezona bağlı geçiş, helezonun belli bir noktaya gelmesiyle tutma basınçlarının uygulanmaya başlanması şeklinde olur. u geçiş şekli, düşük miktarlarda malzeme takviyesi gereken durumlarda üründe küçük dalgalanmalara neden olması, valflerin tepki süresine veya malzemenin basınç eğrisine olumsuz yönde etki etmesi gibi bazı problemlere sebep olabilir Basınca bağlı geçiş de ya sistemin hidrolik basıncının veya ayrı bir basınç dönüştürücüsü ile ölçülen kalıp boşluğu basıncının belli bir değere ulaşmasıyla tutma basınçlarının uygulanmaya geçilmesi şeklinde olur. Kalıp boşluğundaki ölçülen gerçek basınç değeri, işlemi optimize etmek için de kullanılabilen önemli bir parametredir.

Kalıp boşluğu basıncına bağlı yapılacak geçişte, boşluğun basıncını ölçen transduserin kalıbın neresine yerleştirildiği önemlidir .Enjeksiyon işlemiyle ilgili en faydalı bilgilerin geçide yakın bir alanda toplanabilmesine rağmen, kalıbın dolma derecesini, dolayısıyla içinde oluşan basıncı ölçebilmek ve tutma basınçları safhasına geçişi belirleyebilmek için transduserin akış çizgisi ucuna yakın bir yere yerleştirilmesi daha faydalı olacaktır. Nitekim böylece geçide yakın yerlerde oluşması muhtemel sıcaklık ve basınç dalgalanmalarından da uzak kalınmış olur[4].

### **II.2.3.3. Soğuma Zamanı**

Soğuma zamanı ise direkt olarak parça kalitesine etki eden bir parametredir ve belki de en önemli zamandır. Soğuma zamanı tutma basıncı safhasından sonra kalıp içerisindeki ergimiş plastiğin katılaşarak kalıptan çıkarılabileceği kıvama gelene kadar beklenmesi için geçen süredir. Burada önemli olan katılaşma için yeterli sürenin beklenmesi değil asıl önemli olan kalıptan itici yardımıyla çıkarılabileceği rijitliğe ulaşılmasıdır. Zira parçalarda katılaşma başlamış olduğu halde yeteri kadar rijitliğe sağlanamamış olabilir. Enjeksiyon parçalarının soğumalarının yaklaşık %90 'lık bölümü kalıpta olurken geri kalan kısmı ise 24 saatlik bir süre içerisinde tamamlanmaktadır. Burada önemli olan kalıptaki parçanın yeterli donmuş kabuk kalınlığına sahip olmasıdır. Eğer bu sağlanmışsa kalıp dışındaki soğumanın parça üzerinde herhangi bir olumsuzluğu söz konusu değildir. Ancak yeterli kabuk kalınlığı sağlanamamışsa kalıp dışında çıkarken bir takım deformasyonlar oluşabileceği gibi soğuma esnasında da çekmeden kaynaklanan gerilimler parça üzerinde çarpılmalara, burkulma ve çatlaklara yol açılabilecektir.

Chen, Lam ve Li [32] çalışmalarında enjeksiyon proseslerinden soğuma zamanının plastik parça kalitesi üzerine olan etkilerini inceleyerek, enjeksiyon kalıplama işleminin soğutma zamanında parça üzerindeki gerilmeleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

### **II.2.3.4. Toplam Çevrim Zamanı**

Enjeksiyon işleminde meydana gelen tüm işlemlerin sürelerini içeren zamandır. Bu zamana cycle ve ya açma-kapama zamanı da denir. Bu genellikle çevrim içerisinde operatörün enjeksiyon makinesine ait kafes sürgüsünü kapatmasıyla başlayan ve bu işlemi tekrar yaptığı ana kadar olan süreyi belirtmektedir. Toplam çevrim zamanı bir ürünün üretilmesi için geçen sürenin tam olarak bilinmesinin tek yoludur. Bu sürenin parça kalitesi üzerinde doğrudan veya dolaylı etkileri olduğu kadar parça maliyetinin üzerinde de inanılmaz bir etkisi vardır. Toplam çevrim zamanı operatörün sürgüyü kapamasıyla başlayan bir süreçtir ve bu süreçte pek çok hareket bir arada gerçekleşmektedir.

Enjeksiyon prosesinde gerçekleşen sürelerin içerisinde bitmiş parça kalitesi üzerinde en çok etkisi olan toplam çevrim zamanı ve soğuma zamanlarıdır.

Berker, Barooah, Yoon ve Sun [20] yaptıkları çalışmalarında, plastik kalıplarında malzemenin ilerleme kontrolü ve parametrelerin model için kontrolü çok

büyük bir zorluktur. Bu modelin geliştirilmesi için Yolluk ağzı ve yolluk kanalları ayarlanarak akış değişimi dahili basınç ve akış hızı ile kontrol edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca uzman sistemler ve istatistiksel kontrol sistemleri ile birlikte basınç, sıcaklık ve hız sensörleri kullanılmıştır. Çevrim zamanı ve doldurma zamanı azaltılmıştır.

Toplam çevrim zamanının en önemli etkilediği parametre ısıl dayanımdır. Çevrim süresi ne kadar kısa olursa ısıl dayanımın riski de o kadar az olmaktadır. Uzun çevrim zamanları vida kovan sisteminde enjeksiyon için bekleyen ergimiş plastiğin daha uzun süre ısı ile temas etmesi ile yanma işlemi adını verdiğimiz olayın meydana gelmesi ile ısıl dayanımının bozulması riski artmaktadır[1].

Ayrıca plastik kalıp çekirdeği malzemeside ısı iletim özelliğinden dolayı toplam çevrim zamanına etki eden parametrelerden biridir[30].

#### **II.2.4. Hız**

Enjeksiyon proseslerinde hız parametresinin parça kalitesi üzerine bilhassa estetik yönden oldukça önemli etkisi vardır. Malzeme özellikleri ve işlem verimliliği üzerinde de çok önemli etkileri olduğu bilinmektedir.

Bu çok önemli etkilerine rağmen enjeksiyon proseslerinin genelinde hız özelliklerine pek dikkat edilmemesi bu etkenin yeterince iyi bilinmemesi kalitesiz parça üretimine yol açmaktadır.

Enjeksiyon prosesinde üç temel hız etkili olmaktadır. Bunlar

- Enjeksiyon hızı,
- Vida dönüş hızı,
- Vida dönüş geri hızıdır.

##### **II.2.4.1. Enjeksiyon Hızı**

Diğer bir deyişle, enjeksiyon vidasının eksenel yöndeki hızı enjeksiyon safhasında etkili olan hızdır. Bu hızın işlem üzerindeki etkilerinin anlaşılması için önce ergimiş plastiğin akış konumundaki durumunu incelemek gerekir.

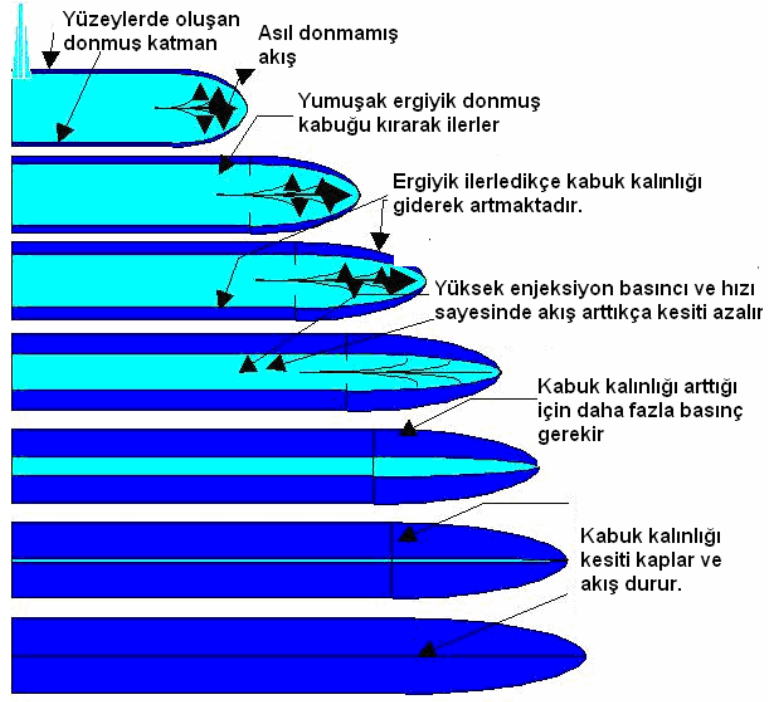
Enjeksiyon işlemi sırasında ergiyik kendisinden daha soğuk olan kalıp yüzeyi ile temas etmeye başladığında, yüzey ile temas eden bölgelerde kısmen donmuş veya donmakta olan katmanlardan oluşan bir kabuk meydana gelir. Bu kabuk, kalıp plakaları gravür yüzey sıcaklıkları, ergiyik sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip oldukları için her iki kalıp plakası yüzeyinde oluşur.

Ergimiş plastik ayarlanan enjeksiyon hızında akışını sürdürdükçe oluşan kabuk giderek kalınlaşmaya ve sertleşmeye başlar. Sertleşen ve kalınlaşan bu kabuk enjeksiyon akışını durdurmadan önce ergimiş plastik kalıp boşluğunu tamamen doldurmuş olmalıdır. Bu nedenle akışın kabuk tarafından bloke edilmesinden önce ergimiş plastiğin hareketi için yeterli enjeksiyon hızına ihtiyaç vardır. Akış oranı arttıkça (akma uzunluğunun cidar kalınlığına olan oranı) enjeksiyon hızının da artması gerekmektedir. İnce cidarlı parçalarda soğuma hızının yükselmiş olması enjeksiyon hızının da artması gerekliliğini ortaya koymuştur[1].

Düşük enjeksiyon hızlarında kalıp doldurulması işleminde ise kabuk kalınlığı daha hızlı artacağından gerçek akış kesiti hızla azalacaktır ve bu da akışa karşı çok güçlü bir direnç oluşturacaktır. Oluşan bu yüksek direnci yenerek enjeksiyon yapmak içinde daha yüksek enjeksiyon basınçlarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu da bitmiş ürünlerde hiç istenmeyen artık gerilmeler kalmasına yol açacaktır. Parça içerisinde kalan artık gerilmeler de o parçanın mekanik dayanım değerleri üzerinde önemli rol oynayacaktır.

Enjeksiyon kalıpcılığında plastik parçaların kalıp tasarımı, üretimden yapıya, ergonomiden estetik gereksinimlere kadar geniş bir alanın maliyet ve hızını ilgilendiren karışık bir işlemdir. Bir tasarımcı tarafından bir parçada kalite tasarımı yaparken karşılaşılan alışılmış sorunlardan biri göz dengelemesi işlemidir.

Seow ve Lam [19] yaptıkları çalışmada, enjeksiyon aşamasında plastik akışını geciktirerek, ergimiş plastiğin kalıbın ön kısımlarına aynı anda ulaşılmasını sağlamanın ancak çeşitli bölgelerin kalınlığını ayarlamakla yapılması gerektiğini ve kalıp gözünü dengelemek için gerekli kalınlığı oluşturmak böylece bu çalışmada hataları önleyici bir işlem olduğu vurgulamaktadır.



**Şekil II-14** Enjeksiyon akışında ergiyiğin kabuklaşması

Enjeksiyon Akışında Ergiyiğin kabuklaşması;

Aslında ergiyik enjeksiyon girişinde silindirik yolluk şeklinde bulunmaktadır. Enjeksiyonda- kalıp girişinde ergiyik kalıbın içine farklı yönlerde dağılır. Kalıbın içindeki ergiyiğin düzenli bir şekilde donması için, tüm ergiyiğin kalıbın içine sabit hızla yayılması gerekmektedir. Ergiyik yolları eğer engeller varsa ya da farklı hızlarda hareket ediyorsa birkaç bölünebilir ve farklı hızlara sahip olabilir.

Akış yüzeyi hataları, genellikle serbest yüzey yakınında kalıbın doldurulmasındaki akış dengesizliğinden kaynaklanmaktadır[21].

Hız şunlardan dolayı farklılık gösterebilir;

- Kalıp çekirdeğinden kaynaklanan ve akışın bozulmasından dolayı ergiyikteki kesit alanlarının farklılığı (delikler veya akış önünü kesen parçalar)
- Duvar kalınlığındaki farklılık
- Yüzey ısısındaki farklılık

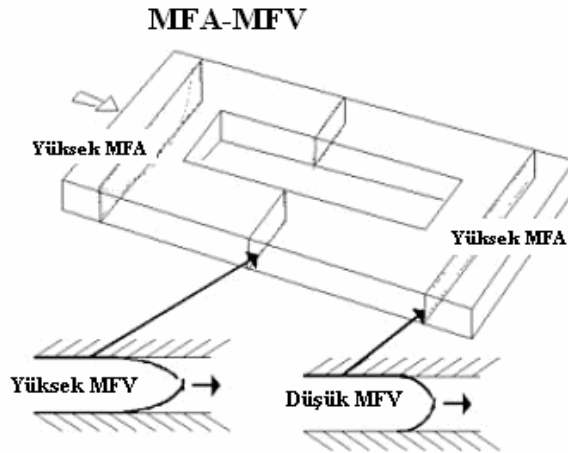
Ergiyik yayılmasındaki kesit alanı ve ya akışın konumu, ergiyiğin kalıptan geçişteki akış geometrisine bağlı olarak değişmeye devam eder.

Bundan dolayı ergiyik akış konumu veya bir başka deyişle ergiyik akış alanı MFA(Melt Front Area ) ergiyiğin akış konumunu oluşturan ergiyiğin geçtiği kalıptaki kesit alanı, ergiyiğin kalıptan geçiş süresince değişir.

Kolay erimesi istenildiğinden enjeksiyonla kalıplama sisteminde kullanılacak polimerlerin, yüksek erime akış indeks değerinde ( $MFI=6-15$ ) olması tercih edilmektedir. Erime akış indeks değeri düşük olan polimerlerin enjeksiyon sisteminde kullanılması kalıbın iyi doldurulması ve enjeksiyon sistemi zorlanması sonuçlarına yol açar veya işleme için gerek duyulacak enerjinin fazlalığı ve zamanın uzunluğu nedeniyle işlem ekonomisini yitirebilir. Kalıp tasarımında plastiğin akış uzunluğunun bilinmesi, kalıbın dolup dolmayacağı tahmin için önemlidir. Enjeksiyon parametrelerinin değerleri arttıkça akış uzunluğu artmıştır[22].

Plastik parçaların enjeksiyon yöntemi ile üretilmeleri sırasında, kaliteli bir üretimin sağlanabilmesi için ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki gerçek akış davranışı çok iyi bilinmelidir. Enjeksiyon yönteminde, enjeksiyon parametrelerinin ergimiş plastiğin kalıp boşluğundaki akış biçimine etkisi araştırılmalıdır[23].

MFV (Melt Front Velocity) ergiyiğin akış hızı, MFI'ya bağlıdır ve enjeksiyon hızını makine üzerinde ayarlanır. Bundan dolayı ergiyik hızının ve konumunun belirlenmesinde enjeksiyon hızının birçok adımlarda ayarlanması gerekmektedir.



**Şekil II-15** Ergiyikte akış karakteristiği

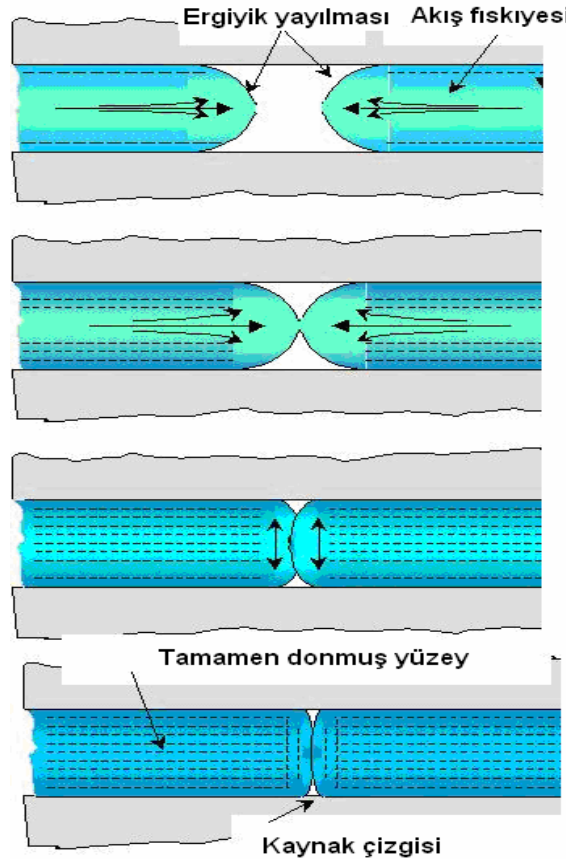
Şekil II-15’da görülebildiği gibi, MFV yani ergiyik hızı bir delik çevresinde ilerlerken bölündüğünde artar ve MFA bu geçiş esnasında düşer.

MFV’deki bu artış yüzey gerilmelerine ve çarpılmalara sebebiyet verir. Bundan dolayı enjeksiyon hızı düşürülmelidir. Kalıptaki sabit ergiyik akışını iyileştirmek için, değişen kesit alanlarının doldurma aşamasında ergiyik akışını hesaplamak lazımdır. Manuel olarak, enjeksiyon vida hızının lineer hareketinde gereken hesapları yapmak çok zordur.

Bu tür bir hesabı en iyi Moldflow analiziyle yapılır. Bu program bize enjeksiyon hızın optimizasyonunu yapmaktadır. Çok fazla akma durumunda, ergiyik geometrik olarak merkezi pozisyonda yerleştirilmiş yolluktan dengelenmiş tarzda hareket eder.

Ergiyik yoluklardan akarak yayılır ve kesit alanlarına göre dereceli olarak artar. Bundan dolayı makinede sabit bir enjeksiyon hızı ayarlanmıştır, ergiyik yolu hızı da o doldukça düşer. Akış, makinede ayarlı olan enjeksiyon hızına ve donmanın kalıp içerisinde geçen soğutma suyunun hızı ile giriş sıcaklığına da bağlıdır. Unutmamalıdır ki, ergiyik hareket ettiğinde donar. Donma, kalıp soğutması etkisi altında zamana bağlıdır. Kalıbın tam dolması enjeksiyon oranının yeteri kadar yüksek olmasına ve donma etkisine bağlıdır[47].

Enjeksiyon Kalıplamada Birleşme Çizgileri:



**Şekil II-16** Ergiyiklerin birleşmeleri ve kaynak çizgisi

Şekil II-16’de görüleceği gibi iki farklı ergiyik kolunun birleşmesi esnasında adeta “V” şeklinde boşluklar oluşmaktadır.

İki ergiyik kolu kalıp içerisinde ilerledikçe basınç ve sıcaklıklarından önemli ölçüde değer kaybettiklerinden bu iki kolun buluşması esnasında kolların birbirlerine tam olarak kaynamaları söz konusu olmamaktadır. Bu nedenle kaynak izleri bu şartlar altında sürekli var olacaktır. Ancak burada önemli olan bu iki kolun birbirlerine ne oranda kaydığıdır. Çünkü parçanın dayanımı üzerinde etkili olan bu kaynak bölgesinin dayanımıdır.

Enjeksiyon hızının buradaki rolü iki ergiyik kolunun birleşmesini (karşılaşmasını) hızlandırmak veya yavaşlatmak suretiyle ortaya çıkmaktadır. Yüksek enjeksiyon hızında bu iki kol daha çabuk karşılaşır ve yeterli sıcaklığa ve basınca sahip oldukları için daha iyi bir kaynama sağlanacaktır. Düşük enjeksiyon hızında ise ergiyik kolları daha geç karşılaşacak ve doğal olarak da kaynama yeterince iyi olmayacaktır[47,1].

Polimerik malzemeler mikrokanallarda farklı makro geometrilerde akarlar. Enjeksiyon kalıbı proseslerinde mekanik özellikler ve mikro yapılar en önemli özelliklerdendir. Kaynak hattı genelde çoklu yolluk girişinden, değişken kalınlık nedeniyle, engebeli kısımlarda meydana gelir. Kaynak hatlarındaki dayanım kaybını azaltmak için malzeme bileşimi, kalıp tasarımı ve proses şartlarında yapılacak değişiklikler olumlu sonuçlar verir[39].

Yüksek enjeksiyon hızlarının yüksek kayma hızlarına neden olması sebebiyle kayma gerilmesinin artmasına yol açması ve bu kayma gerilmesinin de moleküler oryantasyona yol açtığı bilinmektedir. Dolayısıyla enjeksiyon hızı arttıkça enjeksiyon doğrultusundaki oryantasyonda artacaktır.

Moleküler uyumun parça mekanik dayanımı üzerinde çok önemli etkileri vardır: Mekanik dayanımın uyum doğrultusunda daha büyük, dik doğrultuda ise daha düşük olduğu görülmektedir. Enjeksiyon hızı uyumu etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

Enjeksiyon hızının artması moleküler uyumu arttırmakta ve mekanik dayanımı da bir yere kadar arttırmaktadır. Unutulmaması gereken konu ise hızın gereğinden fazla artması durumunda parça içerisindeki gerilimlerin gereğinden hızla artması söz konusu olacaktır ve bu durumda parça mekanik dayanımı üzerinde olumsuz etkileri olacağıdır[36,1]

Bilhassa PP (Polipropilen) ve PE (Polietilen) gibi plastikler üzerinde yapılan birçok araştırmada kaynak çizgileri ihtiva eden bir ürünün çekme, kopma ve çentik darbe dayanımlarının %20 azaldığı görülmüş, hatta çeme testlerinde ise % 50 ye

varan kırılmalar gözlemlenmiştir. Hatta PS (Polistren) ve PC (Polikarbonat) plastik malzemeler üzerinde yapılan çekme deneylerinde ise, kaynak çizgisi olmayan ürünlerin kaynak çizgisi olanlara göre 4-5 kat daha fazla dayandıkları görülmüştür[58].

#### **II.2.4.2. Vida Dönüş Hızı**

Enjeksiyon işleminin biterek parçanın soğumaya bırakılması ile birlikte enjeksiyon vidasının bir sonraki baskı için besleyiciden yeni plastik partikülleri (granülleri) alarak vida kovan sistemi boyunca ileriye göndermesini dönme hareketi ile yaptığı bilinmektedir. Enjeksiyon vidası bu dönüş hareketini belirli bir hızla yapılmaktadır. Bu hız vidanın çevresel hızı veya dakikadaki dönüş sayısı şeklinde elde edilmektedir.

Günümüzde vida dönüş hızı enjeksiyon makinesine bağlı bir parametre olarak kabul edilmekte ve bu nedenle pek çok enjeksiyon makinesinde vida dönüş hızının ölçülmesi, değerinin değiştirilebilir olması söz konusu değildir. Ancak vida dönüş hızının ergiyik kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğu da bilinmektedir.

Önceki bölümlerde ergitme için gereken ısının enjeksiyon işleminde iki farklı kaynaktan elde edildiğine değinmiştik. Bunlardan ilki ısıtıcı bantlardan elde edilen elektrik enerjisi diğeri de vida kovan sisteminde sürtünme kaymalara bağlı oluşan mekanik enerjydi, Mekanik enerjinin oluşumunu etkileyen en temel parametre ise vida dönüş hızıdır. Polimer malzemeler sahip oldukları yüksek viskoziteler nedeniyle vida dönüşü ile birlikte kovan ve vida çeperi ile yaptıkları sürtünmeler ve kendi içlerinde meydana gelen kaymalar, oldukça yüksek ısıları açığa çıkarmaktadır.

Vida dönüş hızının gereğinden fazla artması durumunda polimerin ısıl dayanımı sınırının aşılması bozulma ve yanma olaylarının gündeme gelmesi söz konusu olacaktır. Bu durumda makineye bağlı soğutucu sistemlerinin devreye girerek bozulma ve yanmaya karşı önlem alması gerekmektedir. Bu nedenle maksimum ergitme oranlarını sağlamak için kovan ısı profilinin vida dönüş hızını da dikkate alarak çok iyi dengelenmesi gerekmektedir.

Düşük vida hızlarında çalışıldığı durumda kovan sıcaklığının artırılması ile ergime oranının artmaktadır. Çünkü düşük vida hızlarında ergitme için gerekli ısının büyük bir bölümü kovan ısıtıcılar tarafından sağlanmakta ve kovan sıcaklığının artırılması ergitmeyi arttırmaktadır. Yüksek vida hızında ise kovan sıcaklığının artırılması ergitmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun en temel nedeni ise artan

kovan sıcaklığının viskoziteyi düşürmesi ve buna bağlı olarak viskoz ısının düşmesidir.

Vida hızının parçalarda ergitme oranı ile olan etkisinden başka bir diğer etkilediği önemli konuda renklendirilmiş parça imalatında ortaya çıkan renk karışımları problemidir. Parça üzerinde renk değişimleri ve koyu çizgiler şeklinde ortaya çıkan bu soruna yol açan pek çok faktör olmakla birlikte bunların en önemlisi yüksek vida hızıdır.

Plastiğin renklendirilmesi işlemindeki esas amaç renk konsantresini granül masterbatch şeklinde boya, toz boya veya sıvı renklendirici elemanını ana granül içerisine üniform ve homojen olarak karıştırabilmektir, Yüksek vida hızlarının bu karışımın homojen yapıda olmasına izin vermediği görülmektedir.

Bunun nedeni olarak da renklendirici maddelerle ana granülün birbirleriyle homojen bir kaynaşma sağlayacak kadar zamanı bulamaması görülmektedir. Bu nedenle düşük vida hızlarının daha üniform yapıda karışım elde edilmesinde daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

#### **2.a. Vida Geri Dönüş Hızı (Mal Alma)**

Vida geri dönüş hızı enjeksiyon işleminde mal alma prosesi esnasında enjeksiyon vidasının aksenal doğrultuda enjeksiyon stroku boyunca sahip olduğu hızdır. Mal alma işlemi esnasında enjeksiyon vidası dönüş hareketi ile kovan sisteminin meme kısmına yeni plastik granüllerini ergiterek taşımakta ve sıkıştırmaktadır. Sıkışmakta olan ergimiş plastiğin basınca ayarlanmış olan geri basıncı değerini aştığında ise vida geriye doğru itilmeye başlar. Bu itme hareketi neticesinde de vida geriye doğru belirli bir hız değerinde hareket eder. Vidanın bu geri dönüş hızını ise makinenin ayarlanmış olan geri basıncı değeri belirlemektedir. Bu nedenle vida geri dönüş hızı ile geri basınç değeri birbirlerinden ayrılmaz iki parametredir ve enjeksiyon makinelerinde bu iki parametreden birisinin ayarlanabilir olması söz konusudur.

Geri basıncının artması geri dönüş hızının azalmasına yol açmaktadır. Bu da geri dönüş süresini yani mal alma zamanını attırmaktadır. Mal alma işleminde geri basıncı değerinin ( veya vida geri dönüş hızı değerinin ) basılan parçanın homojen yapıda olmasında, parça ağırlığında, yoğunluğunda ve görünüşünde bir istikrar yakalanmasında önemli bir rolü vardır. Bu nedenle vida geri dönüş hızı çok iyi tespit edilmelidir. Gereğinden yüksek seçilen hız değerleri mal alma zamanını çok

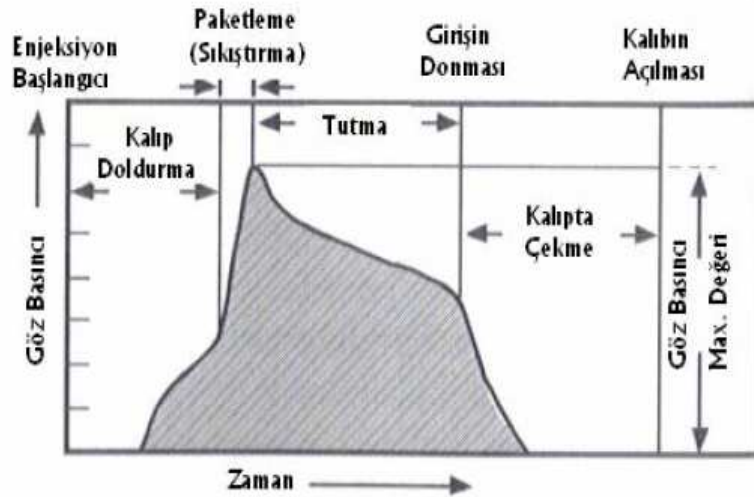
azaltacak, plastik hammadde vida kovan sistemi içinde enjeksiyona hazır hale gelmek için yeterli süreyi bulamayacak, yeterince iyi bir ergitme sağlanamayacak ve buna bağlı olarak üretilen parçanın yoğunluğu istenen seviyede olamayacaktır. Gereğinden düşük seçilen hız değerinde ise mal alma süresi uzayacaktır.

Bu da hammaddenin gereğinden fazla süre ısı etkisi altında kalmasına yol açacak ve ısıl dayanımı aşıl原因 malzemelerde bozulma ve yanmalara yol açılacaktır. Bu nedenle geri basıncı ve vida geri dönüş hızları birbirlerine bağlı olarak polimerin yapısal ve termal özelliklerine göre tespit edilmesi şarttır.

Mal alma işlemi enjeksiyon işleminde enjeksiyondan hemen sonra parça kalıp içerisinde soğumaya bırakıldığında gerçekleşen bir işlemdir. Bu nedenle mal alma işleminin hızının toplam enjeksiyon çevrim süresi üzerinde pek bir etkisi yoktur.

Kalıp plakalarının kapalı ve parçanın ayarlanan bekleme süresi kadar bekleme konumunda olması nedeniyle mal alma hızının yükseltilerek zamandan tasarruf edilmesi pek mümkün değildir. Ancak soğuma süresinden yararlanılarak pratikte mal alma süresinin tespiti ile ilgili bazı uygulamalar vardır[1].

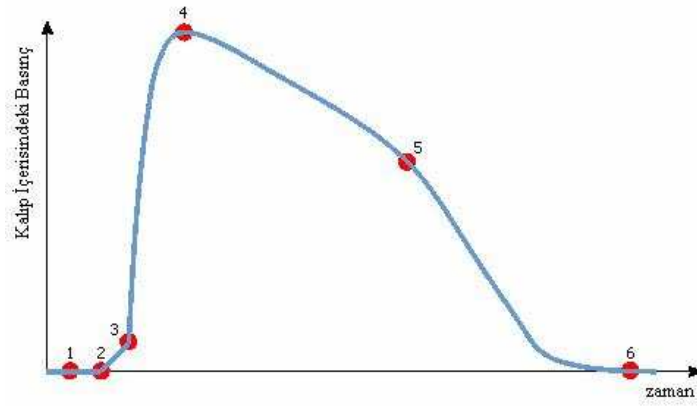
#### II.2.5. Plastiklerin Zaman, Basıncı Ve Sıcaklık Etkilerine Göre Hareketi



Şekil II-17 Amorf ve yarı kristal hammaddeler için basınç- zaman grafiği

Şekil II-17’de anlaşılabacağı üzere ergiyik malzemenin kalıp içerisindeki hareketleri zamana göre oldukça değişim göstermektedir.

Şekil IV-18’de ve Tablo II-3 ‘de bu değişimlerin açıklamaları yapılmıştır[56].



**Şekil II-18** Plastiğin kalıp içerisindeki hareketleri ve sonuçları

**Tablo II-3** Enjeksiyon proses aşamalarının parça kalitesi üzerine olan etkileri

| Pozisyon       | Grafikteki noktaların açıklaması           | Prosesteeki olaylar                                                                   | Eriyiğin enjekte edilmesi                 | Malzemenin değişim ve kalıplama üzerindeki etkileri                                                                                                                                                                               |
|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | Enjeksiyon başlangıcı                      | Hidrolik basıncın artışı vidanın ileri hareketi                                       |                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1 ... 2        | Eriyiğin göz boşluğuna enjekte edilmesi    | Kalıp göz basıncı = 1 bar                                                             |                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2              | Eriyiğin sensöre ulaşması                  | Basıncın artmaya başlaması                                                            |                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2... 3         | Kalıp gözünün eriyik ile dolmaya başlaması | Akış direncine bağlı olarak doldurma basıncı                                          | Eriyiğin lineer olarak enjekte edilmesi   | <input type="checkbox"/> Yavaş Doldurma<br><input type="checkbox"/> Ani basınç yükselmesi yok<br><input type="checkbox"/> Düşük iç gerilme                                                                                        |
|                |                                            |                                                                                       | Eriyiğin Kademeli olarak enjekte edilmesi | <input type="checkbox"/> Hızlı Doldurma<br><input type="checkbox"/> Malzemenin Bozulması<br><input type="checkbox"/> Ani basınç yükselmesi<br><input type="checkbox"/> Yüksek İç Gerilim<br><input type="checkbox"/> Çarpılma     |
| 3              | Kalıp gözünün volumetrik olarak dolması    | İdeal hacim-basınç sıkıştırması                                                       |                                           | <input type="checkbox"/> Kontrollü Doldurma<br><input type="checkbox"/> Aşırı basınç olmaz                                                                                                                                        |
| 3... 4 (... 5) | Eriyik sıkıştırılması                      | Plastiğin Hacimsel Çekmesinin Dengelenmesi                                            | Eriyiğin lineer olarak enjekte edilmesi   | <input type="checkbox"/> Yavaş Sıkıştırma<br><input type="checkbox"/> Ani basınç yükselmesi yok<br><input type="checkbox"/> Düzgün Geçiş<br><input type="checkbox"/> Düşük İç Gerilme<br><input type="checkbox"/> Vakum Tehlikesi |
|                |                                            |                                                                                       | Eriyiğin kademeli olarak enjekte edilmesi | <input type="checkbox"/> Hızlı Sıkıştırma<br><input type="checkbox"/> Ani Basınç Artışı, aşırı Enjeksiyon Basıncı<br><input type="checkbox"/> Yüksek İç Gerilim<br><input type="checkbox"/> Çarpılma                              |
| 4              | Maksimum göz basıncı                       | Enjeksiyon basıncının sabitliği, malzemenin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi |                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4... 6         | Basıncın devamlı azalma                    |                                                                                       | Amorf Plastikler                          | <input type="checkbox"/> Basınç zamanını uygun tutma<br><input type="checkbox"/> Optimum proses                                                                                                                                   |

|   |                                         |                                                                   |                                               |                                                                                                                                   |
|---|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Basıncın gözle görülür şekilde azalması | Plastiğin katılaşması                                             | Yarı Kristal Plastikler                       | <input type="checkbox"/> Basınç zamanını uygun tutma<br><input type="checkbox"/> Optimum proses                                   |
|   |                                         | Malzemenin geriye doğru akışı (Göz dışındaki kısımların dolması)  | Amorf Plastikler veya Yarı Kristal Plastikler | <input type="checkbox"/> Çöküntü İzleri<br><input type="checkbox"/> Basınç Zamanını Çok Kısa Tutmak Yolluk ağzından göze akış yok |
| 5 | Akışın bitiş noktası (yolluk ağzı)      | Yolluk ağzında eriyik katılaşması (Göz içine akış yok)            |                                               |                                                                                                                                   |
| 6 | Çekme prosesinin başlangıcı             | Önemli kriterlerin denetlenmesi ve ölçü stabilitesinin sağlanması |                                               | <input type="checkbox"/> Dalgalanma normal olarak ölçü değişimini gösterir                                                        |

Bu sonuçlara göre özet olarak iki ana düşünce açıkça kendini belli etmektedir: Bu duruma göre parça kalitesi için her şeyden önce en önemli olan ince duvarlı parçalarda max. göz basıncı ve kalın duvarlı parçalarda ise uzun enjeksiyon zamanı ve enjeksiyon basıncıdır[42,5].

### II.3. BASINÇ VE SICAKLIKLARIN KALIP İÇERİSİNDEN SENSÖRLERLE ÖLÇÜLMESİ

Kazmer[33] yapmış olduğu çalışmada, Enjeksiyon kalıplarının çok karmaşık ve zor parçaların üretiminde kullanılabileceğini ve plastik enjeksiyon yöntemi farklı aşamaları bünyesinde bulundurduğunu ve bunların da; plastiği ısıtmak, enjeksiyon, paketlenme, soğutma ve parçanın çıkarılması işlemleri olduğunu vurgulamıştır. Üretilen plastik parçaların kalitesinin enjeksiyon kalıp şartlarının dinamik olmasının etkileyeceğini belirterek enjeksiyon parametrelerinin kontrolü kolay olmadığını ve polimerik malzemelerin de lineer olmayan davranışlar gösterdiğini belirtmiştir. Bu makalede aksiyometik kalıp proseslerinin enjeksiyon parametrelerini kontrol edebilme kabiliyeti araştırılmıştır. Sonuç olarak tek ve çok gözlü kalıplarda göz basıncı kontrolünün parçanın kalitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Dinamik sıcaklık kontrolü ile de enjeksiyon performansı artırılmıştır.

Günümüzde birçok sektörde kullanılan plastik parçaların imal edilmesi diğer malzemelerden yapılmış parçaların imal edilmesine göre daha ucuz, daha hızlı ve daha kolay olmasına nazaran çeşitli yönlerden her zaman bir kararlılık gösterememiştir. Plastik parça imalatında ölçü standartlığı, estetik ve kalite yönünden kararlı bir üretimin sağlanması gerçekten kolay ve her zaman mümkün olamamaktadır.

Plastik parça üretiminde her zaman bir problem olan bu kararsız parça yapısına sahip üretim; yani her üretimde aynı özellik ve ölçülere sahip parça üretilmemesinin birçok olumsuz etkilerini zaman zaman çeşitli mühendislik uygulamalarında da görebiliyoruz[59,5].

Kalıbın tek gözlü veya çok gözlü olması halinde kalıbın enjeksiyon makinasına her bağlanmasında, bir evvel ki bağlanışında kalite kontrol uzmanları tarafından estetik, ölçüsel ve fonksiyonel özelliklerinin kabul edilerek okey verdiği parçayı oluşturan enjeksiyon makinasının baskı değerlerin ( ki bunlar; enjeksiyon basıncı, mengene kapama basıncı, tleme basıncı, soğuma zamanı, enjeksiyon ocak sıcaklıkları, kalıp sıcaklığı vb. gibi değerlerdir) set edilmesi yani enjeksiyon makinasının elektronik kumanda paneli yardımıyla hafızasına kaydedildiği bu değerlere göre yeni yapılan baskılardan çıkan plastik parçalar yine aynı kalite kontrol uzmanları tarafından gerek estetik, gerek fonksiyonel, gerekse de ölçüsel olarak tutmadığı defalarca yapılan denemelerde gözlemlenmiştir.

Wei, Wu ve Ho [43] çalışmalarında enjeksiyonla kalıplamada bir çok malzeme üzerinde yapılan araştırmalarda enjeksiyon basıncı ve tleme zamanının basılan parçaların özelliklerini küçük de olsa etkilediklerini göstermiş ve bilhassa enjeksiyon basıncının kalıp gözlerinde dahada arttığını ve bunun da kütlesel, boyutsal ve ekmelerde hammadde spektlerinden farklı miktarlarda olduğu gözlemlenmiştir. Kötü yapılan enjeksiyon kalıp tasarımlarında da göz basınçlarında çok kayıplar olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, bir plastik dişli üretiminde her zaman ölçülerin aynı olması istenir, fakat gerek hammadde akışkanlığının değişmesi, makine fonksiyonlarının farklılaşması gerekse enjeksiyon baskısının ve sıcaklıklarının değişimlerinden dolayı böyle hassas bir parçayı her zaman aynı kararlılıkta (estetik, ölçüsel veya fonksiyonel olarak) imal edilemeyebilirler. Plastik hammadde, plastik kalıbı ve enjeksiyon makinesi arasında bulunan ilişkiden dolayı bunlar gibi birçok problemler meydana gelmektedir.

Kalıp gözü içerisinden ölçülen basınç ise parçanın boyutsal değerlerini ulaşılması gereken hedef değerlere taşımak için ideal bir yöntemdir[48].

Bu tür problemleri sıralayacak olursak;

Estetik problemler

- İmalat parçasının doldurmaması, dolayısıyla eksik baskı çıkması
- Kalıbın fazla mal alması ve apak oluşması
- İmalat parçasında oluşan çöküntü gibi estetik ve fonksiyonel olaylar

- İmalat parçasında oluşan soğuk birleşme izleri
- İmalat parçasında oluşan gaz izi, yüzeyde akış lekeleri

#### Ölçüsel problemler

- Ölçü stabilitesinin sağlanması,
- Parçanın aşırı çekmesi (büzülmesi),
- Plastik parçanın ölçü toleransları dışına çıkması
- Parçanın az çekmesi (büzülmesi) den dolayı

#### Fonksiyonel problemler (Baskıda oluşan problemler)

- Çok gözlü kalıplarda her kalıp gözünün gerek estetik, gerek fonksiyonel gerekse ölçüsel olarak birbirlerinden farklılık göstermeleri.

Aynı zamanda hava şartları, hammaddenin özelliklerinin farklılığı ( nem, sıcaklık), operatör özellikleri (değişiklikleri), helezon aşınması, voltaj düşmesi ile oluşan ısı değişiklikleri ve basınç farklılıkları bu farklılaşmaya büyük etkenlerdir. Dolayısıyla kalıbın her kullanımındaki enjeksiyon makinesinin elektronik kumanda panelindeki set edilmiş değerlerinin aynı olması kalıptan çıkan plastik parçaların estetik, ölçüsel ve fonksiyonel farklılık göstermesini engelleyememektedir[5].

Plastik parçaların imalatı esnasındaki bu tür problemlerin ortadan kaldırılması için günümüzde çeşitli iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sebeplerden ötürü plastik kalıbının her baskısında ortaya çıkan parça veya parçaların ölçüsel, estetik ve fonksiyonel özelliklerinin aynı seviyede tutulabilmesi ve kararlı bir baskıya sahip olabilmesi için plastik kalıplarının enjeksiyon makinesinde optimum çalışma şartlarını çok hassas bir şekilde sağlamamız gerekir[41,42].

Şimdiye kadar kullanılan birçok akış programında yapılan akış simülasyonlarının göz içinden ölçü alınamadığı için gerçeği yansıtamamaktadır, yapılabilecek herhangi bir optimizasyonda başarının, kalıp gözleri içerisinden yapılacak ölçümlerdedir, kesinlikle basınç ve sıcaklık parametrelerinin kalıp gözlerinin içerisine konacak sensörlerden ölçülmesi gerekmektedir. Hem kalıp tasarımında hemde enjeksiyon simülasyon tasarımında önce optimizasyon yapılması gerekmektedir. Önümüzdeki yıllarda kendi kendini ayarlayabilen akıllı enjeksiyon makinaları olması da çok yakındır[24].

Heim [27] makalesinde, klasik enjeksiyon baskılarındaki değerlere güvenilemeyeceğini mesela göz basıncı değerinin direk göz içerisinden okumanın

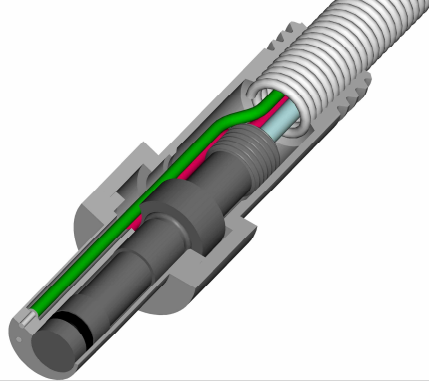
farklı değerler verdiğini ve sadece basınç sensörleri ile okunmuş bu basınç değerlerinin bize çıkacak olan parça hakkında çok detaylı bilgiler vereceğini belirterek, günümüzde çıkan parçaya göre yapılan bu enjeksiyon ayarlarının artık daha parça çıkmadan en az fire ile bir kaç adımda yapılması gerektiğini ve bunun da ancak sensörlerle yapılan kalıp denetimlerinde mümkün olabileceğini vurgulamıştır. Araştırmacı yine burada, çeşitli fuzzy logic veya neural networks metodlarla okunan gerçek parametrelerin makinalara uyarlanabileceğini ve böylece proses optimizasyonu yapılabilirdiğini vurgulamaktadır. Ayrıca önceden dataların bir bilgisayara girilerek istenilen parça özelliklerinin datalarında girilmesi suretiyle bir istatistiksel bir model oluşturulabileceğini ve bu modelle de kaliteli parça çıkması için iyi bir optimizasyon yapılabilirdiğini bildirilmiştir.

Parçanın kalite parametreleri belirlendikten sonra bu parametrelerin (basınç, sıcaklık ve zaman ) operatör inisiyatifinden alınarak, her baskıda da tek tek ve her bir kalıp gözü için, göz içerisinden hassas bir şekilde ölçölüp , software yardımıyla bilgisayar ortamına dökölüp bunlarında diyagram ve sayısal değerler olarak saklanabilmesi makine-kalıp optimizasyonun sağlanarak standart üretim elde edilmesi sağlanmalıdır[64,65].

Kalıp basınç ve sıcaklığının gerçek değerlerini alabilmek, ancak basınç ve sıcaklığın kalıp gözleri içerisinden ölçölerek bulunmalıdır. Bu tür problemlerin ortadan kaldırılması için plastik enjeksiyon kalıplarında bu optimizasyonun sağlanabilmesi kalıbın gözüne veya gözlerine yerleştirilen piezo elektrik sistemi ile çalışan basınç sensörleri ve sıcaklık ölçümünde kullanılan ısıift (thermocouple)faydalanılır[28,44,45].

Enjeksiyon proseslerinde kontrolün verimli olabilmesi için sensörlerin ve kontrol tekniklerinin de verimli olması gerekmektedir. Araştırmacılar artık değişik sensörler üzerinde birçok çalışmalar yapıyor ve yeni sensörlerin daha kompakt, daha ucuz ve uygulama alanlarının çok olması ve daha hızlı, daha ucuz ve daha sonuçsal okumalar yapılabilirdiğini savunmuşlardır[31–3].

Bugünün yenedünyasında kalıp yapanlar işlerini geliştirme yolları bulmalı ve bunun için müşterilerine eşsiz özümmler sunmalılardır. Kalıp basınç sensörleri kullanarak bir kalıplama sinir merkezi eklemek ve bunu nasıl kullanacağını anlamak kalıp üreticisinin ortaya koyacaklarına yeni bir aı getirebilir. Bu sistemler ile masrafların azalmasına ve kapasitenin artırımına da çok büyük katkılar sağlamaktadır[46,59].



**Şekil II-19** Basınç-sıcaklık ölçüm sensörü kesiti

Bu sistemler genellikle ürün geliştirme ve üretim dökümante işlemlerinin önem kazandığı zamanlar toplam kalitenin bir parçası haline gelirler Bu göz basıncı ölçme sistemleri ve dökümantesi proses analizlerinde ve makina ayarlarını düzeltmede kullanılan bir sistemdir, dolayısıyla enjeksiyonlarda düzgün parça elde etme işleminin zamanını kısalttığı için maliyetlere de büyük derecede frenleyici etkisi vardır. Bu şekilde maliyetler azaldığı gibi parça kalitesi de artmaktadır[52].

Göz basıncını ve göz sıcaklığını ölçen bu sensörlerin ve data dönüştürücülerinin uygulama alanları genellikle şişirme kalıpları, sıkıştırma kalıpları, kimyasal proses endüstrisi, enjeksiyon kalıpları, kalıp çekirdekleri, köpük yapılar, transfer kalıpcığı gibi alanlardır.

Bu tip sensörler 0–150 PSI ile 0–30.000 PSI arasında ki basınçları ölçme kapasitesine sahiptir. Yüksek basınç ölçen sensörler enjeksiyon ile kalıplamada kullanılır. Ayrıca sensör tipleride kullanım yerlerine göre değişim göstermektedir.

Kalıp proseslerinde kalite güvence ve kalite geliştirme için basıncın denetim altına alınması gereklidir. Bu denetim dahili basınç ölçerlerle sağlanabilir. Bu sensörlerin yerleştirileceği pozisyon önemlidir. Kalıp proseslerinde basınç dört kısımda incelenir doldurma, tutma, kompresyon ve soğutma sırasında oluşan basınçlardır. Vida ve meme basıncı teorik olarak iletim oranına göre grafiklerden hesaplanabilir. Basınç sensörleri yardımıyla kalıp yakınından yolluk girişine kadar basınç değişimine ait grafik çıkartılabilir. Bu sensörlerin kullanılmasıyla parça üzerinde oluşan hataların (kaynak izleri, dizel etkisi, matt noktaları, çöküntü, jetting, çapak, itici izleri, çekme ve büzülme ) önlenmesi mümkün olur[40,51].

### II.3.1. Kalıp Göz Basıncını Ölçme Sistemi Uygulamaları

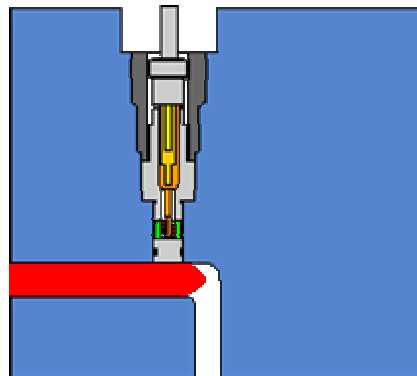
Kalıp içerisine yerleştirilen basınç ölçüm sensörleri ve ısıçift, bir arada işlem yapabildiği gibi ayrı ayrı işlem yaptırılarak ta kullanabilmektedirler. Basınç sensörü ve ısıçiftlerin bir arada bulunup ta kalıp gözüne veya gözlerine ayrı ayrı yerleştirildikten sonra eriyik plastik malzemenin kalıp gözüne veya gözlerine yapmış olduğu basınç ve malzeme sıcaklıklarını basınç sensörü ve ısıçiftlerle ölçerek bu ölçüm değerlerini amplifikatöre bir iletici kablo yardımıyla iletiriz[63,66].

Bu sıcaklık ve basınç değerleri amplifikatör tarafından birbirlerinden ayrıştırılarak yine aynı amplifikatör yardımı ile bu küçük sinyaller işlenebilecek büyük sinyallere yükseltilerek bir bilgi dönüştürücü sisteme iletir.

Bu data converterdan çıkan datalar özel olarak yazılmış bir software vasıtası ile kullanılan bilgisayara bir data kablosu ile taşınır. Kullanılan bilgisayardan istenildiği zaman bu datalar grafikler şeklinde görüntülenebildiği ve saklanabildiği gibi istenildiğinde de bir print out olarak ta faydalanılabilmektedir. Bilgisayar ortamında elde edilen bu datalar ve grafikler, özel olarak üretici firma tarafından yazılmış yazılım yardımı ile parametrik olarak bir çok makine parametrelerine(enjeksiyon basma basıncı, mengene kapama basıncı, ütüleme basıncı, soğuma zamanı, enjeksiyon ocak sıcaklıkları, kalıp sıcaklığı vb.), bu bulunan sonuçlara göre manuel olarak, optimum şekilde müdahale etmemize olanak tanır.

Burada okunan her değer kesinlikle bir önceki değeri doğrulayarak işlem yaptığı için hatasız bir optimizasyon sağlar[49,60].

#### II.3.1.1. Kalıp İçerisinden Direkt Basınç Ölçme

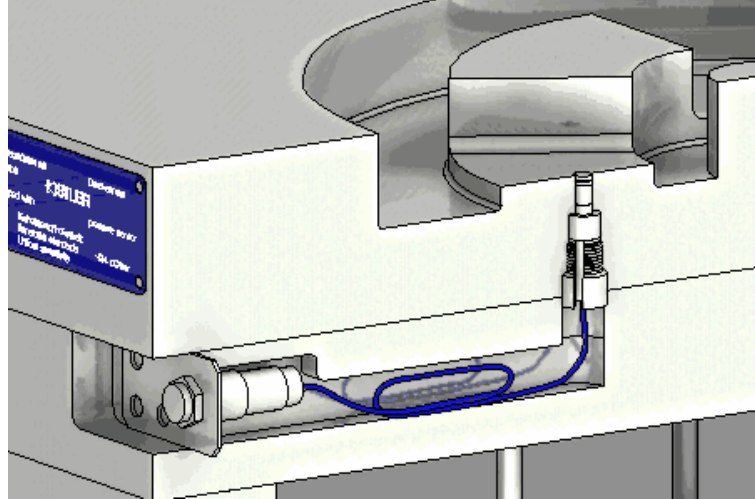


Şekil II-20 Direkt ölçüm için sensörün yerleştirilme şekli

Direkt ölçme metodunda basınç sensörü kalıp gözü içerisindeki erimiş plastik ile herhangi bir pime ihtiyaç duyulmadan direkt temas halindedir. Bu sensörler bir

adaptörlü parça ile veya adaptörsüz olarak bir yuvaya yerleştirilerek kalıba monte edilirler. Adaptörlü versiyonu zaten üretici firma tarafından en küçük çapta sağlanır. Adaptörsüz sensörler ise kalıpcı tarafından dikkatlice ve doğru olarak takılmalıdır.

Genellikle birçok sensörde sensör yüzeyi, kalıbın çekirdeklerinin oluşturduğu yüzeylere temas eder ve böylece kalıbın içerisindeki en küçük basınç veya sıcaklık değişimlerini hassasiyetle algılar.



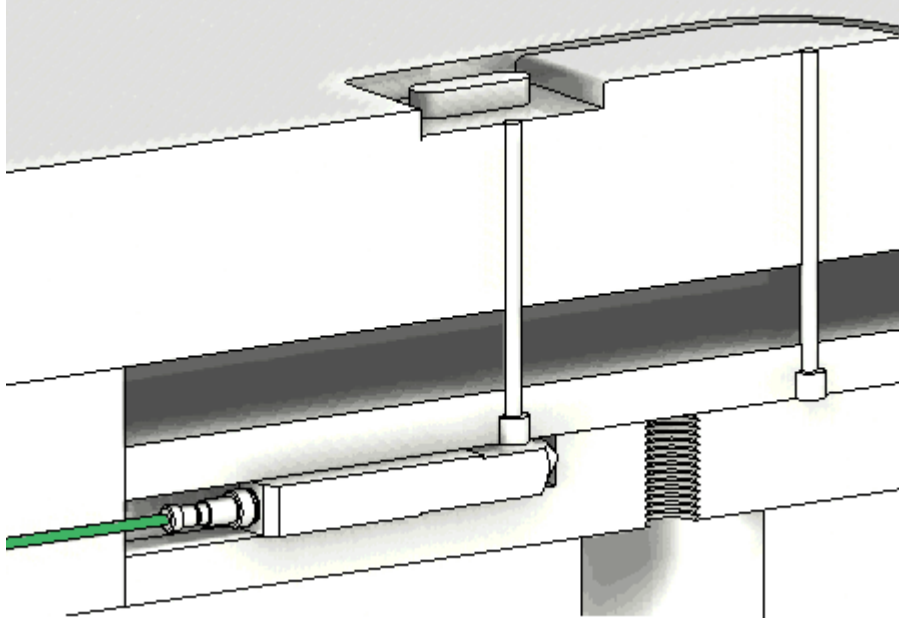
**Şekil II-21** Direkt ölçüm için sensörün kalıp içerisine yerleştirilme şekli

Avantajları

- En kesin ölçüm ve minimum hata oranı
- Kalıp gözü içerisindeki ideal pozisyon
- Sensör yüzeyinin kalıp çekirdeği yüzeyi ile eşlenebilmesi
- Montaj yuvasına ve kalıp yuvasına rijit oturma [5].

### **II.3.1.2. Kalıp İçerisinden Endirekt Basınç Ölçme**

Diğer bir alternatif basınç ölçme şekli olan bu sistem itici pimlerinin arkasına yerleştirilen basınç sensörü ile ölçme yaparak bunu gerçek basınca yani enjeksiyon basıncına döndürür. Endirekt ölçme sistemi genellikle direkt ölçme için kalıpta yer olmadığı zamanlar ve tek bir sensörle birkaç kalıp ölçümü yapmak için pratik olarak değişim gereken yerlerde kullanılır ve size basınç hakkında sadece bilgi verir. Sürtünmeden ve aşınmadan dolayı deforme olan itici pim ölçüm sonuçlarını maalesef olumsuz yönde etkiler ki bu ciddi bir etkidir. Özellikle kontrol ve izleme operasyonlarında direk ölçme sistemi daha çok tercih edilen bir sistemdir[61,62].



**Şekil II-22** Endirekt ölçüm için sensörün yerleştirilme şekli

Avantajları:

- Sökülemeyen ve içine sensör yerleştirilemeyen kalıp gözlerinde
- Sadece küçük bir boşluk yeterlidir
- Direk ölçüm için kalıp gözleri içerisinde yer olmadığı zamanlarda
- Küçük kalıplarda kullanıla bilme özelliği

Dezavantajları:

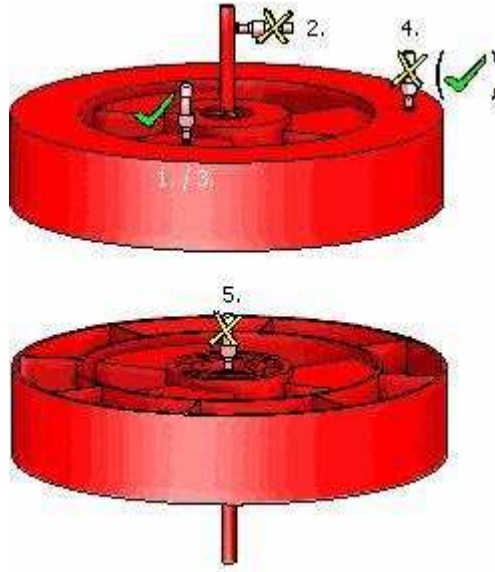
- Gerçek olmayan ölçüm değerlerine rastlanabilir çünkü itici pimleri aşınmaya uğramış ve kontamine olabilir veya itici plakasında deformasyonlar olabilir.
- Bu tip endirekt yerleştirilen sensörlerde sıcaklık sensörü ile basınç sensörü bir arada kullanılamaz.

### **II.3.2. Kalıp Göz Basıncı Ölçme Sisteminin Faydaları**

1. Firelerin azalması
2. Baskı süresi optimizasyonu
3. Kalıp bağlama ve baskı alma sürelerinin kısalması
4. Malzeme sarfiyatının minimizasyonu
5. İşçilik giderlerinin azalması
6. Enerji giderlerinin azalması
7. Aktif kalıp koruması

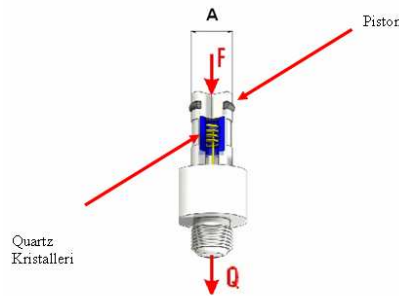
8. Baskı prosesindeki en detaylı ve enformatik bilgileri verir. Baskı şartlarının kayıtlarının alınması ve muhafazasını temin eder. Sürekli aynı baskı şartlarını sağlar.
9. Baskı şartlarının aynı kalmasını temin etmenin yanı sıra, kalıp gözü veya gözlerindeki hangi noktada hangi şartın nasıl değiştiğini de tespit imkanı verir. Bu da kalıbın zamanında bakım yapılmasını ve gerekli yerlerinin tamir edilmesini sağlar.(Her kalıp gözüne müstakil uygulanır.)
10. Kalıp baskı şartlarının kayıtları uygun bir algoritma dahilinde tutularak istatistik proses kontrol için veri temin eder, kalıp göz basıncı, makinenin ve kalıbın performansını takip imkanı verir.
11. En son enjeksiyon kalıp sistemlerinde bu verilerin ve aralarındaki korelasyonun sistem içinde değerlendirilerek, optimum proses şartları dahilinde baskı yapılıp yapılmadığı (kabul/ret) kararı verdirilebilir.
12. Kalıp gözü basınç kontrol sistemi güvenilir ve dayanıklı bir sistemdir. Deneyler göstermiştir ki bu sensörlerin kullanımı kalıp bağlama, proses şartları, bakım zamanı ve maliyetlerin de düşmesine sebep olmuştur. Bu, sistemin güvenilir, sağlam ve emin olduğunun kanıtıdır.
13. Yüksek hacimli işlerde, rekabetin keskin olduğu yerlerde, hatasız, iyi kaliteli kalıplama imkânı sağlar.
14. %25'e kadar zaman ve emek tasarrufu sağlar. Ayrıca denemeler göstermiştir ki enjeksiyon kalıplarının % 70 inde uygun bir baskı almak için tam bir baskı süresinin %20 sine daha fazla ihtiyaç vardır[5].
15. Kalıp değişimi ve hemen devreye girme esnekliği sağlar. Dolayısı ile ilk rejime girme zamanının azaltarak malzeme fire miktarının azalmasını sağlar.
16. Minimum soğuma ve bekleme süresi (ütüleme zamanı) sağlar.
17. Parti kontrolleri için zaman ayırmaya gerek kalmaz.
18. Doğru ve kesin ölçüm istenildiğinde
19. Kontrollü ve izlemeli kalıp çalışmasında
20. Çok gözlü kalıp uygulamalarında her bir gözün ölçümünü yaparak optimizasyonu sağlar.
21. Kalite güvencesi ve güvenilir bir dökümante işlem[42,49].

### II.3.3. Sensörlerin Yerleşiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

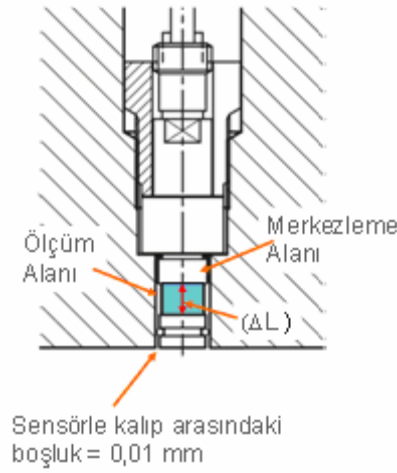


Şekil II-23 Basınç-sıcaklık sensörünün uygun şekilde yerleştirilmesi

1. Göz boşluğu basınç sensörü yolluk ağzına mümkün olabildiğince yakın yerleştirilmelidir. Çünkü o bölge kalıp içinde en yüksek basıncın bulunduğu yerdir. Yolluk ağzına yakın olan sensör proses hakkında daha fazla bilgi verecektir. Sensör yolluk girişine ne kadar yakın olursa o kadar çok proses verisi alınır. En iyi konum, akış yolunun ilk üçte birlik kısmıdır.



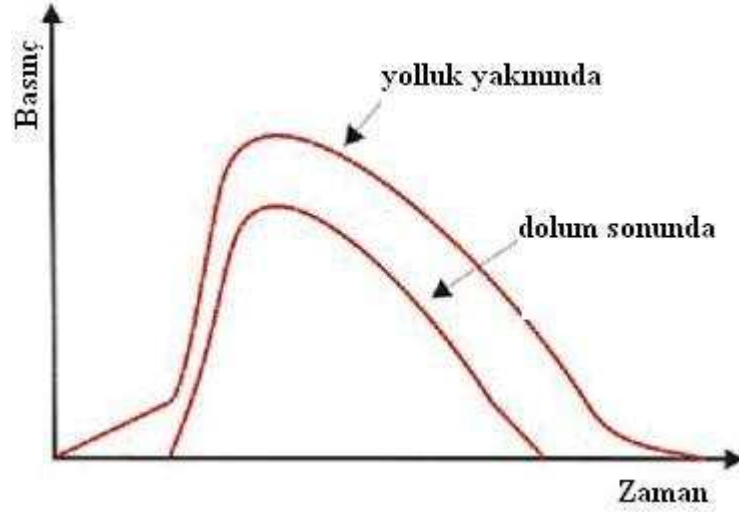
Şekil II-24 Basınç sensörü kesit resmi



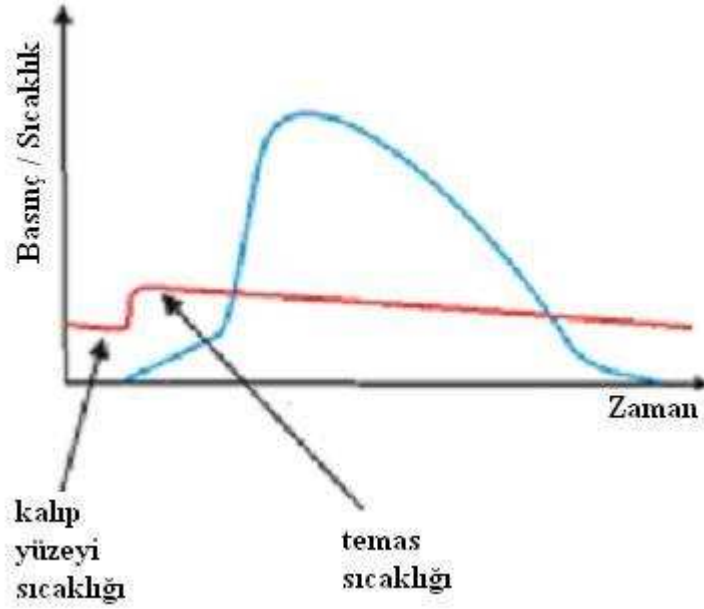
**Şekil II-25** Sensör konumlandırılması

2. Sensörü yolluk ağzına değil kalıp göz boşluğuna yerleştirin. Aksi takdirde yolluk ağzı kapandığında ve sıkıştırma başlangıcında ölçüm ve denetleme yapmak mümkün olmayacaktır.
3. Sensör mümkünse kalıbın en ince karşı kesitine yerleştirilmelidir. Bu nokta eriyiğin en son katılaşmaya başladığı noktadır. Bu nokta basıncın en uzun süre devam ettiği noktadır.
4. Parça et kalınlıklarının farklarından ve eriyik akışındaki zorluklardan dolayı ikinci bir sensörü yolluk girişinden uzakta bir yere yerleştirmek mantıklı olacaktır.
5. Sensör yolluk ağzının tam karşısına yerleştirilmemelidir. Çünkü bu durum ölçüme dinamik kuvvet bileşenlerini de dahil edecektir. Bu da ölçümün üstüne eklenecek ve göz boşluğu basınç sinyalini saptıracaktır[43,5].

Şekil IV-27’de kalıp içerisindeki basınç eğrilerinin zaman bağı olarak noktasal değişimleri bir enjeksiyon zamanı boyunca tek tek gösterilmiştir.

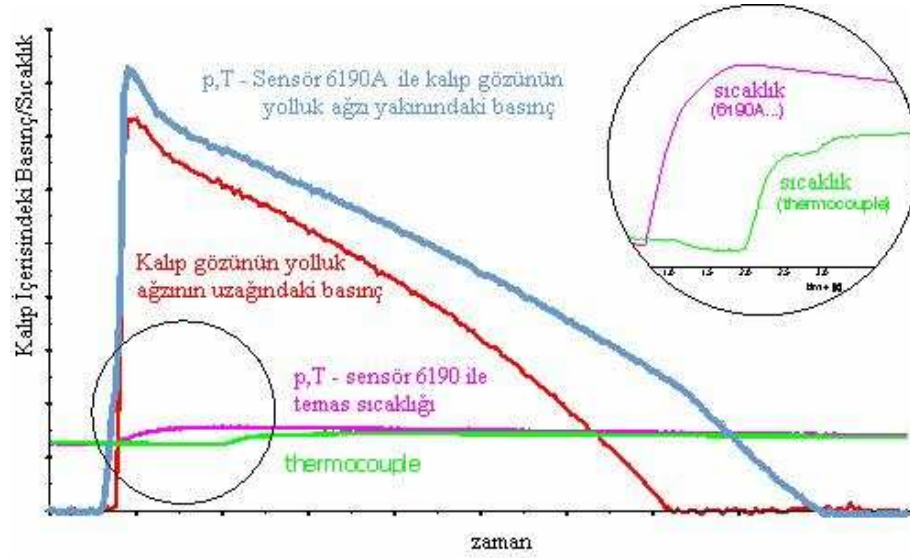


**Şekil II-26** Akış hattı boyunca basınç düşüşü



**Şekil II-27** Sıcaklık sensörünün ölçüm basamakları

Sıcaklık sensörünün ölçüm özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz. Ergiyik sensöre ulaşmadan önce, kalıp yüzey sıcaklığı ölçülür. Ergiyik sensöre ulaşınca, kalıp temas sıcaklığı ölçülür. Kalıp temas sıcaklığı, ergiyik sıcaklığından daha düşüktür. En yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasında beklenen fark:10–35 °C (Kalıp ve ergiyik sıcaklıklarına bağlı olarak değişir).



**Şekil II-28** Basınç-sıcaklık-zaman grafiği

Diyagramdan da rahatça görülebildiği gibi kalıp içerisinde oluşan basınç ve sıcaklıkların değerleri sensörlerle ölçüldüğünde daha gerçekçi ve kesin sonuçları vermektedir. Kalıp içerisindeki basınç değişimleri ve sıcaklık değişimleri bizi hemen süreç parametrelerine yönlendirir. Kalıplanan parçadaki değişiklikler de bunların birer göstergesidir. Burada bizi müdahale etmeye zorlayan 4 tane parametre vardır ki bunlar: Enjeksiyon hızı, Basınç sabitliliği, Enjeksiyon zamanı, Kalıp sıcaklığıdır.

## **BÖLÜM III.**

### **TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **III.1. TEORİK ÇALIŞMALAR**

Bu çalışmada yapılan deneylerin planlanması ve seçilen parametreler arasındaki optimizasyonu gerçekleştirebilmek için, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren Taguchi yöntemi kullanılmıştır.

##### **III.1.1. Teorik Çalışmalarda Kullanılan Taguchi Yöntemi**

Rekabete dayanan pazarda, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalite geliştirme çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir. Kalite iyileştirme ve geliştirme, pek çok organizasyonun rekabet edebilmesi ve ayakta kalabilmesi için en temel faaliyetler haline gelmiştir[67].

Bu doğrultuda üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler olmuş ve günümüz gereksinimleri için yeni teknikler ortaya konulmuş, ya da yıllardır teoride kalmış yöntemler uygulama alanına geçirilmiştir. Bunlardan biri de, özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı da uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir.

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür.

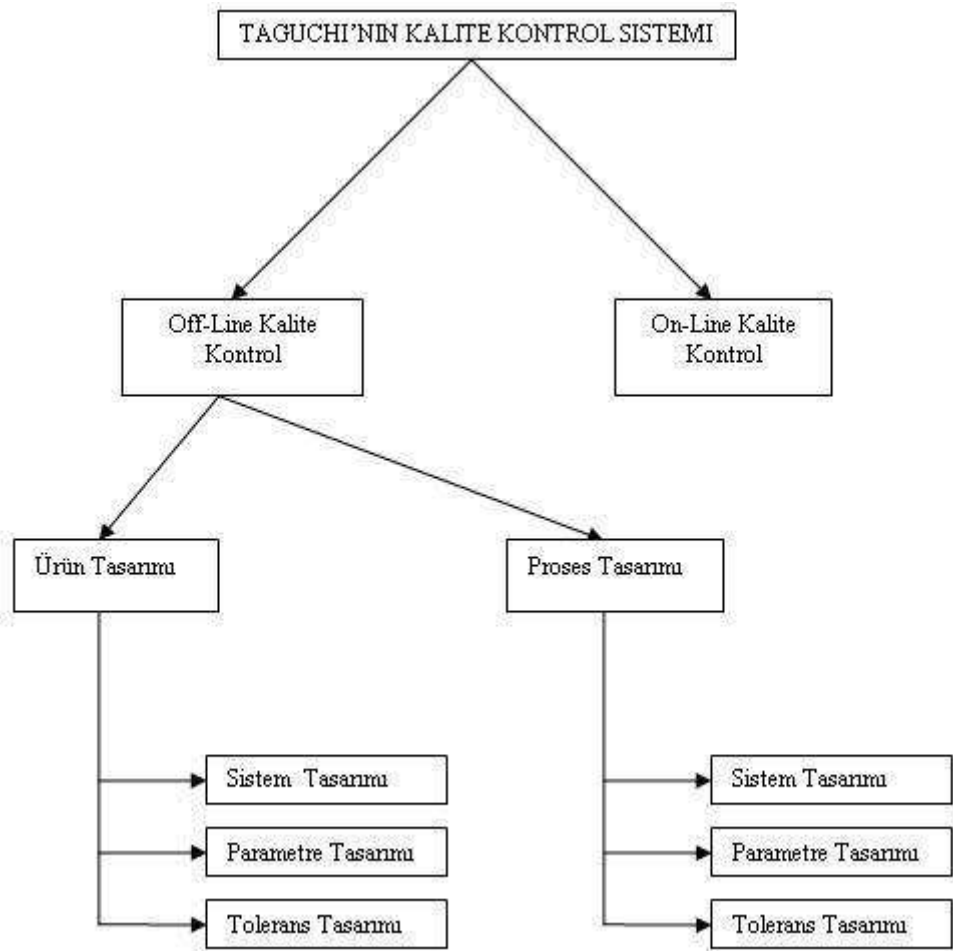
Taguchi, deneysel tasarıma yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur[67].

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır.

Taguchi Deney Tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir.

#### III.1.1.1. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil III-1'de gösterilmiştir.



Şekil III-1 Taguchi'nin kalite kontrol sistemi

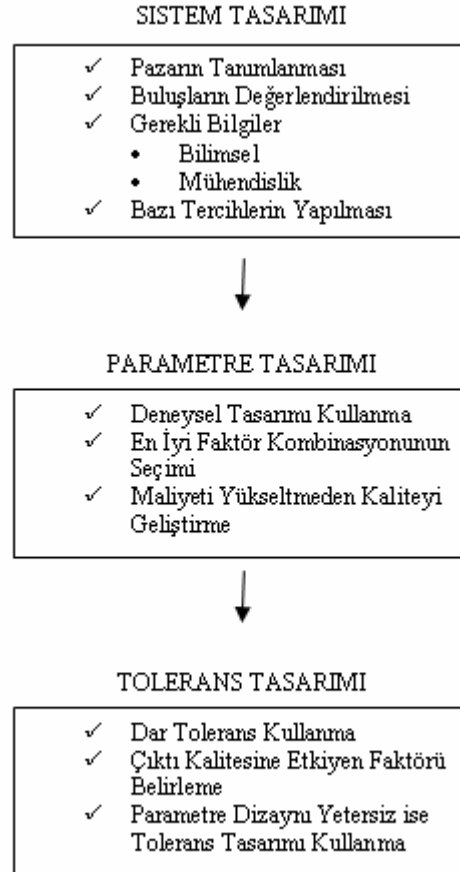
On-line kalite kontrol; ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindendir.

Off-line kalite kontrol; pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır[67].

Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır.

Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır.

Taguchi metodunun sistematüğini oluşturan, kalite aşamaları Şekil III-2’de gösterilmiştir.



**Şekil III-2** Taguchi metodunun sistematüğü

### **III.1.1.2. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı**

Genichi Taguchi sağlam parametre tasarımının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir, parametre tasarımı üretim ve proses tasarımı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi tasarımları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur.

Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim tasarımının da ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır.

### **III.1.1.3. Temel çalışma biçimi**

Taguchi Metodu, çok sayıda faktörün bağlı olduğu ürün ve prosesin kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Her bir faktörün izin verilen aralıklar içerisinde tüm olabilecek kombinasyonları etkili bir biçimde bu test ve geliştirme stratejisi içerisinde kurulabilmektedir. Mühendislik projeleri çok sayıda faktör içerdiği için, bir grup olabilecek kombinasyon denenemeyecek kadar geniştir. Üstelik özel projeler için etkili faktörler arasında etkileşimlerin olması deneme sayısını artırmaktadır. Taguchi faktöriyel deneyler için özel bir tasarım geliştirmiştir. Bu tasarım ortogonal dizilerden oluşmaktadır. Bu tasarımların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deneyle incelenmesine olanak tanımaktadır.

Tüm faktörlerin sabit seviyeli olduğu ve etkileşimlerin önemsiz olduğu durumlarda standart Ortogonal Diziler (OD) kullanılmaktadır. Faktörlerin karışık seviyeli olduğu ve etkileşimlerin inceliği durumlarda OD'lerin modifiye edilmesi gerekmektedir.

İçerisinde çok sayıda faktörün olduğu ilk deney tasarımı planının geliştirilmesi İngiliz Sir R. A. Fisher tarafından 1920 yılında yapılmıştır. Bu metot genelde faktöriyel tasarım olarak bilinir.

Tam faktöriyel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Çoğu endüstriyel deney genellikle çok sayıda faktör içerir. Tam faktöriyel tasarımda çok geniş bir deney seti incelenir. Örneğin tam faktöriyel

tasarımda 7 faktörlü ve her bir faktörün 2 seviyeli olduğu bir deney için tam 128 deneye ihtiyaç vardır.

Kısmi faktöriyel tasarımda deney sayısını azaltmak için tüm kombinasyonlar arasından belirli grup seçilerek o grup üzerinde inceleme yapılır. Kısmi faktöriyel tasarım iyi bir kestirme yol olarak bilinse de uygulamalar ve analiz için belirli kuralı yoktur. Taguchi metodu bu konuda iki önemli boşluğu tamamlamaktadır.

Bunlar;

I. Deney koşullarına uygun olarak seçilebilecek OD'ler net bir şekilde tanımlanmıştır.

II. Sonuçların analizinde standart metotlar belirlenmiştir.

Taguchi yaklaşımı standart deney tasarımı tekniklerinin ve analiz metotlarının bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon diğer istatistiksel metotlarda nadiren bulunan tutarlılık ve yeniden üretilebilirlik özelliklerini taşımaktadır.

Taguchi'de bütün kombinasyonların denendiği tam faktöriyel tasarımda, faktör seviyesi arttıkça, deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır.

Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöriyel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları Tablo III-1'de verilmiştir. Burada deney sayılarındaki farklılık bariz bir şekilde görülmektedir.

**Tablo III-1** Taguchi ve tam faktöriyel tasarım için kombinasyonlar

| Faktör | Seviye | Deney Sayıları         |                    |                |
|--------|--------|------------------------|--------------------|----------------|
|        |        | Tam Faktöriyel Tasarım |                    | Taguchi Metodu |
| 2      | 2      | 4                      | (2 <sup>2</sup> )  | 4              |
| 3      | 2      | 8                      | (2 <sup>3</sup> )  | 4              |
| 4      | 2      | 16                     | (2 <sup>4</sup> )  | 8              |
| 7      | 2      | 128                    | (2 <sup>7</sup> )  | 8              |
| 15     | 2      | 32768                  | (2 <sup>15</sup> ) | 16             |
| 4      | 3      | 81                     | (3 <sup>4</sup> )  | 9              |

#### III.1.1.4. Deney Tasarımı

Deney tasarımı içerisinde geçen tasarım kelimesi zihinsel olarak yapılan proje veya planları ifade etmektedir. Tasarım farklı koşullarda gerçekleştirilebilir. Mühendislikte tasarım denildiği zaman genelde ürün tasarımı ve proses tasarımı akla gelir[67].

Deney tasarımı yapılmadan önce ürün ve proses hakkında mutlaka yeterli bilgiye sahip olunmalıdır. Deneyde kullanılacak faktörlerin ve onların çıktı üzerine etkileri tanımlanmalıdır. Faktörler hakkında ayrıntılı bir bilgiye sahip olmak için genelde o konu ile ilgili tüm insanlardan bilgi alınır. Taguchi tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin tespit edilmesi için beyin fırtınası tekniğini önemli bir adım olarak görmüştür.

Taguchi tasarımı seçilirken kontrol faktörü sayısı, her bir faktörün seviye sayısı, deney çalıştırma sayısı ve diğer şartların sisteme etkileri (maliyet, zaman, üretebilme durumu) göz önüne alınmalıdır.

Deneyler statik ve dinamik sonuçlu olmak üzere 2 türlü yapılabilmektedir. Statik sonuçlu deneylerde kalite değişkenleri sabit seviyedir. Dinamik sonuçlu deneylerde ise kalite değişkenleri verilen değer aralıklarındadır[67].

#### 4.a. Statik Sonuçlu Tasarım;

Taguchi metodunun başlıca 2 amacı vardır. Bunlar;

- Kalite değişkenini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak.
- Varyansı, yani hedef değerden sapmayı minimize etmektir.

Statik sonuçlu tasarımlar kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu tasarımlardır. Bu tür tasarımlarda hedef değerden sapmayı minimize etmek için bir değişim ölçüsü gerekmektedir. İşte bu noktada Taguchi deney sonuçları arasındaki farklılığı minimize etmek için S/N (Signal/Noise) Sinyal/Gürültü oranlarını geliştirmiştir.

Statik bir tasarımda Taguchi tarafından belirlenmiş S/N oranları, sistemden istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu aşamada iyi bir mühendislik bilgisi ve sistemin iyi analiz edilmesi çok önemlidir, Seçilebilecek S/N oranları Tablo III-2’de verilmiştir[67].

**Tablo III-2** Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları

| Seçim                                                                                                     | Amaç                                                            | Sonuç                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| En Büyük En İyi<br>$S / N = -10 \left( \log \left( \sum \left( \frac{1}{y^2} \right) / n \right) \right)$ | Sonucun maximize edilmesi                                       | Pozitif                                             |
| Hedef Değer En İyi<br>$S / N = -10 \left( \log(s^2) \right)$                                              | Sadece standart sapmanın azaltılması                            | Pozitif, sıfır yada negatif                         |
| Hedef Değer En İyi<br>$S / N = 10 \left( \log(\overline{Y^2}) / s^2 \right)$                              | Standart sapmanın ve ortalamanın belli bir hedef değerde olması | Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır |
| En Küçük En İyi<br>$S / N = -10 \left( \log \left( \sum (Y^2) / n \right) \right)$                        | Sonucun minimize edilmesi                                       | Pozitif                                             |

**4.b. Dinamik Sonuçlu Tasarım**

Kalite değişkeninin sabit bir sayı değil de, belirli bir değer aralığında olduğu tasarımlardır. Dinamik sonuçlu bir deney, işleme başlama anı ile sonuç arasındaki fonksiyonel ilişkiyi analiz etmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anma bağlı olarak belirli değerler aldığı durumlarda kullanılır. Buna Örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama anı, otomobilin gaz pedalına basılmasıdır ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik tasarımlar da mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır[67].

**III.1.1.5. Uygulama Prosedürleri**

Taguchi metodunun uygulama prosedürleri sırasıyla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Problemin belirlenmesi.
2. Hedeflerin belirlenmesi.

Her işletmenin kendine göre belli hedefleri vardır. Bunlar belli bir üretim sayısına ulaşmak, müşteri beklentilerini karşılamak. maliyeti düşürmek vb. olabilir. Bu noktada Taguchi metodunun uygulandığı bir yerde de başlıca iki hedef vardır.

Bunlar kalite değişkeninin istenilen değere getirilmesi ve varyasyonun düşürülmesidir.

### 3. Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi.

Ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli ve kalitesini belirleyen özelliklerine kalite değişkeni denir.

Bu aşamada hedeflenen kalite değişkenleri belirlenir. Ayrıca kalite değişkenlerinin ölçümü için gerekli aletlerin seçimi ve ölçme metotları ilgili mühendislik birimlerine başvurularak belirlenir.

Varyasyon;

Kalite konularına ilişkin olarak varyasyon, hedef değerden sapma olarak tanımlanabilir. Üretim faktörleri deneyde belirtilen seviyelerde yapıldığı takdirde bu değişkenlerin ortalama değeri optimize olacaktır.

Fakat ürünün kalitesi, grup ortalamasından daha çok, grup dağılımıyla temsil edilir. Örneğin, kaynak mukavemetinin ortalama değeri, minimum spesifikasyon sınırının üstünde olduğu halde, grubun önemli bir yüzdesi (%30-%40 gibi) muayeneyi geçemeyip reddedilebilir[67].

### 4. Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi.

Faktörlerin seçimi ve faktör seviyelerinin tespiti işlemi, o işle uğraşan kişiler ve o alanda uzmanlaşmış teknik personel tarafından yapılır. Bu aşamada en iyi yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Ayrıca akış şeması ve sebep-sonuç diyagramlarının da incelemesi faktör ve faktör seviyelerinin belirlenmesinde büyük fayda sağlar.

Beyin fırtınası, işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip, her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin toplantıya her seviyeden iş gören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metot kullanılarak kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metotlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmaktadır.

### 5. Faktörlerin kontrol ve hata faktörleri olarak ayrılması.

### 6. Etkileşimlerin belirlenmesi.

Taguchi Tasarımları esas olarak faktörlerin ana etkileri üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır. Fakat istenirse 2 yönlü etkileşimler üzerinde de çalışılabilir.

İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğerine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu durum  $A*B$  şeklinde gösterilir. Örneğin sıcaklıkla nem arasında insan rahatlığı açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki bir artış küçük bir rahatsızlık verebilir fakat nem arttıkça rahatsızlık daha fazla artar.

Deneyler yapılmadan önce faktörler arasında etkileşim olup olmadığı sadece o zamana kadar elde edilmiş bilgi ve tecrübelerle tahmin edilebilir. Bu noktada çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tüm sonucu etkileyecek yanlış kararlar alınabilir.

#### 7.Uygun ortogonal dizinin seçimi.

Ortogonal düzen ilk kez 1897'de Fransız matematikçi. Jacques Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur. Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağını belirler.

Ortogonal düzenin en önemli özelliği, bir çok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir. Normal 2k faktörlü bir deneysel tasarım kurulacaksa Tam Faktöryel tasarım gereği 2k adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Kademelerden biri değiştirilip diğeri sabit tutularak deney yürütülür. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirdi ve bu planların vereceği sonuçla 2k denemenin sonuçları arasında bir fark olmayacağını iddia etti. Bu iddiasında haklı olduğunu da çalışmalarıyla pratik olarak gösterdi. Söz konusu standart deneme planlarının esası eşzamanlı olarak bir kaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında çok aşın bir azalma yapmasına dayanmaktadır. Örneğin yedi faktörün tespit edildiği bir deney için  $2^7=128$  adet denemeyi gerçekleştirme gerekir. Halbuki Taguchi bunun için 8 denemeyi yeterli görmektedir. Bunu şekilde açıklayabiliriz. Tablo III-3 'de 2 deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir. Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır.

Halbuki Taguchi tasarımına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4'ü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4'ü 2.seviyede, 3'ü 1. seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme gerekli bilgiyi verebilmektedir. Sonuçta Taguchi'nin teklifi çok önemli bir maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir.

**Tablo III-3** 2k tasarımı deney planı

| Deneme<br>No | Faktör No |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
|              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 3            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 4            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 5            | 1         | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6            | 1         | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| :            | :         | : | : | : | : | : | : |
| 128          | 2         | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

**Tablo III-4** Taguchi tasarımı deney planı

| Deneme<br>No | Faktör No |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
|              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2            | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3            | 1         | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4            | 1         | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5            | 2         | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6            | 2         | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7            | 2         | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8            | 2         | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

Bu dizilere her faktörde eşit miktarda farklı seviye bulundurduğu için ortogonal dizi denilmektedir. Ortogonal diziler 2 seviyeli, 3 seviyeli ve 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, Faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birine uydurmak gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L12 ve L32 iken 3 seviyeliler için L9, L18, L27 dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık kullanıldığı dizilerden bazıları L18, L36, L54 dizileridir.

## 8. Ortogonal Dizi Seçimi

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

VA: A faktörünün serbestlik derecesi

VA.B: A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

kA: A faktörü seviye sayısı

$VA = kA - 1$   $VA \cdot B = (VA)(VB)$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

VT: Dizinin toplam serbestlik derecesi

N: Dizideki toplam deney sayısı

$VT = N - 1$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir.

## 9. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması.

Kontrol ve etkileşimlerin sütunlara atanmasında öncelikle etkileşimlerin atanması yapılır. Çünkü bazı sütunlar etkileşim olan diğer sütunlarla karıştırılabilir. Yani bağımsız olarak değerlendirilemeyebilir. Ayrıca iki yönlü etkileşimlerin incelenebilmesi için bazı sütunlara faktör atanmaz ve boş bırakılır.

Etkileşimlerin sütunlara atanmasında etkileşim tabloları kullanılır. Etkileşim tabloları etkileşimlerin olduğu sütunları gösterir. Her bir Taguchi tasarımı için ayrı bir etkileşim tablosu vardır.

#### 10. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.

Ortogonal dizinin sütunlarına faktörler yerleştirildikten sonra deney planı kurulmuş olur ve deneyleri gerçekleştirmek için gerekli fiziksel şartlar sağlanır. Bu aşamadan sonra deneylerin hangi sırayla yapılacağına karar vermek gerekir.

##### III.1.1.6. Deneylerin Yapılış Sırası

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılır. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir. Rassallaştırma denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de belli bir rastgelelikte yapılmasıdır.

Denemelerden oluşan testlerin uygulanış sırası rassallık içermelidir. Böylece deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek, fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek mümkündür.

Rassallaştırma da en çok kullanılan yöntemler;

- Tamamen rassallaştırma

Tamamen rassallaştırma yönteminde, ilk olarak istenilen deney yapılır. Sonrasındaki deneyler rasgele sayılar tablosu kullanılarak belirlenen deney sırasıyla yapılır. Tekrarlar söz konusu olduğunda bir test tamamlanana kadar tüm deneyler rassal olarak seçilir ve ikinci tekrar yapılırken deney sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Deneyler tamamlanıncaya kadar bu yöntem uygulanır.

- Basit tekrar

Basit tekrarda da tüm deneyler ilk test olarak seçilebilmek için eşit şansa sahiptir. Fakat diğerinden farkı, tekrarlar söz konusu olduğunda, seçilen deney için gerekli tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deneylerin hazırlanışının zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir.

- Bloklar içinde tamamen rassallaştırma

##### III.1.1.7. Deneylerin Tekrarlanma Sırası

Deneylerin yapılabilmesi için her deneme için en azından bir deney yapılmalıdır. Fakat tek gözlem, sonuçlardaki olabilecek değişkenliği temsil etmez. Her bir deneme için birden fazla deney yapılması ile yığının ortalamasında meydana gelebilecek küçük değişkenlerin saptanabilmesi sağlanacaktır.

Bazı deneylerde deneme çalışmaları kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde tekrarlanmaktadır. Bazıları ise yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, eğer testler çok pahalı ise bir deneme için bir test yapılır, testler pahalı değilse bir deneme için birden fazla deney yapılır.

Deney sonuçlarının kaydedilmesinde en iyi yöntem, bilgisayar ortamında hazırlanan formların kullanılmasıdır. Örneğin Minitab Release 14 paket programı, deneyde kullanılması düşünülen tasarım, ilgili menüden girildiği takdirde, deney sonuçlarının kaydedilmesi için hazır bir form vermektedir.

10. Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi.

Faktörlerin incelenip, en uygun faktör seviyelerinin tespit edilmesi için beş yöntem kullanılmaktadır. Bunlar:

1. Gözlem metodu
2. Sıralama metodu
3. Sutun farkları metodu
4. Varyans analizi metodu ve
5. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi (FEGG) metodudur.

Bu metotlardan ilk ikisi önemli ve de verimli sonuç veremedikleri için pek kullanılmamaktadır.

11. Doğrulama deneyinin yapılması.

Bu son aşamada deney, seçilen en iyi şartlar altında bir kaç defa tekrarlanır.

Deneyler sonucunda elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapması bulunur.

Sonuçta;

- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlere yakınsa, daha doğrusu deney istenilen sonuçları vermeye başlamışsa çalışmayı sona erdiririz. Bulduğumuz sonuçları en uygun değerler olarak kabul ederiz.

- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık var demektir. Bu durumda proses yeni baştan tekrar incelenip hatalar tespit edilmeye çalışılır. Modelde geri besleme ile elde edilen bilgiler doğrultusunda uygun değişiklikler yapılarak model tekrar çalıştırılır.

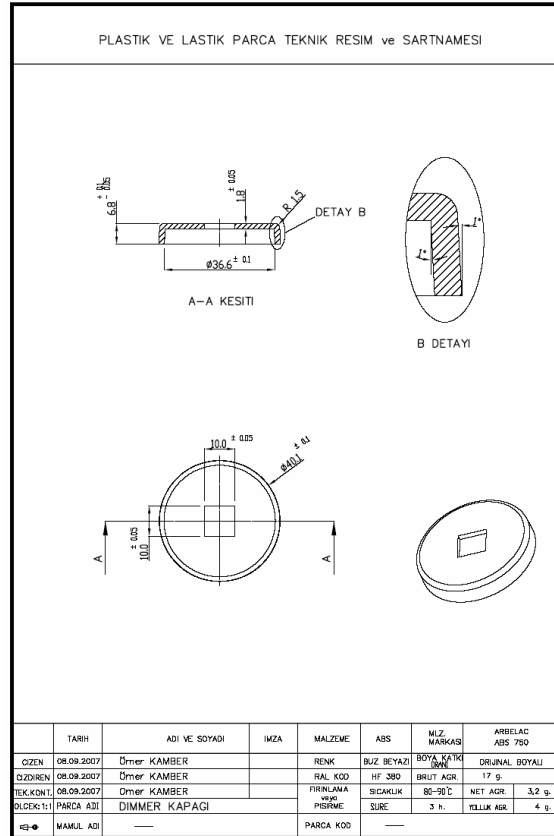
### III.1.2. Deneysel Çalışmaların Taguchi Yöntemi İle Tasarımı

Şekil III-4'deki ürünün enjeksiyon kalıbında elde edilmesinde kullanılacak basınç, sıcaklık ve zaman değerleri gibi parametreler MoldFlow programında yapılan denemeler neticesinde elde edilmiştir.

#### III.1.2.1. Deneylerde Kullanılacak Parça Tasarımı

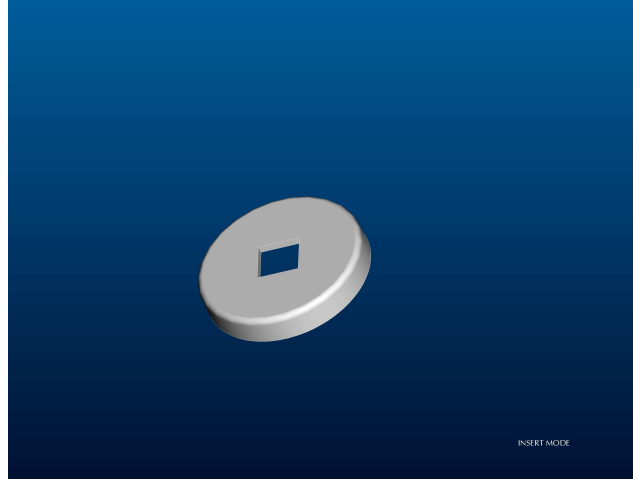
Yapılacak deneylerde kullanılacak parçanın tasarımı yapılırken ölçümlerimizin doğru ve çok yönlü olması için aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

- Çökme miktarlarının kolay tespit edilmesi gerekmektedir.
- Bikaç yönden doğrusal ölçüm yapmaya müsait olmalıdır.
- İçerisine sensör yerleştirilebilecek ebatlarda olmalıdır.
- Çökme miktarlarının tespiti için düzlemsel yüzeye sahip olmalıdır.
- Dairesellik ve düzlemsellik ölçümlerine uygun olmalıdır.
- Taşınabilir ve kolay işlem yapılabilecek ölçülerde olmalıdır.



Şekil III-3 Plastik deney parçası teknik resmi

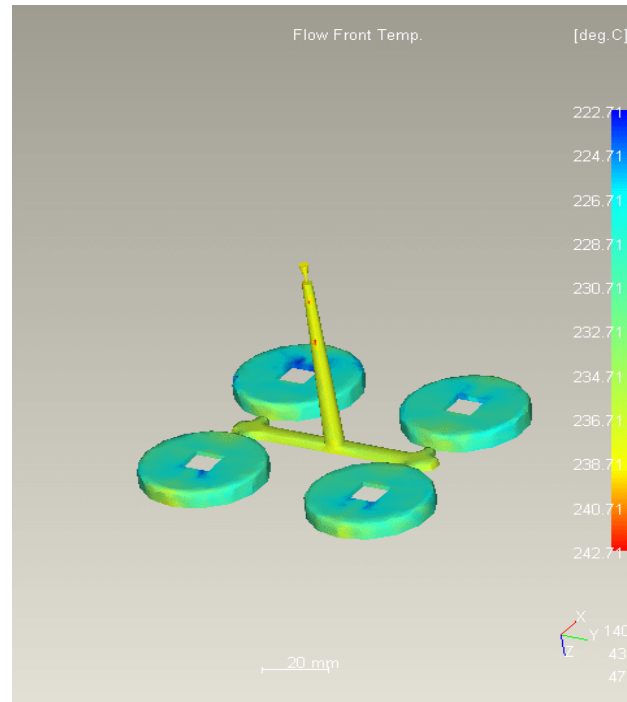
Şekil III-3'de verilen plastik parça teknik resmine göre Pro-Engineer çizim programında parça çizimi üç boyutlu olarak yapılır.



**Şekil III-4** Plastik parçanın kati model resmi (pro-engineer)

### III.1.2.2. Deney Parametre Değerlerinin Tespiti

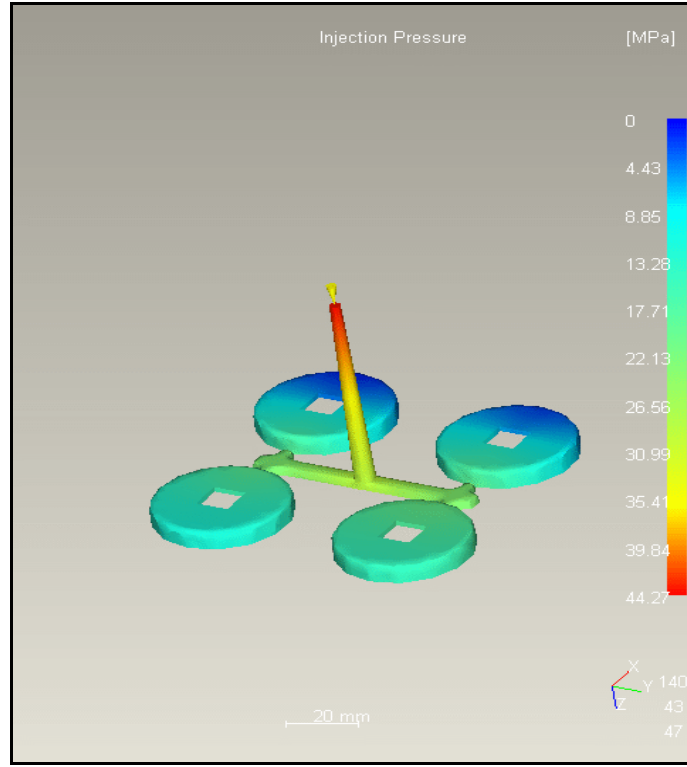
#### 2.a. Sıcaklık Değerlerinin Tespiti



**Şekil III-5** Moldflow programında sıcaklık değerleri

MoldFlow programından 222 °C–242 °C arasında elde edilen ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) malzemenin ergime sıcaklığı Arbelac Plastik hammadde spektlerine göre de 200 °C den başlamaktadır. Yine çeşitli literatürlerden elde edilen ve yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği gibi ABS hammadesi ergime sıcaklığı 200 °C ile 260 °C arasında değişmektedir. Dolayısıyla Deneye başlamadan önce yaptığımız sıcaklık değerlerinin tespiti 185 °C–240 °C arasındadır.

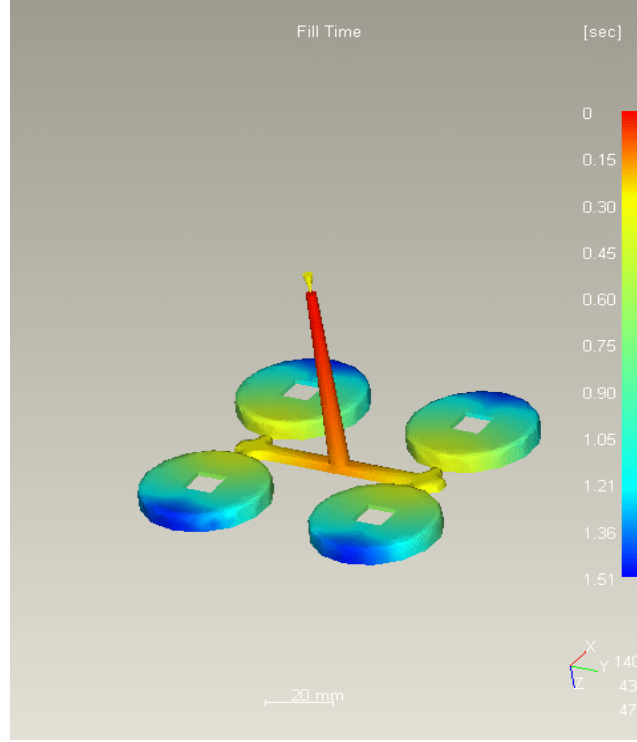
## 2.b. Basınç Değerlerinin Tespiti



Şekil III-6 Moldflow programında enjeksiyon basınç değeri

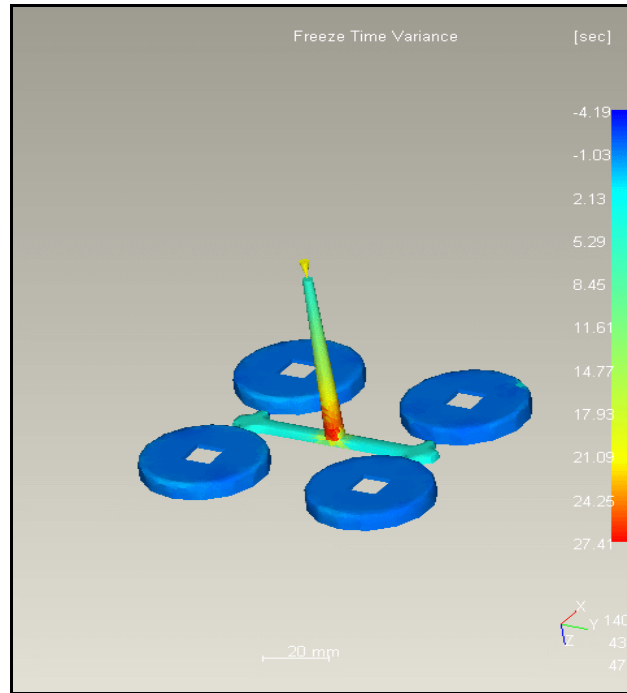
MoldFlow programında da Şekil III-6'daki gibi enjeksiyon basıncı akış ölçümünde yaklaşık yollukların donma süresine kadar oluşan basınç yani parçanın kabul edilebilirlik sınırları içerisinde olan da bu açık yeşilin başlangıç değerinden sarının bitim noktasındaki değerine kadar olan aralıktır. CoMo sisteminde de kalıp gözü içerisinde ölçülen basınçta yaklaşık hep bu aralıklarda çıkmalıdır aksi halde basınç fazlalığından dolayı parçada distorsiyon oluşumları başlayacaktır. Enjeksiyon makinasında ise bu basınca tekabül eden enjeksiyon hidrolik basıncı yaklaşık 900 ile 1000 bar arasında kalan bölgedir.

## 2.c. Zaman Değerlerinin Tespiti



Şekil III-7 Moldflow programında doldurma zamanı

Moldflow programındaki doldurma zamanı analizi bölümünde yola çıkarak elde edilen enjeksiyon doldurma zamanı Şekil II-7'den anlaşılacağı üzere 1.5s gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir.



Şekil III-8 Moldflow programında parça donma zamanı

Yolluk donma süresi ise yine şekilden anlaşılacağı gibi 6-8s civarında bulunmaktadır. Dolayısıyla enjeksiyon zamanı, donma zamanı ve ütüleme zamanının teşkil eden bu süreyi de yaklaşık 28s civarında bir süre tayin etmek zorundayız.

### III.1.2.3. Taguchi Yöntemine Göre Deney Tasarım

Moldflow akış programından elde edilen ergime sıcaklığı, donma zamanı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanı değerlerinin en yüksek, en düşük ve ortalama olduğu noktaları tespit edip bu noktalarda elde edilen en yüksek, en düşük ve ortalama basınç, sıcaklık ve zaman değerleri ile Tablo III-5'i oluşturabiliriz.

**Tablo III-5** Parametreler ve seviyeler

| PARAMETRELER | BASINÇ<br>(bar) |      | SICAKLIK<br>(°C) |     | ZAMAN<br>(s) |    |
|--------------|-----------------|------|------------------|-----|--------------|----|
| Seviye 1     | P1              | 850  | T1               | 185 | Z1           | 20 |
| Seviye 2     | P2              | 900  | T2               | 200 | Z2           | 25 |
| Seviye3      | P3              | 1000 | T3               | 225 | Z3           | 35 |

Parametre değerleri 3 seviyeli seçilmiştir. Dolayısıyla seviye sayısı ve faktör sayısı 3 tür. Bu yüzden Taguchi Metodunun L9 (3\*\*3) ortogonal dizisi kullanılarak deney parçasının üretim şartları oluşturulmuştur.

**Tablo III-6** L9 (3\*\*3) ortogonal dizin

| Deney Sayısı | Faktör Sayısı |   |   |
|--------------|---------------|---|---|
| 1            | 1             | 1 | 1 |
| 2            | 1             | 2 | 2 |
| 3            | 1             | 3 | 3 |
| 4            | 2             | 1 | 2 |
| 5            | 2             | 2 | 3 |
| 6            | 2             | 3 | 1 |
| 7            | 3             | 1 | 3 |
| 8            | 3             | 2 | 1 |
| 9            | 3             | 3 | 2 |

Belirlediğimiz bu en yüksek, en düşük ve ortalama basınç, sıcaklık ve zaman değerlerini Taguchi optimizasyonundaki analiz tablosuna P,T,Z olarak yani basınç, sıcaklık ve zaman değerlerini sadece sembol olarak yerleştirdiğimizde Tablo III-7 elde edilecektir.

**Tablo III-7** L9 Parametrelere göre ortogonal dizin

|   | BASINÇ<br>(bar) | SICAKLIK<br>(°C) | ZAMAN<br>(s) |
|---|-----------------|------------------|--------------|
| 1 | P1              | T1               | Z1           |
| 2 | P1              | T2               | Z2           |
| 3 | P1              | T3               | Z3           |
| 4 | P2              | T1               | Z2           |
| 5 | P2              | T2               | Z3           |
| 6 | P2              | T3               | Z1           |
| 7 | P3              | T1               | Z3           |
| 8 | P3              | T2               | Z1           |
| 9 | P3              | T3               | Z2           |

Elde edilen bu Taguchi analiz tablosuna daha önceden belirlediğimiz en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri sırasına göre yerleştirdiğimizde Tablo III-8 elde edilecektir. Bu yeni tablodaki basınç, sıcaklık ve zaman değerlerine göre deneyleri yaptığımız plastik enjeksiyon makinasında da basınç, sıcaklık ve zaman parametrelerini aynı değerlere getirip sırası ile testlerimizi bu 9 basamakta yapalım.

**Tablo III-8** L9 Nümerik değerlikli tablo

| Deney<br>No | BASINÇ<br>(bar) | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|-------------|-----------------|-------------------|--------------|
| 1           | 850             | 185               | 20           |
| 2           | 850             | 200               | 25           |
| 3           | 850             | 225               | 35           |
| 4           | 900             | 185               | 25           |
| 5           | 900             | 200               | 35           |
| 6           | 900             | 225               | 20           |
| 7           | 1000            | 185               | 35           |
| 8           | 1000            | 200               | 20           |
| 9           | 1000            | 225               | 25           |

## III.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### III.2.1. Malzeme, Makina Ve Ölçme Sistemleri

#### III.2.1.1. Ürün Malzemesi

Üzerinde çalıştığımız malzeme, ABS türü bir hammadde olup Şekil III-3’de verilen bir formda ve yine şekli verilen bir plastik enjeksiyon kalıbında basılarak elde edilmiştir. Ek-A’ da ürünün hammaddesine ait üretici ARBE firmasının verdiği mekanik özellikler yer almaktadır.

#### III.2.1.2. Plastik Enjeksiyon Makinesi

Mold Flow programında elde edilen basınç ve sıcaklık değerleri ile üretilecek kalıp ebadlarını kapsayabilecek kapasitede olduğu tesbit edilen HTW58 tip 58 enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon makinesine ait teknik özellikleri EK C de verilmiştir. Şekil III-9’da kullanılan enjeksiyon makinesi görülmektedir.

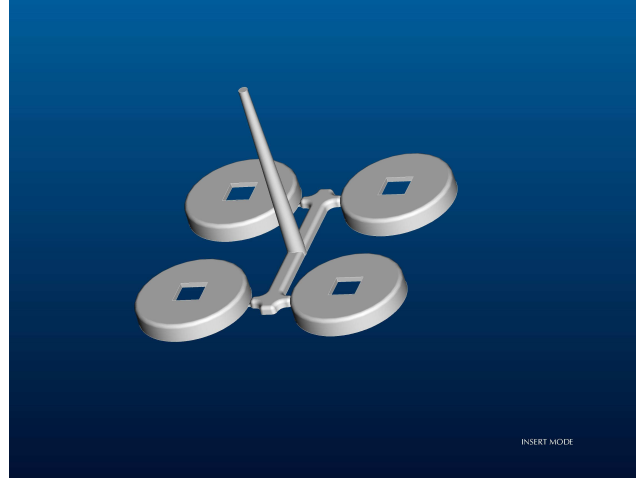


Şekil III-9 Enjeksiyon makinesi

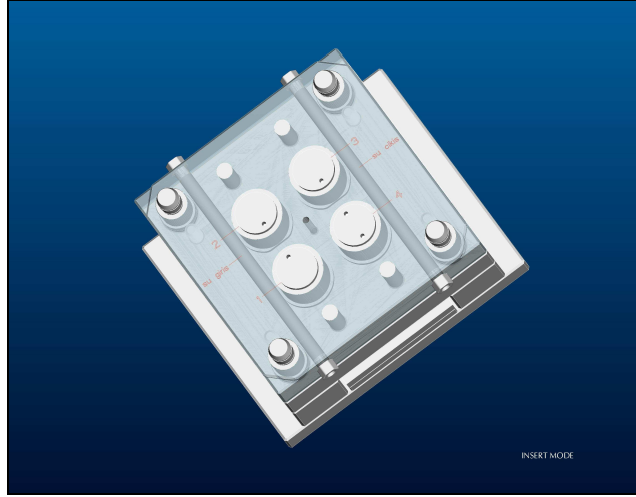
#### III.2.1.3. Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Deney kalıbı Pro-Engineer programında tasarımı yapılarak kalıp 4 gözlü olarak tasarlanır ve bilgisayarda kalıplamaya bu şekilde başlanır. Ayrıca kalıp yolluk girişleri açık yolluk olup her bir göze balanslı yolluk uygulaması ile dağılımı yapılır.

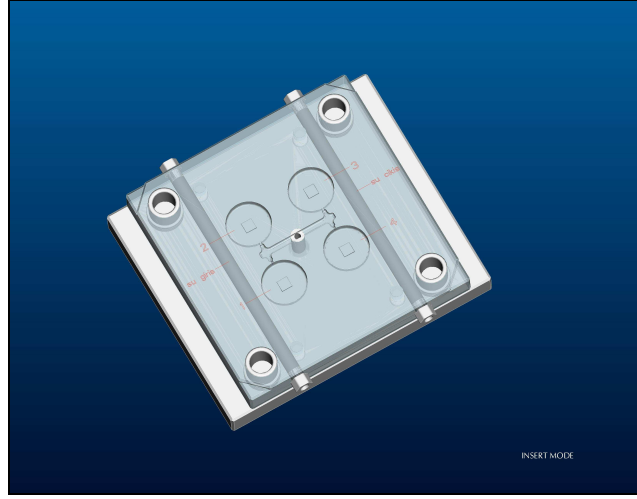
Şekil III-10 'da Pro-Engineer programında yapılan 4 gözlü kalıplanmış parça resmi görülmektedir.



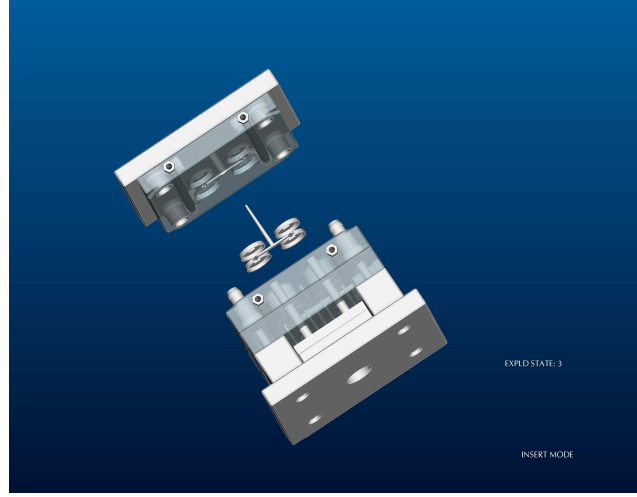
**Şekil III-10** Plastik parçanın 4 gözlü ve yolluk girişli katı modeli



**Şekil III-11** Erkek kısım kalıp tasarımı



**Şekil III-12** Dişi Kalıp tasarımı



**Şekil III-13** Kalıp tasarımı

#### **III.2.1.4. Parçaların Optik Okunması**

Deneylerde elde edilen parçalar 3 boyutlu optik tarayıcı ile 0.004 mm hassasiyetin taranarak bir nokta bulutu halinde görüntü alınır. Bu görüntülerden daha sonra verilen CAD datasına göre üst üste oturtularak parçadaki ölçü farklılıkları tesbit edilir. Optik okuma teknolojisi 3D topometry ve dijital görüntü proseslerini kullanarak, bir objenin yüzeyinin üstünden 3 boyutlu nokta koordinatları alır. Tüm bu proseste tek element ışıktır. Burada kullanılan teknolojiye structured white light triangulation denir.



#### **III.2.1.5. Co-Mo Amplifikatör**

Amplifikatör olarak KISTLER 2869A CoMo tipi amplifikatörü kullanılmıştır. Bu amplifikatör basınç sensöründen ve sıcaklık ısı çiftinden gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir. İki kanallı ve mikroişlemci kontrollü olan bu amplifikatör, basınç sensöründen ve ısı çiftinden gelen sinyalleri yükselterek volt olarak çıkış vermektedir. Bu datalar kullanılan bir soft ware yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır.



**Şekil III-14** Kistler como tipi2869a amplifikatörü

#### **5.a. Analiz Programı**

KISTLER amplifikatöründen alınan dataların değerlendirilmesi ve grafiksel olarak ifade edilmesi için geliştirilen Co-Mo isimli yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde kalıp içerisinden ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri grafiksel olarak görülmekte ve istenildiği takdirde data olarak Microsoft Office Excel programına aktarılabilmektedir.

#### **III.2.1.6. Basınç Ve Sıcaklık Sensörleri**

Deney 1.2.3 nolu gözlerde yolluk yerine yakın ergiyik akış yolunun ilk 1/3 mesafesine 6157BA basınç (P) sensörleri ve 4 nolu göze ise yolluk yerinden uzak 6190BAG (p-T) basınç ve sıcaklık kombine sensörü kullanılarak yapılmıştır. Sensör seçimleri yine Kistler firmasının tavsiyesi ve katalog değerlerine göre yapılmış olup, Tablo III-9'da kullanılan sensör tipleri kullanımlarına ve özelliklerine göre işaretlenmiştir.

**Tablo III-9** Sensörlerin seçim tablosu (kistler)

Sensors for cavity pressure and part surface temperature measurement



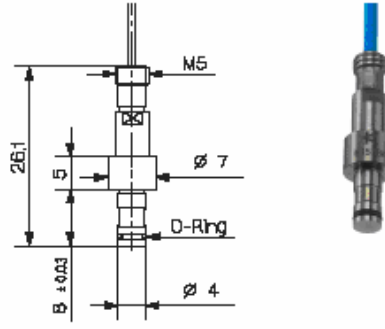
| Direct Measurement                  |                                |                           |                |                           |             |                          |                                          |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|-------------|--------------------------|------------------------------------------|
| Variable                            | Pressure                       |                           |                |                           |             | Pressure and temperature | Temperature                              |
| Pressure range                      | Standard                       |                           | Low pressure   |                           |             | Standard/low pressure    |                                          |
| Process                             | Injection molding              |                           |                |                           | Reaction IM | Injection molding        | Injection molding                        |
| Material                            | Thermoplastics                 | Thermosets Elastomers LSR | Thermoplastics | Thermosets Elastomers LSR | RIM         | Thermoplastics           | Thermoplastics Thermosets Elastomers LSR |
| Front- $\varnothing$ (mm)<br>Sensor |                                |                           |                |                           |             |                          |                                          |
| 9,5                                 |                                |                           |                |                           | 4079A...    |                          |                                          |
| 6                                   | 6152A...                       | 6152A...                  | 6172A...       | 6172A...                  |             |                          |                                          |
| 4                                   | 6157B...<br>6155AE             | 6157B...                  | 6177A...       | 6177A...<br>6167A...      |             | 6190A...                 | 6192A...                                 |
| 2,5                                 | 6158A...<br>6159A...<br>6182AE |                           | 6178A...       |                           |             |                          | 6194A...<br>6195A...                     |
| 1                                   | 6183AE                         |                           |                |                           |             |                          | 6193A...                                 |

**6.a. Basınç Sensörleri**

Deneyde kullanılan P basınç sensörü 1.2.3 nolu gözlere konulmuş ve bu gözler içerisindeki basınç değişimleri ile gerçek göz içi basınç değerleri okunmuştur. Her bir göz içerisinde bulunan basınç sensörleri daha ileride de açıklanacağı gibi sensör üretici firmanın (Kistler) firması tavsiyesi üzerine akış boyunun ilk 1/3 lük kısmına yerleştirilmiştir.

**Tablo III-10** 6157BA basınç (p) sensörü özellikleri

|                                                 |                 |        |                |
|-------------------------------------------------|-----------------|--------|----------------|
| <b>Çalışma Aralığı</b>                          |                 | bar    | 0 ... 2<br>000 |
| <b>Max. Basınç</b>                              |                 | bar    | 2 500          |
| <b>Hassasiyet</b>                               |                 | pC/bar | -9,4           |
| <b>Doğrulama, tüm alanlarda</b>                 |                 | %FSO   | $\leq \pm 1$   |
| <b>Kalıp Çalışma Sıcaklık Aralığı</b>           | 6157BA.../BC... | °C     | 200            |
|                                                 | 6157BB.../BD... | °C     | 300            |
| <b>Sensör Yüzeyi Dayanım Sıcaklığı Bağlantı</b> |                 | °C     | <450           |
|                                                 |                 | °C     | 0 ... 200      |
| <b>Yalıtım Direnci</b>                          | at 20 °C        | TΩ     | >100           |
|                                                 | at 300 °C       | TΩ     | >0,01          |



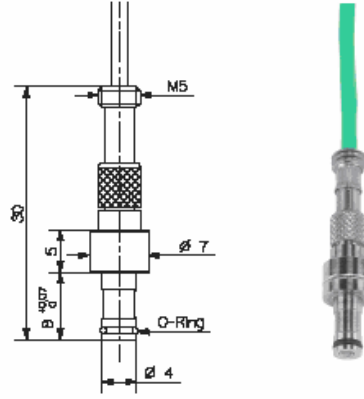
**Şekil III-15** 6157BA basınç sensörü ve özellikleri

#### 6.b. Basınç Ve Sıcaklık Kombine Sensörü

Deneyde kullanılan p-T sensörü sadece 4 nolu gözde birleşme çizgileri oluşum nedenlerinden biri olan sıcaklık değerlerinin okunması amacı ile gözün en son mal birleşme yerine konulmuş olup buradan basınç ve sıcaklık bilgileri okunmuştur.

**Tablo III-11** 6190 BA (p-t) sensör özellikleri

|                                 |           |        |                |
|---------------------------------|-----------|--------|----------------|
| Çalışma Aralığı                 |           | bar    | 0 ... 2<br>000 |
| Max. Basınç                     |           | bar    | 2 500          |
| Hassasiyet                      |           | pC/bar | -9             |
| Doğrulama, tüm alanlarda        |           | %FSO   | ≤±1            |
| Isılçift Tip K                  |           | °C     | NiCr-Ni        |
| Kalıp Çalışma Sıcaklığı         |           | °C     | *0 ... 200     |
| Sensör Yüzeyi Dayanım Sıcaklığı |           | °C     | <450           |
| Yalıtılm Direnci                | at 20 °C  | TΩ     | 100            |
|                                 | at 200 °C | TΩ     | 1              |



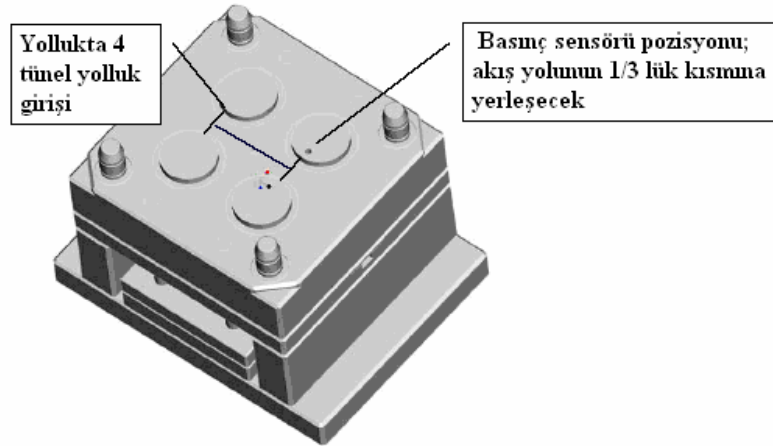
**Şekil III-16** 6190 BA (p-t) basıç ve sıcaklık kombine sensörü ve özellikleri

### III.2.2. Sensörlerin Kalıp İçerisindeki Konumlarının Belirlenmesi

Göz basıncı ölçen sensörlerin kalıp içerisine yerleştirilmesinin Kistler Firması tarafından da teyit edilmiştir.

Yapılan bu deneme kalıbı üretim maksatlı iyi tasarım edilmiş yolluğa sahip düz çalışan bir kalıptır. Çıkışlar tünel çıkış olarak yapılmıştır.

Basıncı izlenimi yapabilmek için burada standart tip 6157 BA sensörü kullanılıp Şekil III-17 'de gösterildiği gibi yolluk girişine yakın konulmalıdır.



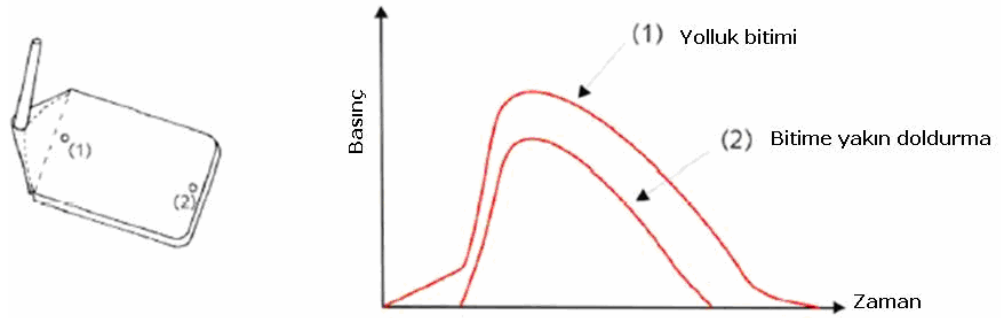
**Şekil III-17** Deney kalıbına sensör yerleşimi

Tam sıfır hata ile ölçüm yapılabilmesi için her göz 6157BA tip sensörler ile donatılmalıdır. Bu, her gözün müstakil olarak maruz kaldığı maksimum basıncı ölçmeyi sağlar. Bu işlem bilhassa dengesiz dağılan yollukların veya arasına dengesiz mal dolmalarının olduğu durumlarda açıkça yararlıdır. Bu ölçümleme sonuçları daha



Belirli makine set durumlarında göz içinde akış boyunca basınç düşer. Mesela, ince cidarlı parçalarda, yolluk sonuna doğru sıkıştırmadan dolayı basınç sona geldikçe düşer. Alınan değerler ve eğriler makine ayarlarını veya kalıbın optimizasyonun yapmayı sağlar.

Kistler Firması tarafından deney kalıbında kullanılacak basınç sensörüne göre tavsiye edilen şekilde yolluk yakınında oluşan basınç izlenimi Şekil III-19 'da verilmiştir.



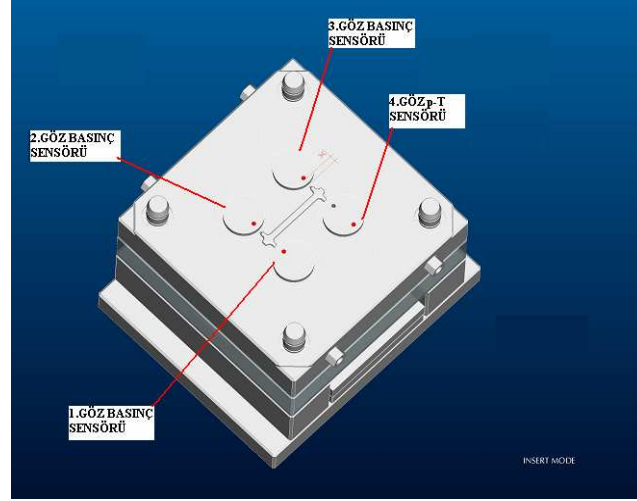
**Şekil III-19** Yolluk yakınında oluşan basınç izlenimi

Şekil III-19'daki şekilden de anlaşılacağı üzere yolluk yakınında maksimum basınç olduğu gözükmemektedir. Dolayısı ile kullanılacak basınç sensörlerinin yolluk yakınına yerleştirilmesi bizlere kalıp gözü içerisinde oluşacak olan en doğru basınç değerini verecektir.

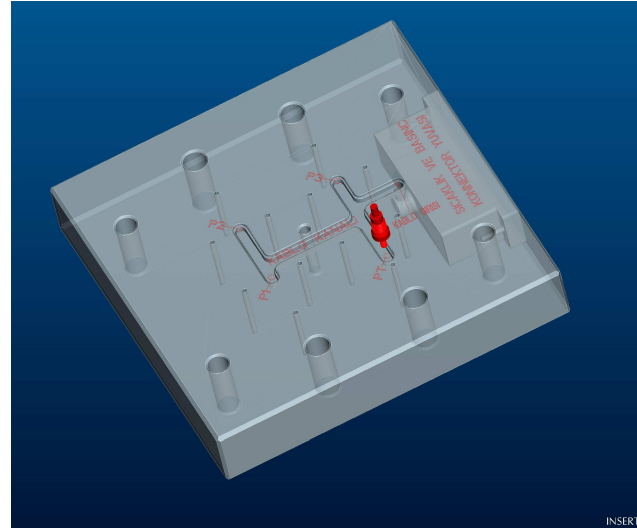
Yapılan bu araştırmalar neticesinde uygulama kalıbımızda ve ondan elde edilecek olan uygulama parçamızda basınç sensörlerimiz kalıbın yolluk girişine yakın olan akış boyunun ilk 1/3 lük kısmına koyulmuştur.

Uygulama parçalarımız Dimmer kapağı İhlas Ev Aletleri San. Tic. Ltd. AŞ. Enjeksiyon tesislerinde üretilmiştir.





Şekil III-21 Sensörlerin Pro-Engineer programında yerleşimi

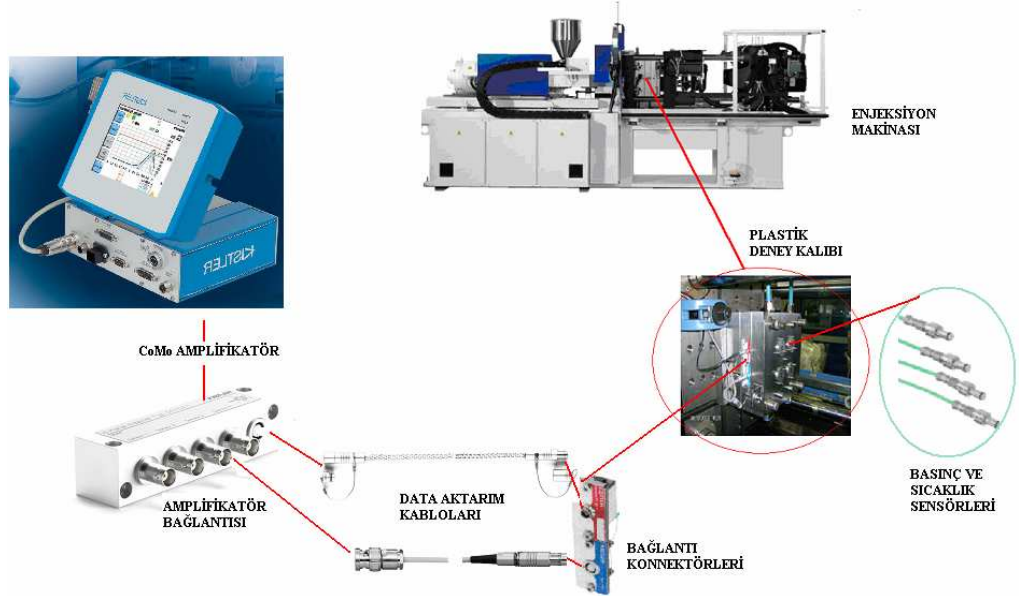


Şekil III-22 Sensör ve kablo kanalı yerleşimi



**Şekil III-23** Deney kalıbına basınç ve sıcaklık konektörlerinin yerleşimi

Taguchi Optimizasyon tekniği kullanılarak yapılan deneysel çalışmaları Şekil III-24'de şematik olarak verilen deney düzeneğine göre gerçekleştirilmiştir.



**Şekil III-24** Deney düzeneği

Kalite mühendisliğinin temel amacı karı arttırmaktır. Kalitesi artan bir ürünün, rekabet edebileceği bir fiyatla pazara sürülmesi, pazarda büyük bir pay alınmasında anahtardır. Öncelikle ürün tasarımının ve proses hattının hedeflenen kalite için, yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Ürün ve proses performansını kontrol edilmesi güç hata faktörlerine karşı duyarsızlaştırarak, ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle geliştiren Taguchi metodu, klasik deney tasarımının Prof. Dr.G. Taguchi tarafından yeniden düzenlenmiş halidir. Uygulamalarda Taguchi metodunun yoğun olarak kullanılma nedeni sunduğu alternatif yöntemler, problemlere adapte edilebilirliği, kısa zamanda pratik ve somut çözümlere ulaşılabilme vb. özelliklerdir.

Yıllardır istenen ürün performansına ulaşmada, yüksek maliyetin gerektiğine inanan mühendisler, teknik elemanlar, sistem tasarımı aşamasından, tolerans tasarımı aşamasına geçmişlerdir. Bu iki aşama arasındaki, kalite ve maliyetler açısından yüksek kazanç sağlayacakları, parametre tasarımı safhasını kullanmamışlardır.

Uygulama safhası, Taguchi Metodunun parametre tasarımı safhasında gerçekleştirilmiştir. Parametre tasarımı için gerekli aşamaların incelenebileceği örnek uygulama parçaları olarak, önceki bölümlerde şekli verilen dimmer kapağı seçilmiştir.

### **III.3. ÇALIŞMANIN PLANLANMASI**

Bu çalışmada iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk kısımda deneysel çalışma yapılmıştır ve deney şartları belirlenirken Parça kalitesine etken olan kalite parametreleri plastik hammadde özelliklerine göre ve literatür araştırmalarından elde edilen verilere göre belirlenmiştir. İkinci kısımda ise, deneysel çalışmada elde edilen verileri değerlendirmek ve doğrulamak için doğrulama deneyleri Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmıştır.

Deneysel çalışmada, sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek için literatürde kullanılmakta olan bir yöntem olan, Termokupl (Isıl çift) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada Termokupl, kalıp iç yüzeyine açılan bir delikten kalıba montaj edilerek sabitlenmiş ve kalıp içerisindeki plastik hammaddenin sıcaklık değişimlerinin okunması sağlanmıştır. Kalıp içerisinde ergiyik olmadığı zamanlarda da ısılıt kalıp yüzey sıcaklığını ölçmektedir. Yapılan çalışma kısmında uygulaması daha detaylı anlatılacaktır.

Kalıp içerisindeki basınç değişimleri ölçümü için de, yine literatür de kullanımı yaygın olan piezoelektrik basınç sensörleri tercih edilmiştir. Yapılan denemede kullanılacak olan bu 4 adet piezoelektrik basınç sensörleri, hazırlanan plastik kalıba kalıp iç yüzeyine belirli bir hassasiyetle açılan bir delikten kalıba montaj edilerek sabitlenmiş ve kalıp içerisindeki plastik hammaddenin basınç değişimlerinin ölçülmesi sağlanmıştır.

Yine yapılan bu denemede kullanılacak olan bir adet basınç ve sıcaklık kombine sensörü de aynı şekilde hazırlanan plastik kalıba kalıp iç yüzeyine belirli bir hassasiyetle açılan bir delikten kalıba montaj edilerek sabitlenmiş ve kalıp içerisindeki plastik hammaddenin sıcaklık basınç değişimlerinin ölçülmesi sağlanmıştır. Bu ölçümler daha sonra da grafiksel olarak aktarılmıştır.

Daha sonra da bu deneylerden elde edilen numuneler üç boyutlu optik okuma cihazı ile 0.004 mm hassasiyetinde okutulup oluşan ölçü farklılıkları tespit edilmiştir.

Araştırmanın ikinci kısmında ise Taguchi optimizasyonu kullanılarak optimum basınç ve sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan deneylerin doğrulanması ise yine deneysel olarak Taguchi optimizasyonuna göre yapılmıştır.

Tez çalışmasında, plastik enjeksiyon makinasında baskısı yapılan şekil ve boyutları belirli olan bir plastik parçanın baskısının yapılıp, bu baskının değişik sıcaklık, basınç ve zaman parametrelerine göre kalitesindeki değişimleri incelenmiştir. Genel olarak çalışmalar, parçanın enjeksiyonda basılırken baskı parametrelerinden sıcaklık, basınç ve zaman parametrelerinin artış, düşüş ve ortalama değerlerine göre baskılarının yapılıp kalite parametrelerine olan uygunluğunun tespitinin yapılması ve bilahare bu uygun olan parametre değerlerine göre de Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak optimizasyonunun yapılmasından oluşmaktadır.

### **III.3.1. Deney Aşamaları**

Tüm çalışmalar aşağıdaki şekilde görüldüğü sırasıyla yapılmıştır.

- Üzerinde testlerin yapılacağı test parçasının tasarımının yapılması
- Test parçasının üretileceği plastik kalıbının tasarımının yapılması
- Test parçasının kalıbının imalatının yapılması
- Test parçasının kalıbına yerleştirilecek sensör tiplerinin tesbiti ve temini
- Test kalıbına sensörlerin yerleştirilmesi
- Test düzeneğinin kurulması

- Test parçasının kalıbının seçilen plastik hammadde ile enjeksiyon yapılması
- Basınç-sıcaklık ve zaman değişimlerine bağlı olarak birçok baskı yapıp örnekler alınarak her bir kalıp gözü içerisinde ölçülen basınç değerlerinin tespiti ve diyagramlarının çıkarılması
- Aynı işlemlerin bir göze yerleştirilmiş olan sıcaklık sensörü içinde yapılması ve örneklerin alınarak değişik değerlerde diyagramların çıkarılması
- Aynı işlemlerin değişen zaman değerlerine göre de yapılması örneklerin alınması ve basınç-zaman ile sıcaklık-zaman diyagramlarının çıkarılması
- Alınan tüm basınç- sıcaklık ve zaman değerlerinin enjeksiyon makinası üzerinden ölçülen değerler ile karşılaştırılması
- Tüm bu örnek alınan parçaların boyutsal farklılıklarının üç boyutlu optik ölçüm cihazları ile belirlenmesi
- Tüm bu örnek alınan parçaların renk farklılıkları, birleşme izi, gaz çıkışı ve birikimi, çarpımları, çöküntü ve çapak problemlerinin, parlaklık gibi özelliklerinin tek tek incelenmesi.
- Estetik özelliklerinin düşük, yüksek ve normal değerlere göre belirlenmesi
- Boyutsal farklılıkların optik okuma sonrasında katı model ile karşılaştırılması
- Yapılan bu çalışmalardan elde edilen basınç, sıcaklık ve zaman değerlerinin Taguchi optimizasyonuna göre optimize edilmesi.

## BÖLÜM IV.

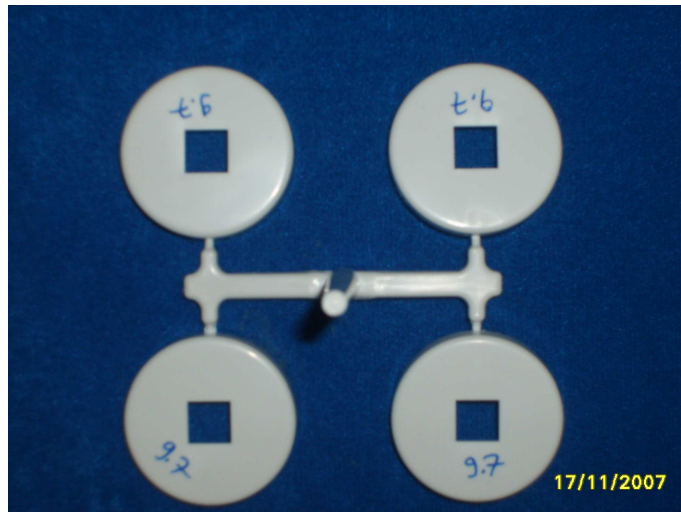
### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### IV.1. SONUÇLAR

Taguchi deneysel tasarım yöntemine göre yapılan deneylerde CoMo sistemi ile 9 değişik grafik grubu elde edilmiş ve bunlardan 7 nolu deney grafikleri ve sonuçları ölçüm analizleri ile beraber burada örnek olarak verilmiş olup, diğer deney sonuç grafikleri EK D bölümünde verilmiştir.

Tüm deneylerde yapılan baskıların 2 nolu gözünden alınan parçalar üç boyutlu optik okuma cihazlarında 0,004 mm hassasiyetinde optik olarak fotoğraf görünümünde taranmış ve ana katı model ile üst üst ve hep aynı noktalardan oturtularak üç boyutlu olarak ve yüzeysel olarak farklılıkları ortaya konulmuştur. Böylece elde edilen tablolardan da Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak da en iyi enjeksiyon parametreleri tespit edilmiştir.

Şekil IV-1'de 7 nolu deneyden elde edilen parça resimde dikkatle incelenecek olursa bu baskının diğer baskılardan daha göz doldurucu olduğuda açıkça gözükmemektedir. İleriki bölümlerde bu parça ile ilgili yüzeysel ve ölçüsel farklılıklarda incelenecektir.



Şekil IV-1 7 nolu deneyde elde edilen parça

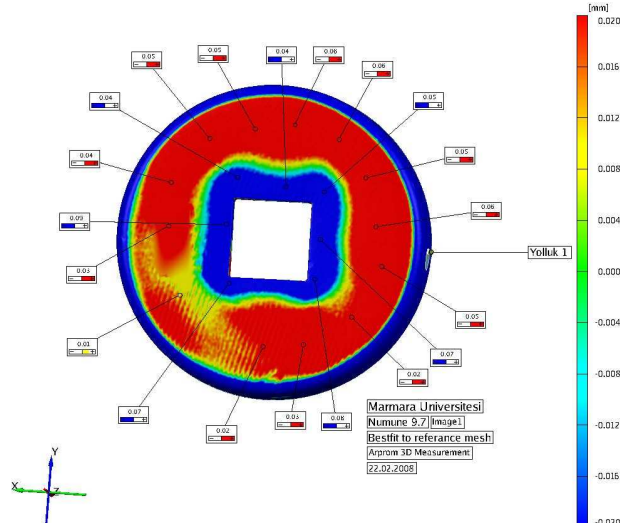
| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                                                                                                                     | SICAKLIK<br>( C°)                                             | ZAMAN<br>(s) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| 1000                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 185                                                           | 35           |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 1<br/> bar<br/> s<br/> Channel: 1: Cav. 1<br/> ymax: 303.9 bar<br/> at: 3.441 s </div> <div> </div> </div>                                                                              |                                                               |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 2<br/> bar<br/> s<br/> Channel: 2: Cav. 2<br/> ymax: 333.3 bar<br/> at: 3.441 s </div> <div> </div> </div>                                                                              |                                                               |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 3<br/> bar<br/> s<br/> Channel: 3: Cav. 3<br/> ymax: 348.8 bar<br/> at: 3.564 s </div> <div> </div> </div>                                                                              |                                                               |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 4<br/> bar<br/> s<br/> Channel: 4: Cav. 4<br/> ymax: 314.7 bar<br/> at: 3.391 s </div> <div> </div> </div>                                                                              |                                                               |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 5<br/> Cel<br/> s<br/> Channel: 5: temp<br/> ymax: 54.63 Cel<br/> at: 3.834 s </div> <div> </div> </div>                                                                                |                                                               |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj<br/> Info: OK: 25 NOK: 78<br/> Cycl: 103<br/> Ch: 5<br/> %FS<br/> s<br/> 1: 450.0 bar Cav. 5: 0.000...100.0 Cel temp<br/> 2: 450.0 bar Cav. 6: off<br/> 3: 450.0 bar Cav. 7: off<br/> 4: 450.0 bar Cav. 8: off </div> <div> </div> </div> |                                                               |              |
| 7.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                                                                                                                            | 7.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık |              |

Şekil IV-2 7 nolu deney sonuç grafikleri

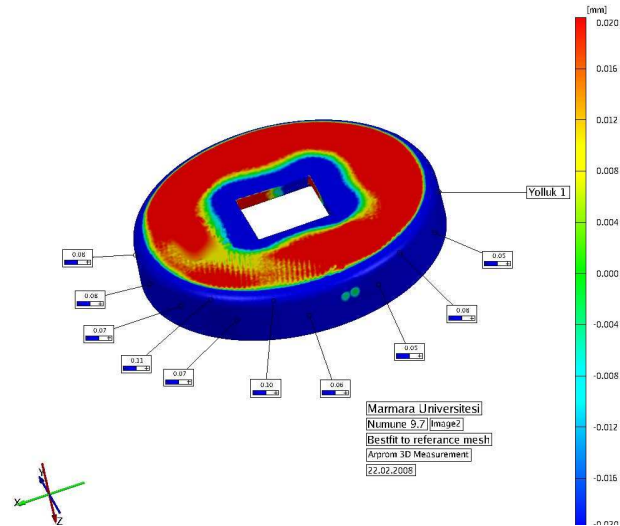
Taguchi analiz tablosundan 7 nolu deney için elde edilen bu değerlere göre ayarlanan plastik enjeksiyon makinasından baskı alınarak bu deneyler yapılmış ve 7 nolu deney değerlerine göre yapılan deney sonucunda da Şekil IV-2'deki grafikler

elde edilmiştir. Şekil IV-2’de görüldüğü gibi enjeksiyon basınç değeri 1000 bar, sıcaklık 185 °C ve zaman ise 35 s olarak seçilmiştir. Burada basınç değeri 1000 bar a çıktığından dolayı parça estetik olarak da kabul edilebilir niteliktedir.

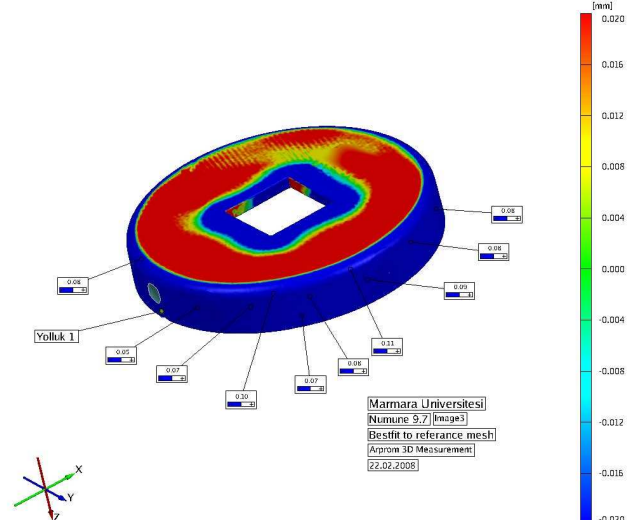
Grafikten de anlaşılabacağı gibi kalıp içerisinde bulunan her bir göze uygulanan basınç daha önceden kabul kriterlerine göre ayarlanan basınç, sıcaklık ve zaman değerleri uygun olmadığı için tüm gözlerdeki parça kabul/ red rengi yeşil, sonucu ise okey olarak verilmektedir.



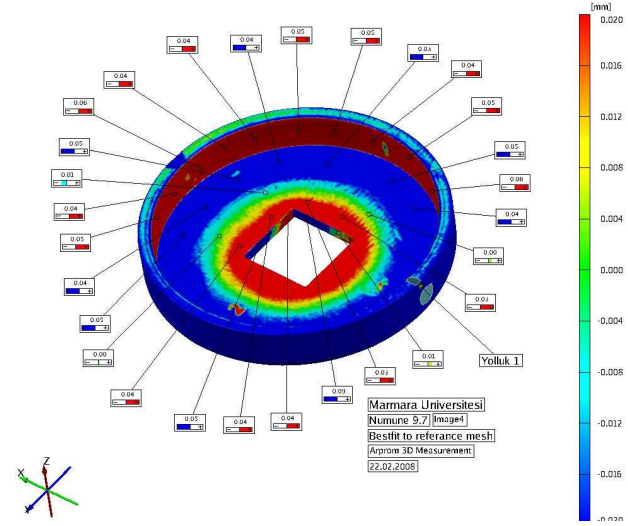
Şekil IV-3 7 nolu deney üst yüzey ölçümleri



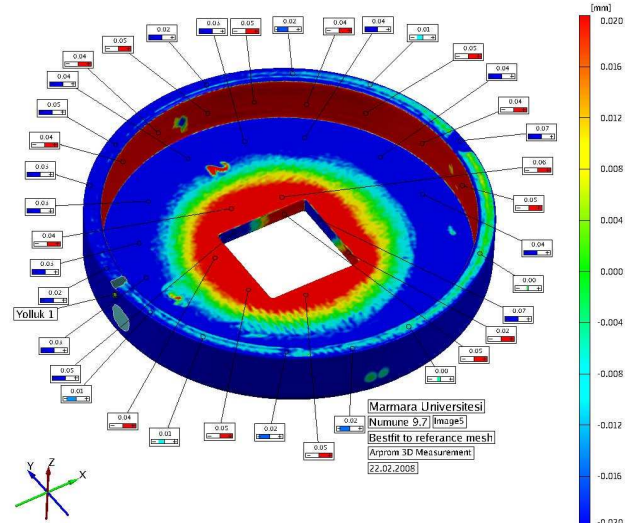
Şekil IV-4 7 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



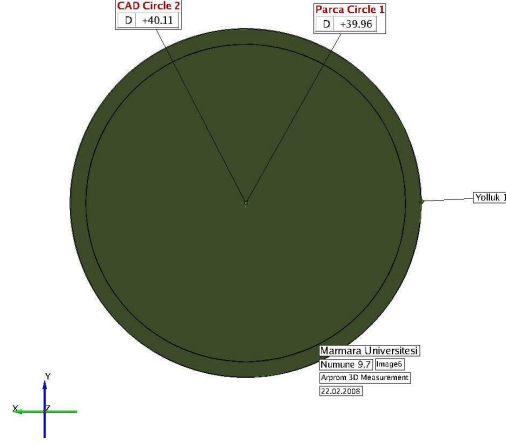
Şekil IV-5 7 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



Şekil IV-6 7 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil IV-7 7 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri

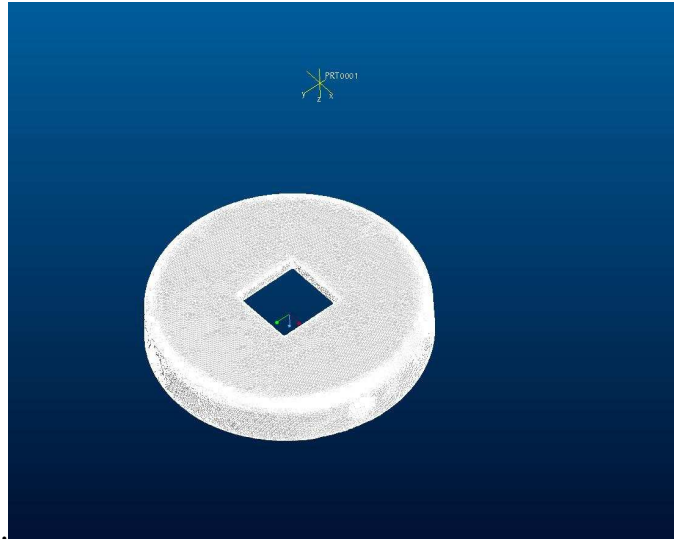


**Şekil IV-8** 7 nolu deney dairesellik ölçümleri

#### **IV.1.1. Parçaların Optik Okunması**

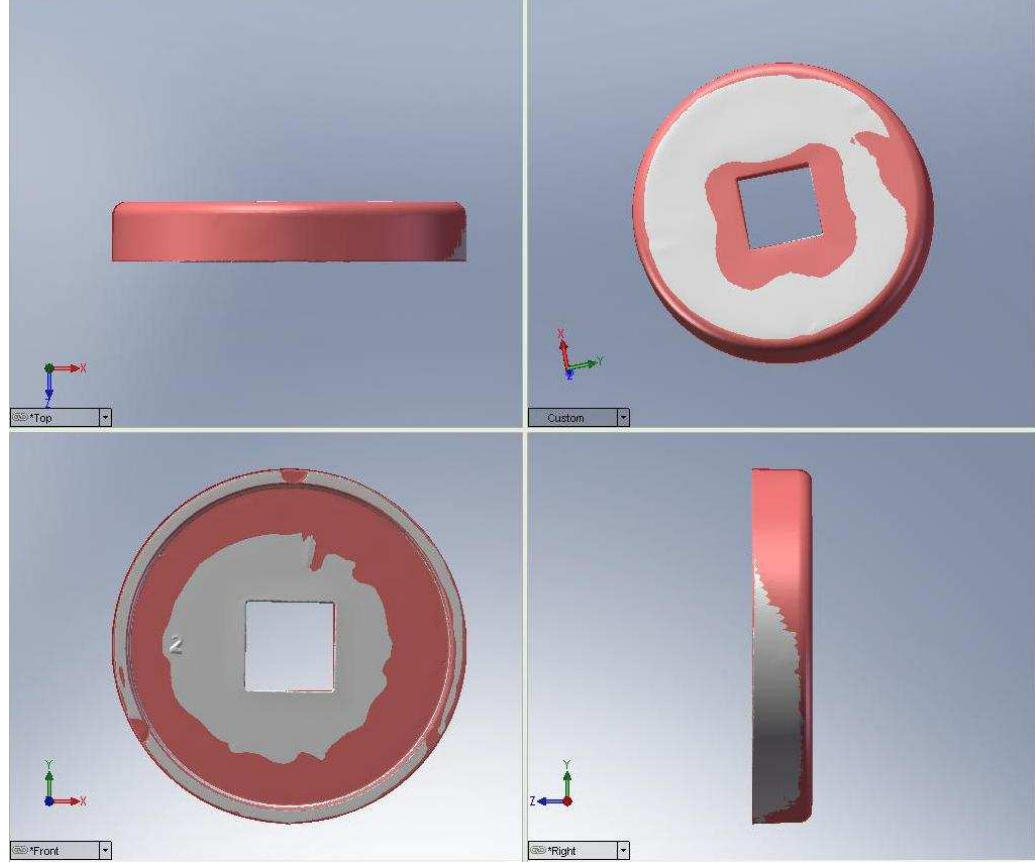
Yukarıdaki şartlarda elde ettiğimiz bu plastik parça üç boyutlu optik okuma cihazlarında 0,004 mm hassasiyetinde optik olarak fotoğraf görünümünde taranmış ve ana katı model ile üst üst ve hep aynı noktalardan oturtularak üç boyutlu olarak ve yüzeysel olarak farklılıkları ortaya konulmuştur.

Şekil IV-9'da ise üç boyutlu optik fotoğraflardan elde edilen nokta bulutunun tel-kafes sistemi ile örülmüş yüzey ve daha sonrada katıya çevrilmiş hali görülmektedir.



**Şekil IV-9** Nokta bulutundan oluşturulan yüzey

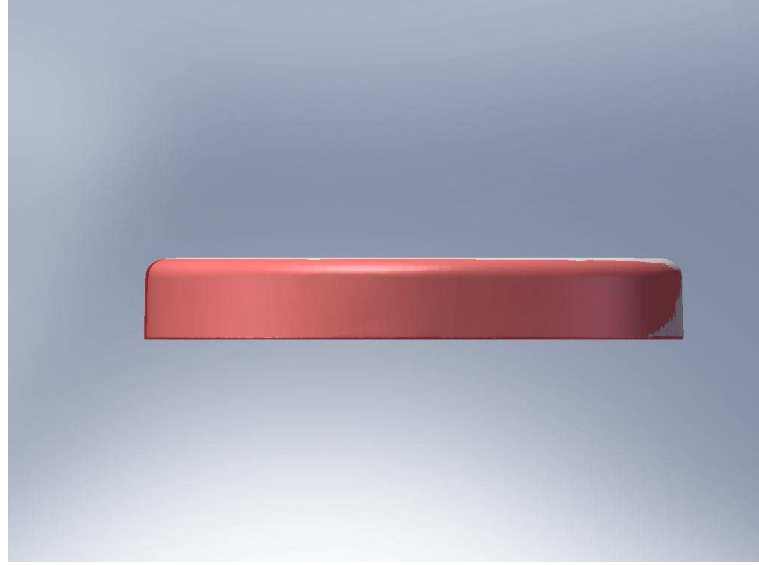
Daha sonra bu örülmüş yüzeyden elde edilen katı görüntü, Pro-engineer programında çizilen katı model üzerine oturtularak yüzeysel ve ölçüsel olarak farklılıklar elde edilmektedir.



**Şekil IV-10** Katı model ile nokta bulutunun karşılaştırılması

Şekil IV-11 'de asıl katı model ile bu asıl katı modelin üzerine oturtulmuş olan bu yeni katı resim arasındaki farklılıkları, yüzeysel çöküntüleri ve ölçüleri, yüzeysel kabarmalar ve ölçüleri, dairesellik, birleşme izleri ve ölçüsel olarak bazı noktalar arasındaki farklar tespit edilmiştir. Bu farklara göre parçanın kabul veya red kriterleride ortaya çıkmaktadır.

Bu şekilde yapılan tüm deneylerde 4 ve 7 nolu deneylerdeki sonuçlardan elde edilen parçalar CoMo sisteminde kabul görmüş (okey almış) diğer deneylerden çıkan parçalar ise red durumundadır.



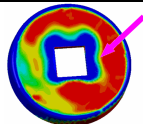
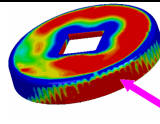
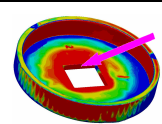
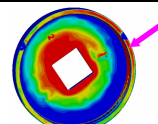
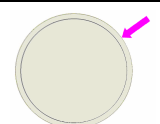
**Şekil IV-11** Elde edilen yüzey ile katı model maksimum farkı

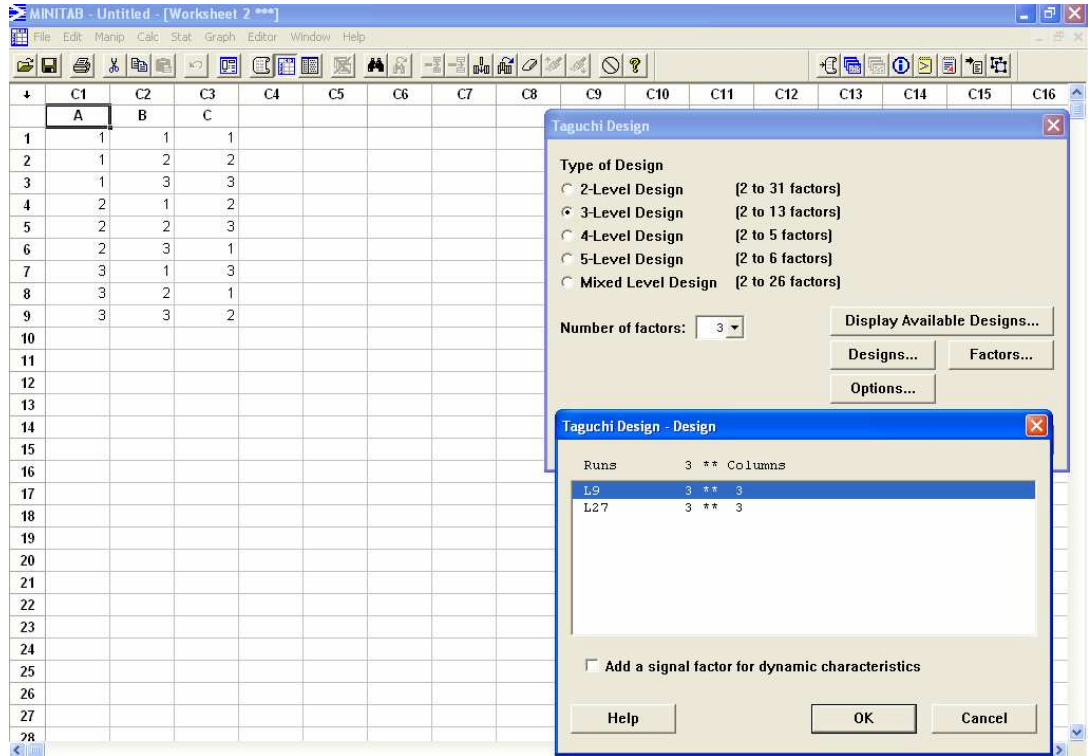
Şekil IV-11’de ana parça ile deney parçası arasındaki çöküntü miktarı yine üst üste getirilerek ortaya çıkarılan bir görüntüdür. Bu resimde meydana çıkarılan fark yukarıdaki ölçümlerde 7.deneyin ölçümlerinden alınmıştır. Parça üzerinde üst yüzey çöküntü miktarları ve kapak çember çöküntü miktarları ile dairesellik farklılıkları ilerideki bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

#### **IV.1.2. Deneylerden Elde Edilen Parçaların Ölçüm Sonuçlarına Göre Minitab R14 İle Taguchi Analizinin Yapılması**

Minitab R14, veri analizi ve sunumu için kapsamlı ve kullanımı kolay bir istatistiksel yazılım paketidir. Birden fazla çalışma sayfasını ve grafiği saklayabilmek, grafikleri birden fazla formatta kaydedebilmek ve grafikleri diğer uygulamalara ihraç edebilmek yazılımın özelliklerinden birkaçıdır. Yeni başlayanlardan profesyonel şirketlere kadar, dünyanın her yerindeki kalite uzmanları, temel ve ileri düzeyde istatistik, regresyon ve ANOVA, SPC, DOE, güvenilirlik ve ihtiyaç duydukları daha pek çok metot için MINITAB’ı tercih etmişlerdir.

**Tablo IV-1** Deney parçalarının ölçüm neticeleri

|   |                                                                                   |              |            |                                                                                   |              |            |                                                                                   |              |            |                                                                                    |              |            |                                                                                     |              |            |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
|   |  |              |            |  |              |            |  |              |            |  |              |            |  |              |            |
|   | Y EKSENİ ÇÖKME                                                                    |              |            | X EKSENİ ÇÖKME                                                                    |              |            | KARE ÖLÇÜSEL BOZUKLUĞU                                                            |              |            | KAPAK ÇEMBERDE ÇÖKME                                                               |              |            | DAİRESELLİK                                                                         |              |            |
|   | Min.<br>(mm)                                                                      | Max.<br>(mm) | ΔY<br>(mm) | Min.<br>(mm)                                                                      | Max.<br>(mm) | ΔX<br>(mm) | Min.<br>(mm)                                                                      | Max.<br>(mm) | ΔL<br>(mm) | Min.<br>(mm)                                                                       | Max.<br>(mm) | ΔÇ<br>(mm) | Min.<br>(mm)                                                                        | Max.<br>(mm) | ΔD<br>(mm) |
| 1 | 0,160                                                                             | 0,050        | 0,210      | 0,160                                                                             | 0,010        | 0,170      | 0,100                                                                             | 0,070        | 0,170      | 0,190                                                                              | 0,000        | 0,190      | 0,070                                                                               | 0,000        | 0,070      |
| 2 | 0,090                                                                             | 0,070        | 0,160      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,110                                                                             | 0,080        | 0,190      | 0,090                                                                              | 0,000        | 0,090      | 0,040                                                                               | 0,000        | 0,040      |
| 3 | 0,100                                                                             | 0,070        | 0,170      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,070                                                                             | 0,050        | 0,120      | 0,100                                                                              | 0,000        | 0,100      | 0,000                                                                               | 0,020        | 0,020      |
| 4 | 0,070                                                                             | 0,060        | 0,130      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,150                                                                             | 0,120        | 0,270      | 0,090                                                                              | 0,000        | 0,090      | 0,040                                                                               | 0,000        | 0,040      |
| 5 | 0,090                                                                             | 0,070        | 0,160      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,150                                                                             | 0,110        | 0,260      | 0,070                                                                              | 0,000        | 0,070      | 0,020                                                                               | 0,000        | 0,020      |
| 6 | 0,100                                                                             | 0,080        | 0,180      | 0,050                                                                             | 0,000        | 0,050      | 0,050                                                                             | 0,020        | 0,070      | 0,110                                                                              | 0,000        | 0,110      | 0,000                                                                               | 0,030        | 0,030      |
| 7 | 0,090                                                                             | 0,060        | 0,150      | 0,110                                                                             | 0,000        | 0,110      | 0,090                                                                             | 0,050        | 0,140      | 0,070                                                                              | 0,000        | 0,070      | 0,040                                                                               | 0,000        | 0,040      |
| 8 | 0,100                                                                             | 0,050        | 0,150      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,030                                                                             | 0,010        | 0,040      | 0,090                                                                              | 0,010        | 0,100      | 0,010                                                                               | 0,000        | 0,010      |
| 9 | 0,090                                                                             | 0,090        | 0,180      | 0,100                                                                             | 0,000        | 0,100      | 0,100                                                                             | 0,080        | 0,180      | 0,080                                                                              | 0,000        | 0,080      | 0,000                                                                               | 0,030        | 0,030      |



**Şekil IV-12** L9 (3\*\*3) ortogonal deney düzeni seçilmesi

Yapılan bu çalışmada da öncelikli olarak belirlenen faktör ve seviyelere uygun olan L9 (3\*\*3) deney düzeni aşağıdaki adımlar takip edilerek seçilir.

**Stat>DOE>Taguchi>Create Taguchi Design**

L9 (3\*\*3) ortogonal deney düzeni seçildikten sonra ölçüm yapılan veriler çalışma sayfasına girilir.

Bu işlemlerin ardından program analiz yapılmaya uygun hale gelmiştir. Analizler parçanın boyutsal değişimleri (mm) olarak için ayrı ayrı yapılmıştır. Tüm ölçüm sonuçları Tablo IV-2’de belirtilmiştir. Ancak genel olarak Taguchi analizinin Minitab R14 de nasıl yapıldığını anlamak için ölçü değişimleri (mm) değerleri için şu adımlar takip edilir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen parçaların üst yüzeydeki ve kapak çemberdeki çökme ile dairesellik ölçümlerinde en küçük değer en iyi değer olduğu varsayıldığı için en küçük en iyi kriteri seçilmiştir.

**Stat>DOE>Taguchi>Analyze Taguchi Design**

**-Response Data>Y eksenı çökme, X eksenı çökme, Kare Ölçüsel Değişim, Kapak çemberde çökme ve Dairesellik** seçilir,

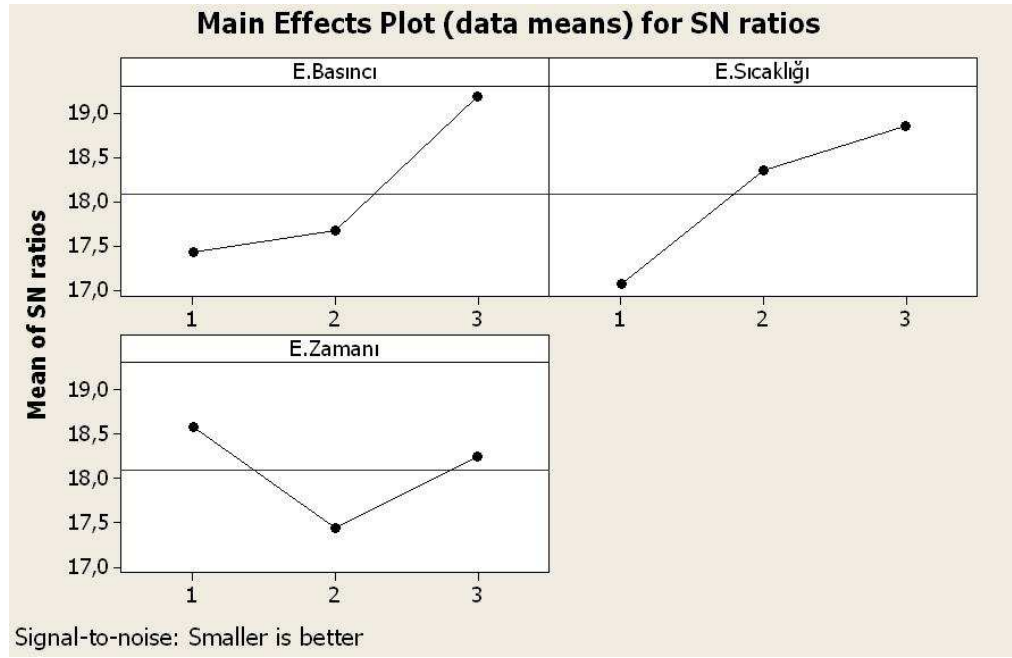
**-Analysis>Display Response Table for>Signal to Noise Ratio ve Means** işaretlenir>OK

**-Terms>Factors, Selected Terms kısmına çift tıklanarak alınır>OK**

**-Options>Smaller is the better>OK>OK**

**Tablo IV-2 L9(3\*\*3) Minitab programında verilerin girilmesi**

| E. Basıncı | E. Sıcaklığı | E. Zaman | Yekseni Çökme (mm) | X eksenı Çökme (mm) | Kare Ölçüsel Değişim (mm) | Kapak çemberde çökme (mm) | Dairesellik (mm) | SNRA1   | MEAN1 |
|------------|--------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|---------|-------|
| 1          | 1            | 1        | 0,21               | 0,17                | 0,17                      | 0,19                      | 0,07             | 15,4394 | 0,162 |
| 1          | 2            | 2        | 0,16               | 0,10                | 0,19                      | 0,09                      | 0,04             | 17,8835 | 0,116 |
| 1          | 3            | 3        | 0,17               | 0,10                | 0,12                      | 0,10                      | 0,02             | 18,9483 | 0,102 |
| 2          | 1            | 2        | 0,13               | 0,10                | 0,27                      | 0,09                      | 0,04             | 16,5956 | 0,126 |
| 2          | 2            | 3        | 0,16               | 0,10                | 0,26                      | 0,07                      | 0,02             | 16,6354 | 0,122 |
| 2          | 3            | 1        | 0,18               | 0,05                | 0,07                      | 0,11                      | 0,03             | 19,7634 | 0,088 |
| 3          | 1            | 3        | 0,15               | 0,11                | 0,14                      | 0,07                      | 0,04             | 19,1578 | 0,102 |
| 3          | 2            | 1        | 0,15               | 0,10                | 0,04                      | 0,10                      | 0,01             | 20,5355 | 0,080 |
| 3          | 3            | 2        | 0,18               | 0,10                | 0,18                      | 0,08                      | 0,03             | 17,8463 | 0,114 |



**Şekil IV-13** Tüm ölçümler için S/N oranı sonuç grafikleri

Yaptığımız bu çalışmalar neticesinde, elde edilen tüm deney numuneleri üzerinde boyutsal ölçüm analizleri yapıldı. Deney verilerinin Minitab R14 programında analizleri yapıldı ve optimum faktör–seviye kombinasyonları belirlendi. Çöküntü ve dairesellik değerleri için S/N oranları en küçük en iyi kriterine göre analizleri yapılmıştır.

Şekil IV-13’den anlaşılacağı üzere S/N oranının maksimum olduğu değerler optimum faktör seviyelerini göstermektedir. Yukarıda bulunan optimum faktör–seviye kombinasyonları şu şekilde gerçekleşmiştir.

Enjeksiyon Basıncı :P3 =1000 bar  
 Enjeksiyon Sıcaklığı :T3 = 225 °C  
 Enjeksiyon proses süresi :Z1 = 20 s

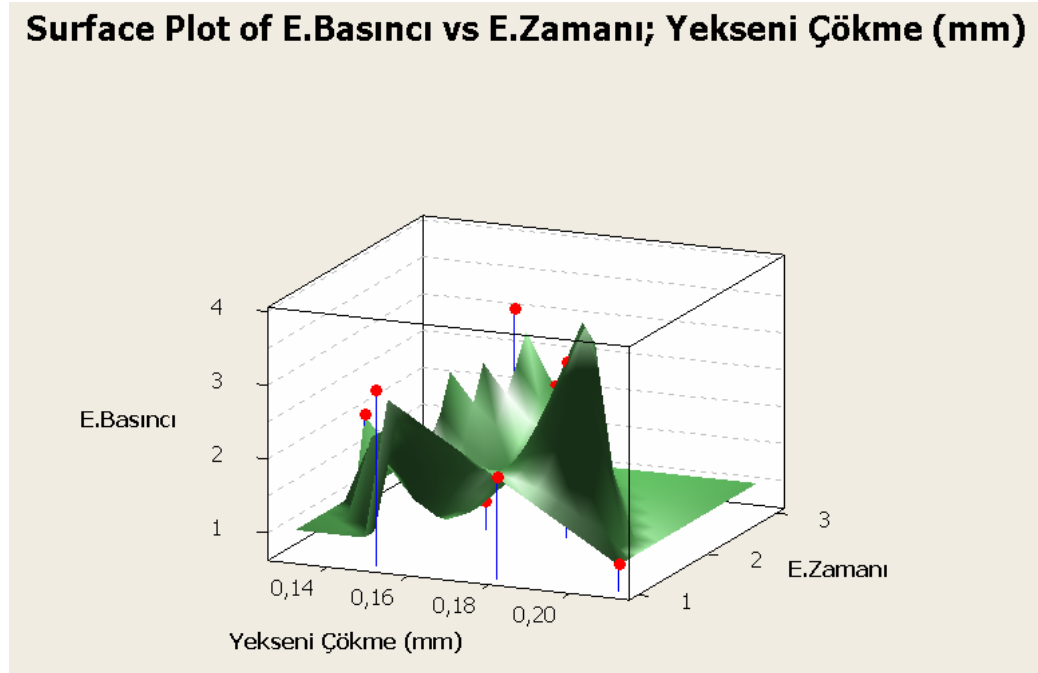
#### **IV.1.3. Basınç, Sıcaklık Ve Zaman Parametrelerine Göre Çöküntü Miktarlarının İncelenmesi**

##### **IV.1.3.1. Basınç Ve Zaman Parametresinin Çöküntüye Etkileri**

Minitab programında yapılan üç boyutlu grafik incelemesinde basınç ve zaman parametrelerinin parça kalitesine çöküntü olarak etkimesi incelenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere parçanın çöküntülü olmasına sebep olan etkenlerden biri düşük enjeksiyon basıncı, bir diğeri de düşük proses zamanıdır. Şekil IV-14’ de enjeksiyon

basıncın 1. seviyede yani 850 bar da, enjeksiyon zamanının da 1.seviyede yani 20s de olması parçanın en yüksek çöküntü miktarında olmasını göstermektedir.

Hâlbuki çökme değerinin en düşük olduğu noktalarda da enjeksiyon basıncı 2.ve 3. seviye arasında, donma zamanı da yine 2. ve 3. seviyeler arasında olması gerektiği gözlemlenmektedir.



**Şekil IV-14** Basıncı ve Zaman parametresine göre çöküntü

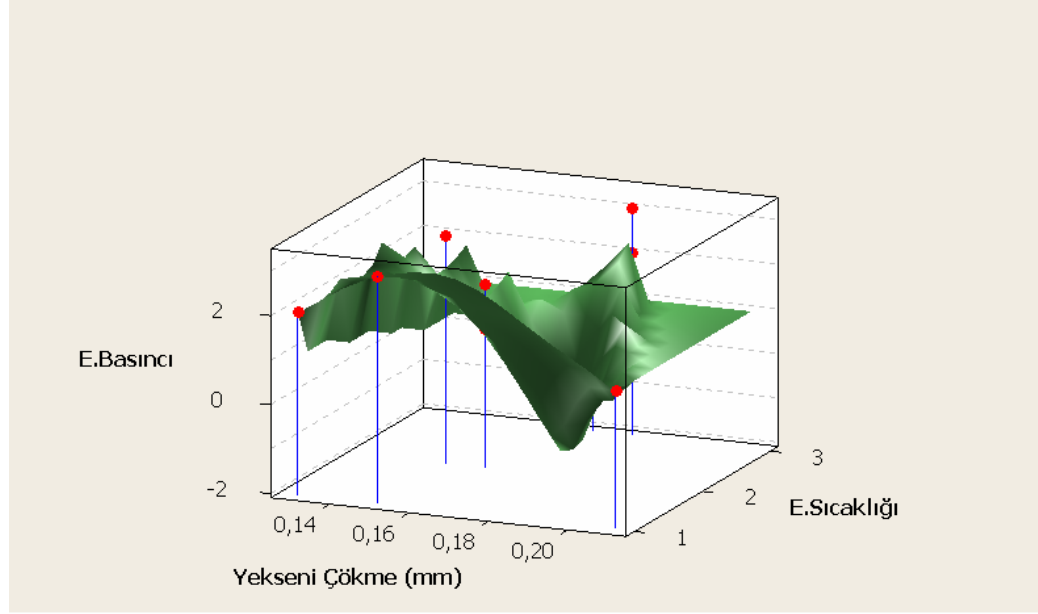
#### IV.1.3.2. Basıncı Ve Sıcaklık Parametresinin Çöküntüye Etkileri

Minitab programında yapılan üç boyutlu grafik incelemesinde basınç ve sıcaklık parametrelerinin parça kalitesine çöküntü olarak etkimesi incelenmiştir. Şekil IV-15’den anlaşılacağı üzere parçanın çöküntülü olmasına sebep olan başka bir etken düşük enjeksiyon sıcaklığıdır.

Şekil IV-15’de enjeksiyon basıncın 1. seviyede yani 850 bar da, enjeksiyon sıcaklığının da 1.seviyede yani 185°C de olması parçanın en yüksek çöküntü miktarına sahip olmasını göstermektedir.

Yine grafik dikkatle incelenecek olursa sıcaklığın artması durumunda da eğer uyguladığımız enjeksiyon basıncı düşük ise yalnız başına sıcaklığın artması parça kalitesindeki çökme miktarı olarak çok fazla bir pozitif değişim sağlayamamıştır. Demek oluyor ki, bir plastik parçada çöküntüyü azaltabilmek için öncelikle enjeksiyon basıncının artması gerekmektedir.

### Surface Plot of E.Basıncı vs E.Sıcaklığı; Yekseni Çökme (mm)



Şekil IV-15 Basınç ve sıcaklık parametresine göre çöküntü

#### IV.1.3.3. Sıcaklık Ve Zaman Parametresinin Çöküntüye Etkileri

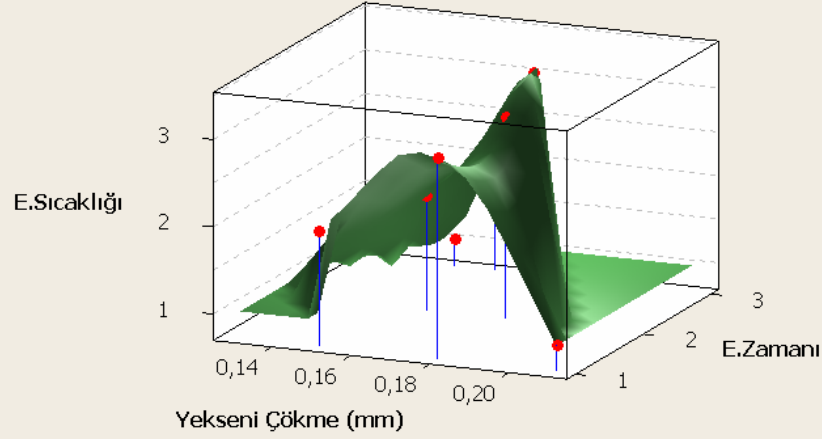
Minitab programında yapılan üç boyutlu grafik incelemesinde sıcaklık-zaman parametrelerinin parça kalitesine çöküntü olarak etkimesi incelenmiştir. Yine Şekil IV-16'da düşük enjeksiyon sıcaklığının ve düşük enjeksiyon donma zamanının parçadaki çökme miktarını oldukça arttırdığı gözükmemektedir.

Şekil IV-16'da enjeksiyon sıcaklığının 1.seviyede yani 185°C de olması ve proses zamanının da minimum seviyelere yani 20s'ye yakın olması parçanın en yüksek çöküntü miktarlarına sahip olmasını göstermektedir.

Yine grafik dikkatle incelenecek olursa sıcaklığın artması durumunda da eğer uyguladığımız proses zamanı da düşük ise yalnız başına zamanın artması da parça kalitesindeki çökme miktarı olarak çok fazla bir pozitif değişim sağlayamamıştır. Demek oluyor ki, bir plastik parçada çöküntüyü azaltabilmek için proses zamanından daha etkili olacak olan enjeksiyon sıcaklığının artması gerekmektedir.

Bu programda da elde ettiğimiz bu verilerin tümünü kullanarak üç boyutlu bir grafik elde edip bu grafikte tüm bu parametrelerin deney bazında parça kalitesine olan etkilerini inceleyelim.

### Surface Plot of E.Sıcaklığı vs E.Zamanı; Yekseni Çökme (mm)



Şekil IV-16 Sıcaklık ve zaman parametresine göre çöküntü

| Array Editor: A                |      |         |      |      |      |
|--------------------------------|------|---------|------|------|------|
| File Edit View Web Window Help |      |         |      |      |      |
| Numeric format: shortG         |      | Size: 9 |      | by 5 |      |
|                                | 1    | 2       | 3    | 4    | 5    |
| 1                              | 0.21 | 0.17    | 0.17 | 0.19 | 0.07 |
| 2                              | 0.16 | 0.1     | 0.19 | 0.09 | 0.04 |
| 3                              | 0.17 | 0.1     | 0.12 | 0.1  | 0.02 |
| 4                              | 0.13 | 0.1     | 0.27 | 0.09 | 0.04 |
| 5                              | 0.16 | 0.1     | 0.26 | 0.07 | 0.02 |
| 6                              | 0.18 | 0.05    | 0.07 | 0.11 | 0.03 |
| 7                              | 0.15 | 0.11    | 0.14 | 0.07 | 0.04 |
| 8                              | 0.15 | 0.1     | 0.04 | 0.1  | 0.01 |
| 9                              | 0.18 | 0.1     | 0.18 | 0.08 | 0.03 |

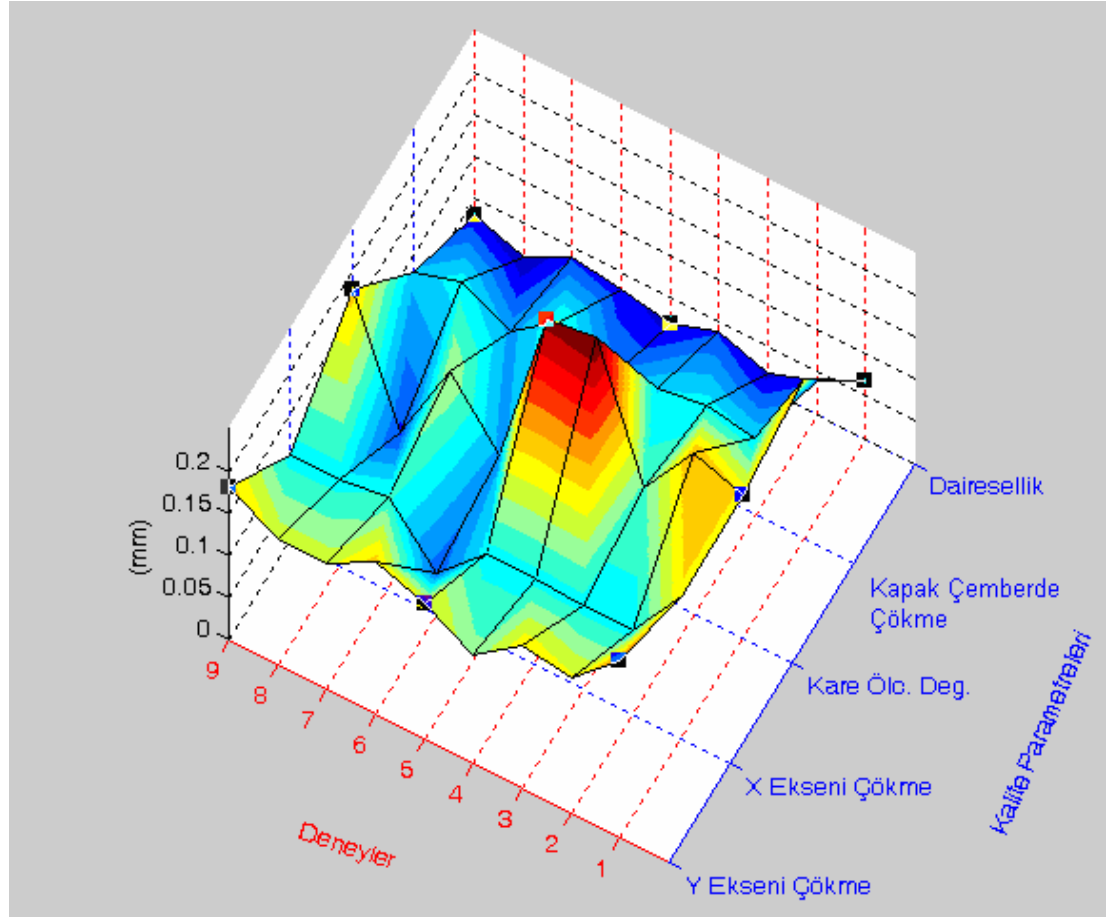
Şekil IV-17 Ölçüm sonuçlarının Matlab programında dizilimi

#### IV.1.3.4. Deneylerin Üç Boyutlu Grafiklerinin Gösterilmesi

Yapılan deneylerin kalite parametrelerine olan etkilerinin ve bu etkilenmeden dolayı meydana gelen değişkenlik miktarlarının tesbiti Matlab programı kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil IV-18 de ki grafik incelendiğinde, üst yüzeydeki ve kapak çemberdeki çökmedeki ölçüsel değişim ve dairesellik ile ilgili kalite parametreleri 3, 4 ve 5 nolu deneylerde oldukça artış göstermiş buına nazaran 7 nolu deneyde ise min seviyelere

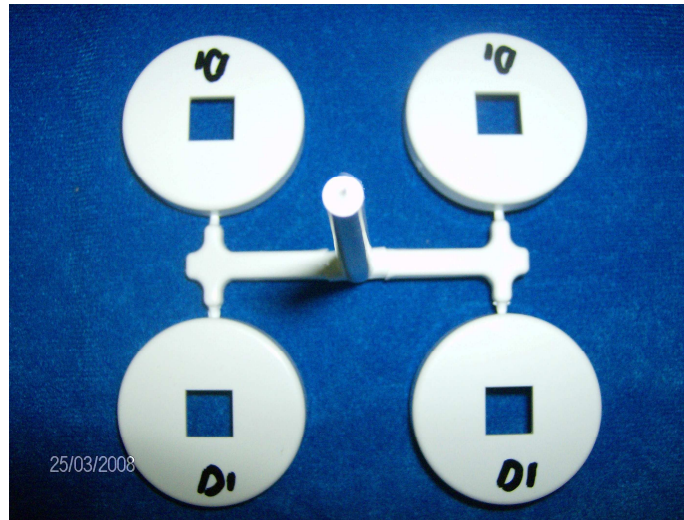
indiği gözlemlenmiştir. Bir başka bakış açısı ile deneyler, 7 nolu deneyden sonra daha iyi sonuçlar vermeye başlamış ve en kötü sonuçları da ilk 5 deneyde vermiştir diyebiliriz.



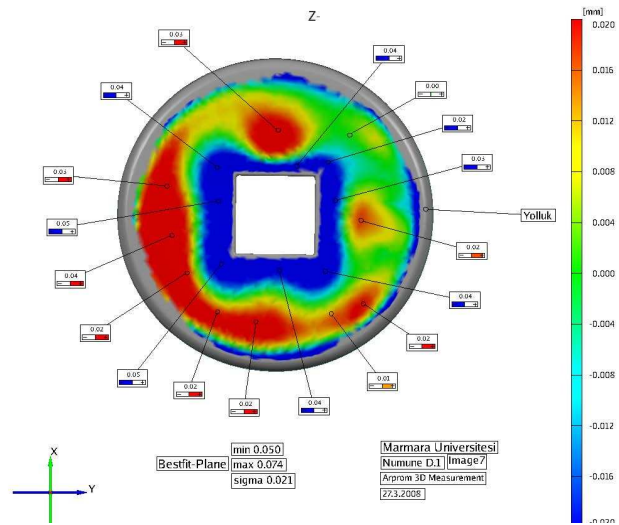
Şekil IV-18 Matlab programında elde edilen 3D grafik

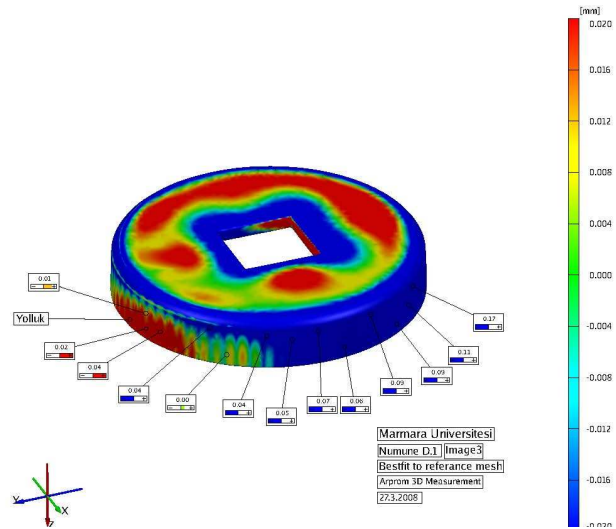
#### IV.1.4. Deneylerin Doğrulanması

Yapılan tüm deneylerden elde edilen sonuçlara göre Taguchi optimizasyon yöntemi ile yapılan optimizasyonda Şekil IV.19 da gözüktüğü gibi enjeksiyon basıncı 3.seviye yani 1000 bar altında olmaması, enjeksiyon sıcaklıklarının da 3. seviye yani 225 °C nin altında olmaması, parça enjeksiyon ve donma zamanının da zamanında 20s nin altında olmaması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu değerlerin doğrulanmasına ilişkin deneyleri yapalım ve sonuçlarını da tekrar irdeleyelim.

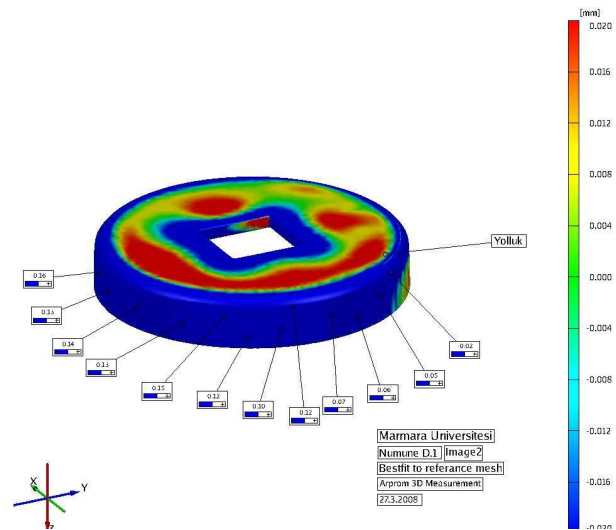


Tüm deneyleri yaptığımız enjeksiyon makinesi parametreleri yukarıda elde ettiğimiz değerlere getirilip yapılan deney neticesinde Şekil IV-19’da görülen deney parçası elde edilmiştir. Parça dikkatle incelendiğinde yapılan tüm deneylerden elde edilen parçalardan çok daha çöküntüsüz olduğu gözlemlenmiştir.

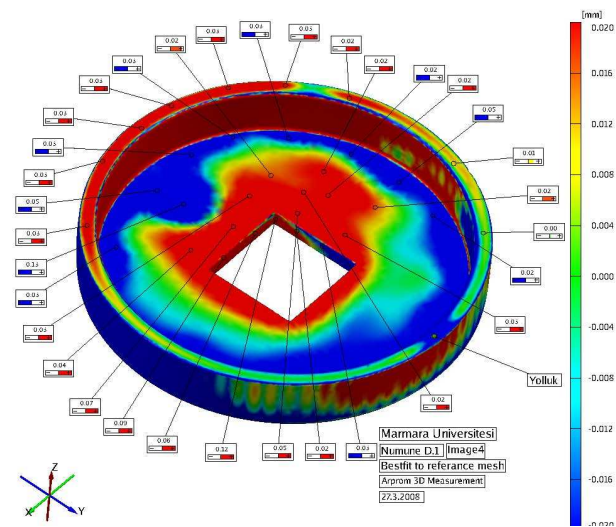




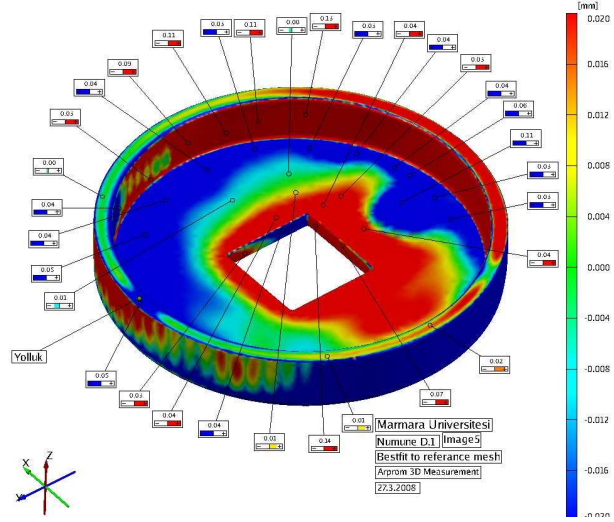
**Şekil IV-21 Doğrulama deneyi yan yüzey ölçümleri**



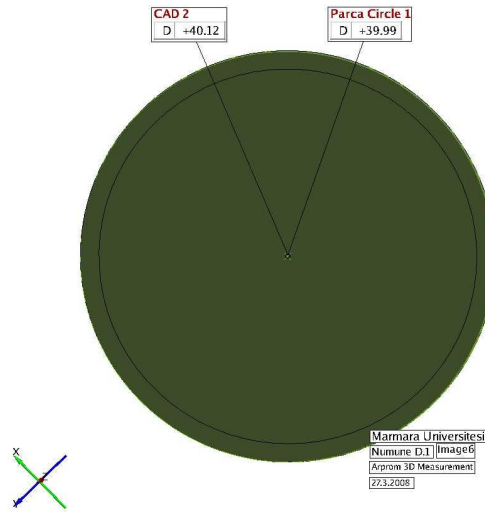
**Şekil IV-22 Doğrulama deneyi yan yüzey ve üst çap ölçümleri**



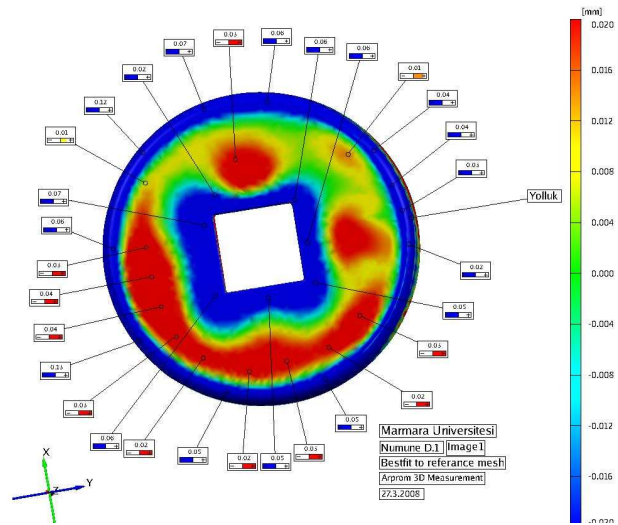
**Şekil IV-23 Doğrulama deneyi iç yüzey ölçümleri**



Şekil IV-24 Doğrulama deneyi iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



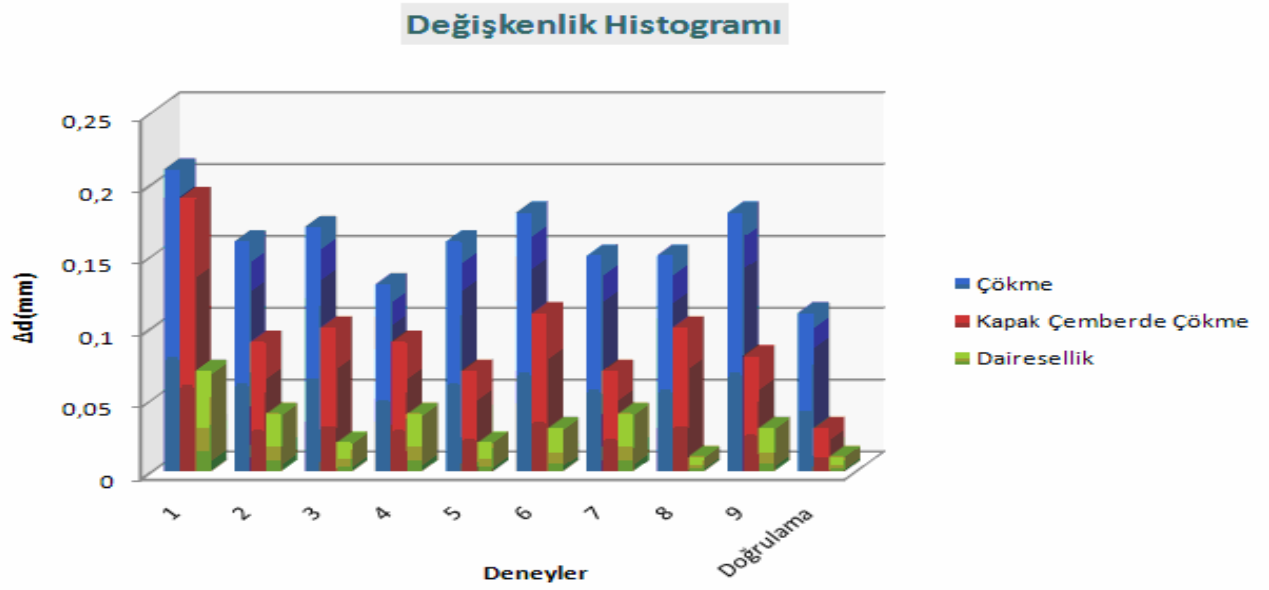
Şekil IV-25 Doğrulama deneyi dairesellik ölçümleri



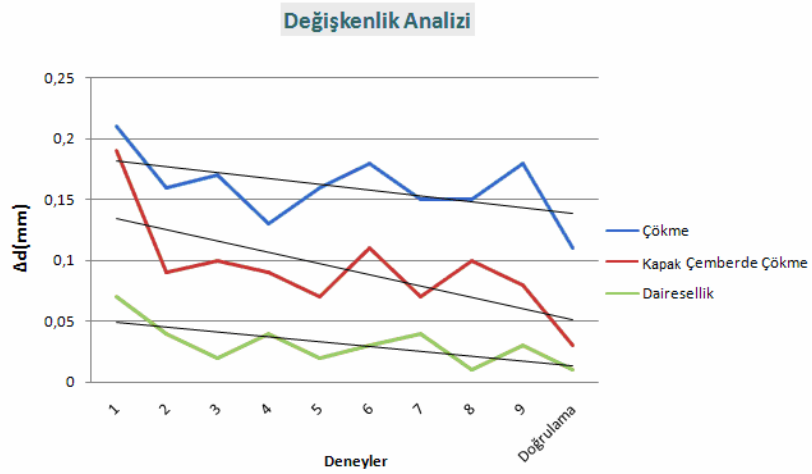
Şekil IV-26 Doğrulama deneyi üst çap ölçümleri

**Tablo IV-3** Doğrulama deney parçalarının ölçüm neticeleri

|                    |              |                    |                |              |                    |                           |              |                    |                         |              |                             |              |              |                    |
|--------------------|--------------|--------------------|----------------|--------------|--------------------|---------------------------|--------------|--------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------|
|                    |              |                    |                |              |                    |                           |              |                    |                         |              |                             |              |              |                    |
| Y EK<br>SENİ ÇÖKME |              |                    | X EKSENİ ÇÖKME |              |                    | KARE ÖLÇÜSEL<br>BOZUKLUĞU |              |                    | KAPAK ÇEMBERDE<br>ÇÖKME |              |                             | DAİRESELLİK  |              |                    |
| Min.<br>(mm)       | Max.<br>(mm) | $\Delta Y$<br>(mm) | Min.<br>(mm)   | Max.<br>(mm) | $\Delta X$<br>(mm) | Min.<br>(mm)              | Max.<br>(mm) | $\Delta L$<br>(mm) | Min.<br>(mm)            | Max.<br>(mm) | $\Delta \checkmark$<br>(mm) | Min.<br>(mm) | Max.<br>(mm) | $\Delta D$<br>(mm) |
| 0,070              | 0,040        | 0,110              | 0,150          | 0,040        | 0,190              | 0,040                     | 0,140        | 0,180              | 0,00                    | 0,030        | 0,030                       | 0,010        | 0,000        | 0,01               |



**Şekil IV-27** Tüm deney sonuçlarının histogram diyagramı



**Şekil IV-28** Deney sonuçlarının değişkenlik analizi

## IV.2. TARTIŞMALAR

Yapılan bu çalışmalar bizlere enjeksiyonda basılan plastik parçaların kalitesine etki eden bir çok enjeksiyon parametreleri hakkında detaylı ve geniş bilgi vermektedir. Şimdiye kadar enjeksiyon prosesleri hakkındaki yapılan bir çok araştırmalar sadece plastik enjeksiyon makinaları üzerinden ölçülebilen ve kontrol edilebilen parametreler üzerine olmuştur.

Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen bir plastik parçanın bilhassa hassas yüzey ve ölçü stabilitesi istenen kullanımlarda kesinlikle çok hassas bir tolerans sınırları dahilinde olamayacağı bu testlerle de ortaya konmuştur.

Yaptığımız detaylı inceleme sonucu plastik enjeksiyon makinasında yapılan basınç, sıcaklık ve zaman ayarlarının ise gerçekte kalıp göz içerisinde ölçülen değerlerde olamadığı ve birçok yan tesir neticesinde de gerçek değerlerden sapmalar gösterdiği anlaşılmıştır. Bir plastik enjeksiyon makinesinde okuduğumuz ve ayarladığımız değerler asla kalıp gözleri içerisinde ölçülen değerlerle bir olmadığı da bu deneyler sonucu kanıtlanmış olup, göz içerisinde ölçülen değerlere göre yapılan enjeksiyon baskılarının ölçüsel ve estetik olarak diğerlerinden pozitif yönde çok farklı olduğu anlaşılmıştır.

Deneyisel ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen bu test sonuçlarını, kaynak bilgilerin irdelenmesi bölümünde detaylı olarak incelediğim ve bu zamana kadar yapılan bilimsel çalışmalar da teyit etmektedir.

Ayrıca enjeksiyondaki ergiyik sıcaklığının plastik parça kalitesine olan etkileri ele alınmış ve ergiyik sıcaklığının bilhassa ince cidarlı parçalarda ölçüsel olarak nasıl etkilediği ve kalın cidarlı parçalarda da estetiksel olarak nasıl etkilediği ortaya konulmuştur. Ayrıca kalıp gözleri içerisinde sensörler ile ölçülen enjeksiyon basıncının da parça kalitesine olan en büyük etkenlerden olduğu da anlaşılmıştır. Basınç ve sıcaklık parametrelerini plastik parça kalitesi üzerine etkileri ise literatürde birçok araştırmacı tarafından kabul gören Erzurumlu ve Özcelik 2005’li yıllarda yaptığı bir seri deney sonucunda, ortaya attığı hipotezleriyle de [16] paraleldir şeklinde yorumlamak mümkündür.

Yapılan doğrulama deneyinden elde edilen sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere Taguchi optimizasyonundaki değerlere dayanılarak ayarlanan enjeksiyon proses parametrelerine göre üretilen plastik parçada minimum çökme oranı  $\Delta Y=0,11$  mm olarak sağlanmıştır. Yine yapılan optimizasyon dan elde edilen proses parametrelerine göre üretilen parçada üst yüzeydeki ve kapak çemberdeki çökme en

düşük seviyelerde elde edilmiştir  $\Delta C=0,03$  mm olarak elde edilmiştir. Taguchi optimizasyonundan elde edilen değerler kullanılarak ayarlanan proses şartlarına uygun üretilen parçada dairesellik,  $\Delta D=0,01$  mm yine minimum seviyededir.

Yukarıda elde edilen sonuçlara göre plastik parça üretimindeki kalite parametrelerinin en önemlilerini oluşturan üst yüzeydeki ve kapak çemberdeki çökme ve ölçü tamlığı doğrulama deneyinde minimum seviyelerde sağlandığından dolayı yapılan çalışmanın uygun olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ve sonuçlardan ulaşılan çıkarımlar olmuştur. Bu çalışmanın özellikleri plastik enjeksiyon kalıplarında proses parametrelerinin optimize edilebilmesi ve gerçek değerler üzerinden tartışabilmek ve optimize yapabilmek için kalıp içi basınç ve sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerektiğidir. Kalıp içinden ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri işlem proeseleri için oldukça önem arz etmektedir. Tabi hiç şüphesiz deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olması, bu yazılımların gerçek değerlere çok yakın sonuçlar verdiğini de teyit etmesi açısından oldukça önemlidir.

## BÖLÜM V.

### DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Plastik parça imalatında ölçü standartlığı, estetik ve kalite yönünden kararlı bir üretimin sağlanması gibi problemlerin enjeksiyon parametrelerine bağlı olduğu yukarıdaki çalışmalarımızdan anlaşılabilmektedir.

Bu sebeplerden dolayı plastik kalıbında üretilen parçaların ölçüsel, estetik ve fonksiyonel özelliklerinin aynı seviyede tutulabilmesi ve kararlı bir baskıya sahip olabilmesi için plastik kalıplarının enjeksiyon makinesindeki parametrelerin optimizasyonu bizlere çok fazla vakit ve parça kaybetmeden sağlıklı bir sonuca ulaşabilmemizi sağlayacaktır.

Optimizasyon yapılmadan bir plastik parçanın üretimi kolay gibi gözüksede gerçekte oldukça zor ve maliyetlidir. Enjeksiyon parametrelerini makine üzerindeki değerlerden alıp sadece pratik tecrübelerle yapılan enjeksiyon ile parça üretimlerinde kalıbın rejime girme süresince devamlı baskı yapılmak zorundadır. Bu baskıların 50 adet den az olmaması birçok defa denenmiştir. Kalıp rejim süresi boyunca harcanacak işçilik, hammadde gibi birçok gider oldukça yekün tutmaktadır. Ayrıca kalıbın rejime girmesini müteakip karşılaşacağımız en büyük problem ise kararlı parça üretimesidir. Yani üretilecek olan plastik parça kalitesinde karalılığın sağlanması ve devamıdır.

Günümüzde yapılan uygulamalarda ve optimizasyonlarda, kullanılan parametre (basınç ve sıcaklık ) değerleri kalıp gözü içerisinden direkt veya endirekt olarak alınamadığı için gerçek parametre değerlerini yansıtamamaktadır. Yapılan optimizasyonlar enjeksiyon makinası üzerindeki ölçüm cihazlarından alınan değerlerden yola çıkılarak yapılmıştır. Fakat bu değerler gerek hammadde, makina, kalıp yönünden ve gerekse de çevre şartlarından dolayı çok farklılıklar göstermektedir. Örneğin kalıp ve makine aşınmaları, makine üzerindeki ölçüm cihazlarının hassasiyetleri ve kalibrasyonlarının yapılmaması, hammadde değişiklikleri, sıcak-soğuk hava değişimleri, elektrik voltajlarındaki farklılıklar bile

bunlara çok büyük derecede birer etkendir. Bu değerlerden yapılabilecek bir optimizasyon bizlere gerçek proses şartlarının optimizasyonunu veremeyecektir. Bu proses parametrelerinin gerçek değerlerine ulaşılması ise kesinlikle basınç ve sıcaklık parametrelerinin kalıp gözlerinin içerisine konulacak sensörler ile ölçülmesi ve bu değerlere göre optimize edilmesi gerekmektedir.

Enjeksiyonla kalıplama işleminde düzgün parça üretme işleminin zamanını kısalttığı ve bozuk parça adedini azalttığı için maliyetlere de büyük derecede frenleyici etkisi vardır. Bu şekilde maliyetler azaldığı gibi parça kalitesi de artmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1]. İçten, B.:“Plastik Enjeksiyonda Basınç, Sıcaklık, Zaman, Hız Gibi Faktörlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, **(2004)** 16-71
- [2]. Çakır, Y.: “I 20-3 Polietilen Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, **(2000)** 14-22
- [3]. Bryce, D.M.: “Plastic Injection Molding”, *Society of Manufacturing Engineers*, Vol II,Georgetown,Texas **(1997)** 332-333.
- [4]. Akyüz, Ö.F.:“*Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*”, Pagev Yayınları, II. Baskı, İstanbul, Türkiye, **(2001)** 195-217
- [5]. Scaufelbühl, M.; *Kişisel Görüşme*, (Kistler Instrumente Semineri ), **(2007)**
- [6]. Yeung, V.W.S.; Lau, K.H.: “Injection Moulding 'C-Mold 'Cae Package. Process Parameter Design And Quality Function Deployment: A Case Study Of Intelligent Materials Processing”, *Journal Of Material Procesing Tecnology* 63 **(1997)** 481-487.
- [7]. Shen, Y.K.; Liu, J.J.; Chang, C.T.; Chiun, C.Y.: “Comparison of the Results for Semisolid and Plastic Injection Molding Process”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*; 1 **(2002)** 97-105.
- [8]. Lau, H.C.W.; Ning, A.; Pun, K.F.; Chin, K.S.: “Neural Networks for The Dimensional Control of Molded Parts Based on a Reverse Process Model”, *Journal of Materials Processing Techonology* 117 **(2001)** 89-96.
- [9]. Jin,X.; Zhu, X.: “Process Parameters Setting Using Case-Based and Fuzzy Reasoning for Injection Molding”, *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation* 2, Hefei, P.R. China, July **(2000)** 335-340.
- [10]. Young, W.B.: “Effect of Process Parameters on Injection Compression Molding of Pickup Lens”, *Applied Mathematical Modelling* 29 **(2005)** 955–971.
- [11]. Özçelik, B.; Erzurumlu, T.: “Determination of Effecting Dimensional Parameters on Warpage of Thin Shell Plastic Parts Using Integrated Response Surface Method and Genetic Algorithm”, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32 **(2005)** 1085–1094.
- [12]. Özçelik, B.; Erzurumlu, T.: “Comparison of the Warpage Optimization in the Plastic Injection Molding Using ANOVA, Neural Network Model and Genetic Algorithm”, *Journal of Materials Processing Technology* 171 **(2006)** 437–445.
- [13]. Chiang, K.T.:“The Optimal Process Conditions of an Injection-Molded Thermoplastic Part with a Thin Shell Feature Using Grey-Fuzzy Logic: a Case Study on Machining the PC/ABS Cell Phone Shell”, *Materials and Design* **(2006)** 1851-1860.
- [14]. Hendry, J.; Brookshaw, B.; Vinning K.: “Measuring In-Mold Pressures with the External Gas Molding Process”, Steve Ham Plastics, **(2006)** 1-8.  
<http://www.steveham.com/EGMpressure.htm> (04.07.2006)
- [15]. Huang, M.C.; Tai, C.C.: “The Effective Factors in the Warpage Problem of an Injection-Molded Part with a Thin Shell Feature”, *Journal of Materials Processing Technology* 110 **(2001)** 1-9.

- [16]. Özçelik, B.; Erzurumlu, T.: “Minimization of Warpage and Sink Index in Injection-Molded Thermoplastic Parts Using Taguchi Optimization Method”, *Materials and Design* (2005) 853–861.
- [17]. Clements, A.: “From Filling to Warpage in 3D”, *Rapra Technology Ltd*, Shropshire, UK, (2002) 1-14.
- [18]. Gu, Y.; Li, H.: “Numerically Simulation of Thermal Induced Stress and Warpage in Injection-Molded Thermoplastics”, *Advances in Polymer Technology*, 20 (2001) 14-21.
- [19]. Seow, L.W.; Lam, Y.C.: “Optimizing Flow in Plastic Injection Molding”, *Journal of Materials Processing Technology* 72 (1997) 333–341.
- [20]. Berker, B.; Barooah, P.; Yoon, M. K. and Sun, J. Q.: “Sensor Based Modeling and Control of Fluid Flow in Resin Transfer Molding”, *Journal of Materials Processing & Manufacturing Science*, 7 (1998) 195-214.
- [21]. Grillet, A.M.; Arjen, C.B.B.; Peters, G. W. M. ; Frank, P.T.B.: “Numerical Analysis of Flow Mark Surface Defects in Injection Molding Flow”, *By The Society of Rheology*, 46 (2002) 651-669.
- [22]. Ergüney, S.; Karataş, Ç.; Sarıtaş, S.: “ Ticari Plastiklerin Kalıpta Akış Boylarının İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2005) 297-303.
- [23]. Uluer, O.; Gültaş, A.; Özdemir, A.: “Ergimiş Plastiğin Kalıp Boşluğundaki Gerçek Akış Davranışını Gözlenmesi İçin Kalıp Tasarımı Ve İmalatı” *Teknoloji*, 8 (2005) 181-189.
- [24]. Kazmer, D.O.; Speight, R.G.: “Polymer Injection Molding Technology for the Next Millennium”, *Journal of Injection Molding Technology* (1997) 1-33. [http://kazmer.uml.edu/Staff/Archive/1997JIMT\\_Vision.pdf](http://kazmer.uml.edu/Staff/Archive/1997JIMT_Vision.pdf) (04.07.2006)
- [25]. Tang, S.H.; Kong, Y.M.; Sapuan, S.M.; Samin, R.; Sulaiman, S.: “Design and Thermal Analysis of Plastic Injection Mould”; *Journal of Materials Processing Technology*, 171 (2006) 259–267.
- [26]. Hugh, J.: “InjectionMolding”, *Manufacturing Engineer on a disk* (2001) 1-7 <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/manufact-214.html> (04.07.2007).
- [27]. Heim, H.P.: “Quality Assurance in Plastics Injection Moulding–Process Monitoring and Process Control”; *Business Briefing Medical Device Manufacturing & Technology* (2002) 1-7.
- [28]. Greener, J.; Friedl, R.W.: “Precision Injection Molding” Process, *Materials and Applications* (2006) 1-12. <http://www.hanser.de/3-446-21670-7> (04.07.2006)
- [29]. Nezhad, K.S.; Siores, E.: “An Intelligent System for Plastic Injection Molding Process Design”; *Journall of Materials Processing Technology* 63 (1997) 458-462.
- [30]. Willett, R.: “Copper Applications in Innovative Technology” *Willett Technical Services*, Bloomingdale (1997) 1-3 <http://www.copper.org/innovations/1997/12/molds.html> (04.07.2006)
- [31]. Menges, G.; Michaeli, W.; Mohren, P.: “How to Make Injection Molds”, Hanser Publishers, 3. Edition, Munich, Germany, (2001) 543-550
- [32]. Chen, X.; Lam, Y.C.; Li, D.Q.: “Analysis of Thermal Residual Stress in Plastic Injection Molding”, *Journal of Materials Processing Technology* 101 (2000) 275-280.
- [33]. Kazmer, D. O.: “Axiomatic Design of The Injection Molding Process”, *Proceedings of ICAD2000 First International Conference on Axiomatic Design*, Cambridge, MA, June, (2000) 123-129.

- [34]. Dimla , D.E.; Camilotto , M.; Miani, F.: “Design and Optimisation of Conformal Cooling Channels in Injection Moulding Tools”; *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165 (2005) 1294–1300.
- [35]. Keniga, S.; David, A.B.; Omer, M.; Sadeh, A.: “Control of Properties in Injection Molding by Neural Networks”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 14 (2001) 819–823.
- [36]. Beaumont, J.P.; Nagel, R.; Sherman, R.: “*Successful Injection Molding Process, Design and Simulation*”, Hanser Publishers, Munich, Germany, (2002)
- [37]. Ferreira, J.C.; Mateus, A.: “Studies of Rapid Soft Tooling with Conformal Cooling Channels for Plastic Injection Moulding”; *Journal of Materials Processing Technology*, 142 (2003) 508–516.
- [38]. Bozdana, A.T.; Eyercioglu, O.: “Development of an Expert System for the Determination of Injection Moulding Parameters of Thermoplastic Materials: EX-PIMM”, *Journal of Materials Processing Technology* 128 (2002) 113–122.
- [39]. Wu, C.H.; Liang, W.J.: “Effects of Geometry and Injection-Molding Parameters on Weld-Line Strength”, *Polymer Engineering and Science*, 45, Academic Research Library (2005) 1021-1030.
- [40]. Thienel, P.; Genster, E.: “Internal Pressure Measurement”, *Bakelite AG*, Editor.; Stahl, M., Duisburg, Germany (2006) 9-43.
- [41]. Linehan, T.: “A Short Tutorial On Cavity Pressure Transducer Usage”, *D-M-E Company* (1993) 1-5,  
[http://www.dme.net/wwwdme/tech/Pressure\\_Tutorial\\_2.pdf](http://www.dme.net/wwwdme/tech/Pressure_Tutorial_2.pdf) (14.12.2006).
- [42]. Collins, C.: “Monitoring Cavity Pressure Perfects Injection Molding”, *Assembly Automation* 19 (1999) 197-202.
- [43]. Wei, W.C. J.; Wu, R.Y.; Ho, S.J.: “Effects of Pressure Parameters on Alumina Made by Powder Injection Moulding”, *Journal of the European Ceramic Society* 20 (2000) 1301-1310.
- [44]. Groleau, M.R.; Rodney, J.: “Comparing Cavity Pressure Sensor Technologies Using in-Mold Data”, *Groleau, RJG Inc.*, (2002) 1-5  
[http://rjginc.com/french/Document/Articles/antec\\_02-Piezo.pdf](http://rjginc.com/french/Document/Articles/antec_02-Piezo.pdf) (04.07.2006)
- [45]. Huang, J.T.; Cheng, S.C.: “Study Of Injection Molding Pressure Sensor with Low Cost and Small Probe”; *Sensors and Actuators* 101 (2002) 269-274.
- [46]. Vaughan, R.: “Pressure Sensors: The Nerve System of the Molding Process”, *RJG Professinol paper* (2003) 1-4  
[http://www.rjgptm.com/french/Document/Articles/mold\\_maker\\_paper.pdf](http://www.rjgptm.com/french/Document/Articles/mold_maker_paper.pdf) (04.07.2006)
- [47]. Parabodh, C.: “*A Guide to Injection Moulding of Plastics*”, 2nd Edition, India, (2000)  
<http://www.pitfallsinmolding.com/> (09.09.2007).
- [48]. Chastain, G.: “Setting Up a Robust Process Forever”, *Rjg Inc.*, (2005) 1-4  
<http://www.moldmakingtechnology.com/articles/1205strat.html> (18.12.2006)
- [49]. Kurt, M.; Kamber, Ö.Ş.: “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Piezoelektrik Sensörler ile Denetimi”, *Türk Cad Cam Dergisi*, 2 (2006)  
<http://www.turkcadcam.net/rapor/pek-sensorlu-denetim/index.html> (08.09.2007)
- [50]. Masse, H.; Arquis, E.; Delaunay, D.; Quilliet, S.; Bot, P.H.L.: “Heat Transfer with Mechanically Driven Thermal Contact Resistance at the Polymer–Mold

- Interface in Injection Molding of Polymers”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 **(2004)** 2015–2027.
- [51]. Huang, M.S.: “Cavity Pressure Based Grey Prediction of the Filling-to-Packing Switchover Point for Injection Molding”, *Journal of Materials Processing Technology* **(2006)** 419-424.
- [52]. Kazmer, D.O.: “Process Monitoring and Control Research” *UML continuing education*. **(2006)**  
<http://kazmer.uml.edu/Research/processcontrol.htm> (14.12.2006).
- [53]. Turaçlı, H.: “*Enjeksiyon Kalıpları İmalatı*”, Pagev Yayınları, İstanbul, Türkiye, **(2000)** 17-39
- [54]. Hatman, A.: “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Isı Yönetimi”, *Kalıp Dünyası*, 22 **(2003)** 47-51.
- [55]. Li, C.L.: “A Feature Based Approach to Injection Mould Cooling System Design” ; *Computer Aided Design*, 33 **(2001)** 1073-1090
- [56]. Fischer, J.M.: “*Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*”, Plastics Design Library Handbook Series, Norwich, USA **(2003)** 105-170
- [57]. Tsai, C.C.; Lu, C.H.: “Multivariable Self-Tuning Temperature Control for Plastic Injection Molding Process” , *Ieee Transactions On Industry Applications*, 34 **(1998)** 310-318.
- [58]. Merah, N.; Irfan-ul-Haq, M.; Khan, Z.: “Temperature and Weld-Line Effects on Mechanical Properties of CPVC” , *Journal of Materials Processing Technology*, 142 **(2003)** 247–255.
- [59]. Michaeli, W.: “Plastics”, *Kistler Instrumente AG Technical Report*, 500-510e-10.04, Winterthur, Switzerland, **(2004)**
- [60]. Haselbarth, O. S.: “Plastics Processing”, *Kistler Instrumente AG Special Print*, 920-231e-03.03, Winterthur, Switzerland, **(2003)**
- [61]. Haselbarth, O. S.: “Innovations at K 2007 – More Efficient Injection Molding”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 500-571e-09.07, Winterthur, Switzerland, **(2007)**
- [62]. Haselbarth, O. S.: “Sensors and Systems for High-Quality Injection Molding”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 500-486e-06.06, Winterthur, Switzerland, **(2006)**
- [63]. Haselbarth, O. S.: “Injection Molding Made Easier and More Reliable”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 300-452e-10.05, Winterthur, Switzerland, **(2005)**
- [64]. Haselbarth, O. S.: “New Technologies Secure a Competitive Edge”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 500-400e-11.03, Winterthur, Switzerland, **(2003)**
- [65]. Haselbarth, O. S.: “K 2004 Heralds Upturn”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 500-511e-07.04, Winterthur, Switzerland, **(2004)**
- [66]. Haselbarth, O. S.: “Even in the Actual Economic Crises Plastics is Gaining More and More Success!”, *Kistler Instrumente AG Plastic News Magazine*, 500-391e-08.03, Winterthur, Switzerland, **(2003)**
- [67]. Şirvancı, M.: “Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı”, Literatür yayıncılık, İstanbul, **(1997)** 12-110.

## **EKLER**

## EK A. PLASTİK HAMMADDE ÖZELLİKLERİ



**ARBE INDONESIA**  
"MANUFACTURING EXCELLENCE"

### ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE RESIN

Arbelac ABS thermoplastic resins are made with a wide range of properties, suitable for injection molding, extrusion molding, thermoforming and vacuum molding to produce products of exceptional dimension stability and secondary processability for plating, painting etc. Our ABS products are produced with varying degrees of flame retardancy, and are produced in an infinite range of colors.

#### General Purpose ABS

| GRADE | FEATURE   | APPLICATIONS                                                                              |
|-------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 750   | Good Flow | Home appliances, toys, audio equipment, diskettes, TVs, washing machines, telephones etc. |
| 751   | High Flow |                                                                                           |
| 780   | High Flow |                                                                                           |

#### High Rigidity ABS

|      |                           |                                                                                                  |
|------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 720  | High Rigidity, High Gloss | Video tape cases, telephones, vacuum cleaners, switches, handles, food mixers, cassettes, radios |
| 720V | Antistatic                |                                                                                                  |

#### Extrusion Molding ABS

|     |                            |                             |
|-----|----------------------------|-----------------------------|
| 771 | General Extrusion          | Automobile parts, luggage   |
| 773 | High Impact                |                             |
| 790 | Super High Impact          | Pipe, bobbin sleeves, boats |
| 792 | High Impact, High Rigidity | Refrigerator liners         |

#### Electro Plating Grade ABS

|     |               |                                             |
|-----|---------------|---------------------------------------------|
| 710 | High Rigidity | Automobile parts, rice cookers, electronics |
|-----|---------------|---------------------------------------------|

#### Painting Grade ABS

|     |                        |                                   |
|-----|------------------------|-----------------------------------|
| 760 | High Rigidity          | Automobile parts, home appliances |
| 772 | High Flow, High Impact |                                   |

#### High Impact ABS

|     |                                  |                                                                     |
|-----|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 740 | Impact Resistance                | Wheel covers, helmets, shoes, roller skates, radiator grilles, toys |
| 770 | Impact Resistance, High Rigidity |                                                                     |

#### Heat and Flame Resistant ABS

|       |                                     |                                                             |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 730   | High Impact, Medium Heat Resistance | Automobile parts, switch panels, electric fans, radio cases |
| H2938 | Heat Resistant                      | Hair dryers, electric ovens, etc.                           |
| FR700 | Flame Retardant                     | Computer housing, electrical parts                          |

#### PROPERTIES OF ARBELAC ABS RESINS

| Properties               |        | Tensile Strength at yield | Elongation at break | Flexural Strength  | Izod Impact Strength | Rockwell Hardness |
|--------------------------|--------|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| Condition                |        | 23°C                      | 23°C                | 23°C               | 0.25 Inch            | -                 |
| Method                   | ASTM   | D 638                     | D 638               | D 790              | D 256                | D 785             |
|                          | DIN    | -                         | 53455               | 53452              | -                    | -                 |
| Unit                     |        | kg/cm <sup>2</sup>        | %                   | kg/cm <sup>2</sup> | kg.cm/cm             | R-scale           |
| General Purpose          | 750    | 430                       | 20                  | 650                | 21                   | 98                |
|                          | 751    | 450                       | 15                  | 720                | 13                   | 103               |
|                          | 780    | 500                       | 30                  | 600                | 21                   | 104               |
| Extrusion Molding        | 771    | 410                       | 22                  | 630                | 28                   | 103               |
|                          | 773    | 390                       | 32                  | 620                | 30                   | 102               |
|                          | 790    | 350                       | 60                  | 460                | 33                   | 85                |
|                          | 792    | 380                       | 45                  | 500                | 33                   | 95                |
| Plating                  | 710    | 400                       | 20                  | 570                | 25                   | 95                |
| Painting                 | 760    | 420                       | 20                  | 600                | 26                   | 104               |
|                          | 772    | 430                       | 30                  | 610                | 27                   | 100               |
| High Impact              | 740    | 380                       | 22                  | 530                | 28                   | 91                |
|                          | 770    | 410                       | 22                  | 655                | 26                   | 101               |
| Heat and Flame Resistant | 730    | 430                       | 20                  | 600                | 18                   | 105               |
|                          | H 2938 | 395                       | 50                  | 565                | 19                   | 106               |
|                          | FR 700 | 400                       | 13                  | 620                | 13                   | 95                |

| Properties        |      | Heat Deflection | Melt Flow Index | Specific Gravity  | Molding Shrinkage | Flammability |
|-------------------|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Condition         |      | -               | 200°C / 21.6k   | -                 | -                 | Class        |
| Method            | ASTM | D 648           | -               | D 792             | D 955             | UL 94        |
|                   | DIN  | 53461           | 53735           | 53479             | 16901             |              |
| Unit              |      | °C              | g/10min         | g/cm <sup>3</sup> | %                 | -            |
| General Purpose   | 750  | 80              | 45              | 1,04              | 0.4 - 0.7         | HB           |
|                   | 751  | 84              | 55              | 1,04              | 0.4 - 0.7         |              |
|                   | 780  | 85              | 70              | 1,04              | 0.4 - 0.7         |              |
| Extrusion Molding | 771  | 80              | 20              | 1,04              | 0.4 - 0.7         | HB           |
|                   | 773  | 80              | 16              | 1,04              | 0.4 - 0.7         |              |
|                   | 790  | 80              | 11              | 1,04              | 0.4 - 0.7         |              |
|                   | 792  | 80              | 10              | 1,04              | 0.4 - 0.7         |              |

|                               |        |    |    |      |           |    |
|-------------------------------|--------|----|----|------|-----------|----|
| Plating                       | 710    | 84 | 35 | 1,04 | 0.4 - 0.7 |    |
| Painting                      | 760    | 85 | 20 | 1,04 | 0.4 - 0.7 |    |
|                               | 772    | 83 | 28 | 1,04 | 0.4 - 0.7 |    |
| HighImpact                    | 740    | 82 | 28 | 1,04 | 0.4 - 0.7 |    |
|                               | 770    | 80 | 25 | 1,04 | 0.4 - 0.7 | HB |
| Heat<br>andFlameRes<br>istant | 730    | 90 | 16 | 1,04 | 0.4 - 0.7 | HB |
|                               | H 2938 | 90 | 7  | 1,04 | 0.4 - 0.7 | HB |
|                               | FR 700 | 75 | 85 | 1,04 | 0.4 - 0.7 | VO |

#### ABS HRG



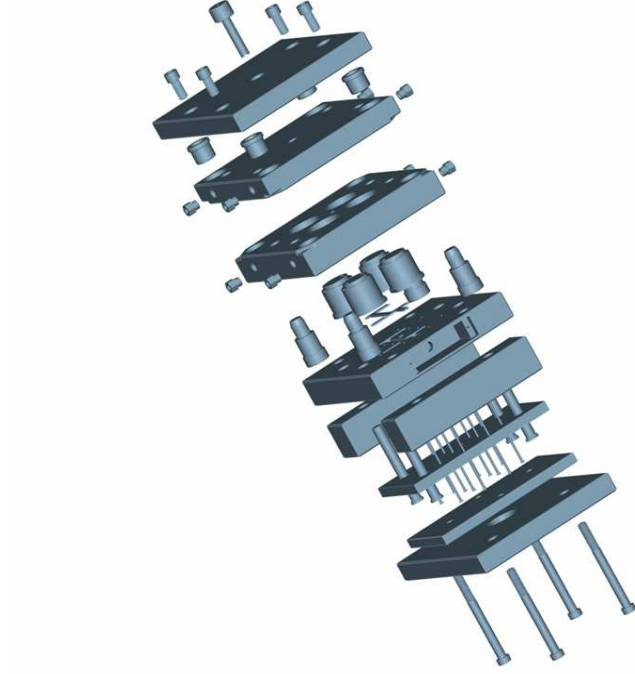
#### ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE COPOLYMER

Arbelac Acrylonitrile Butadiene Styrene HRG copolymers are high rubber grafted intermediates for compounding into ABS resin.

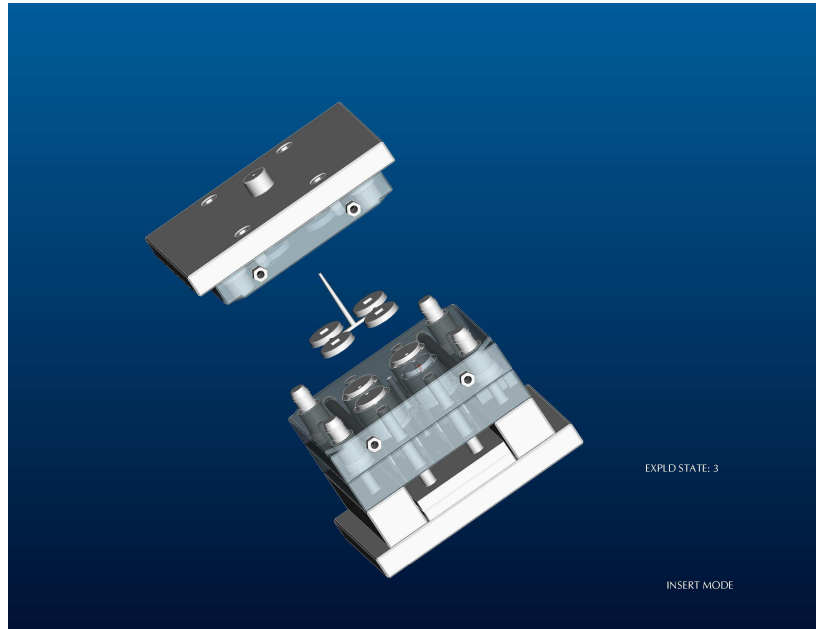
#### PROPERTIES OF ARBELAC HRG COPOLYMERS

| PROPERTY             | CONDITION       | ASTM  | UNIT               | ARBELAC GRADE |            |             |
|----------------------|-----------------|-------|--------------------|---------------|------------|-------------|
|                      |                 |       |                    | HRG<br>140    | HRG<br>150 | H -<br>2398 |
| Tensile<br>Strength  | 23°C,50mm/min   | D638  | Kg/cm <sup>2</sup> | 225           | 160        | 400         |
| Elongation           | 23°C,50mm/min   | D638  | %                  | 125           | 150        | 50          |
| Flexural<br>Strength | 23°C,50mm/min   | D790  | Kg/cm <sup>2</sup> | 300           | 230        | 590         |
| Impact<br>Strength   | 6.4mm. Notched  | D256  | Kgcm.cm            | 35            | 40         | 19          |
| Heat<br>Distortion   | Unannealed      | D648  | °C                 | 75            | 70         | 85          |
| Melt Index           | 200°C/21.6kg    | Kumho | g/10 min           | 02.May        | 0.3        | 6.0         |
| Rubber<br>Content    |                 | FTIR  | %                  | 40            | 50         | 20          |
| Particle Size        |                 | D1921 |                    |               |            |             |
|                      | 100 mesh retain |       | %                  | > 80          | > 80       | > 80        |
|                      | 200 mesh retain |       | %                  | < 8           | < 8        | < 8         |

## EK B. KALIP RESİMLERİ



Şekil EK B-1 Patlatılmış kalıp resmi



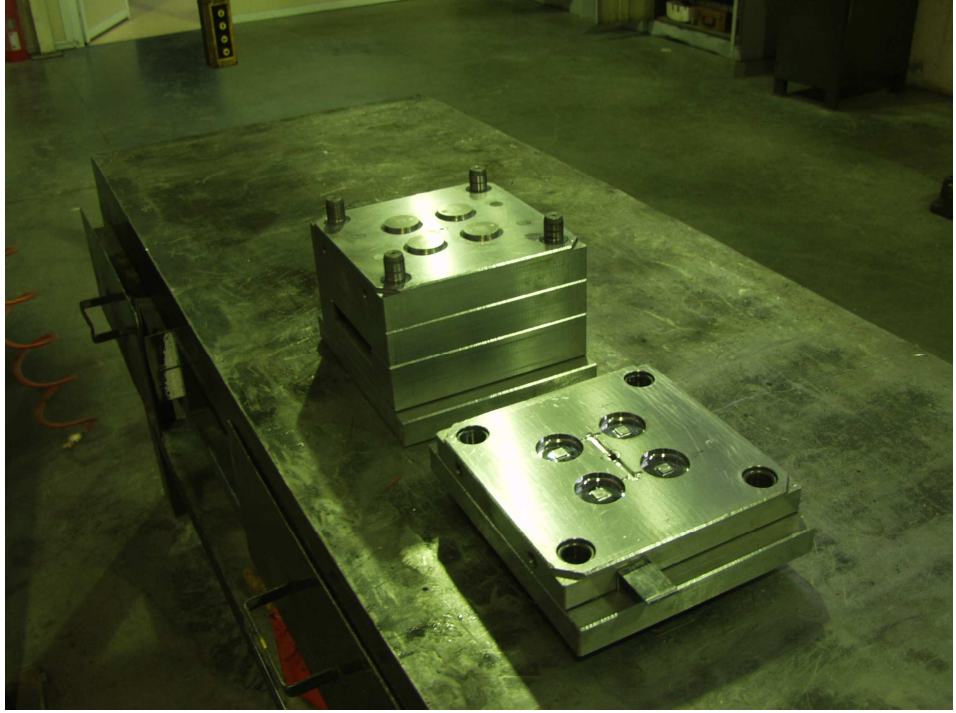
Şekil EK B-2 Tasarlanmış deney kalıbı



**Şekil EK B-3 Kalıp dişi plaka**



**Şekil EK B-4 Kalıp erkek plaka**

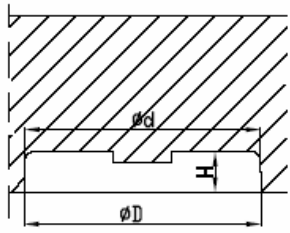


**Şekil EK B-5** Kalıp erkek ve dişi plaka

Dişi Ve Erkek Lokmaların Çekme Payı Verilmiş Kalıp Ölçüleri

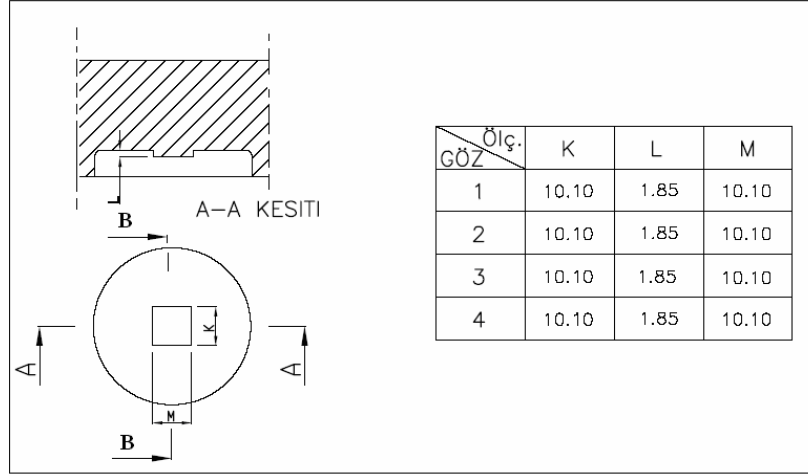
**Tablo EK B-1** Dişi kısım kalıp lokma ölçüleri B-B kesiti

| GÖZ | Ölç. | H     | $\phi D$ | $\phi d$ |
|-----|------|-------|----------|----------|
|     |      |       |          |          |
| 1   | 6.85 | 40.35 | 40.20    |          |
| 2   | 6.85 | 40.35 | 40.20    |          |
| 3   | 6.88 | 40.37 | 40.20    |          |
| 4   | 6.85 | 40.36 | 40.20    |          |

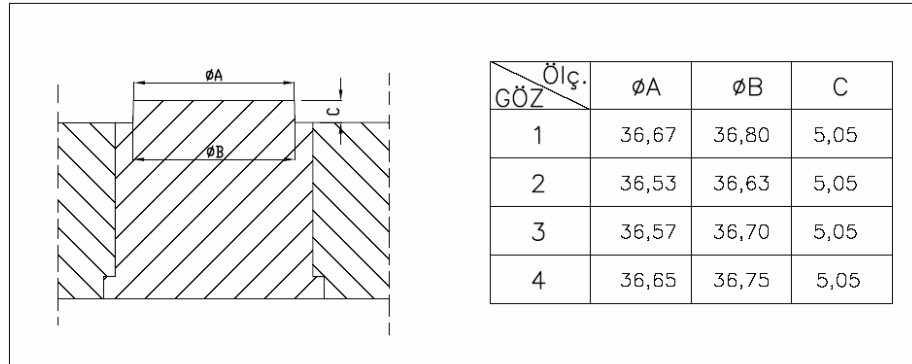


**B-B kesiti**

**Tablo EK B-2** Dişi kısım kalıp lokma ölçüleri A-Akesiti



**Tablo EK B-3** Erkek kısım kalıp lokma ölçüleri



Kalıp erkek ve dişi lokma ölçüleri ölçme probu ile CNC makinesında 0.005 mm hassasiyetinde ölçülmüştür.

## EK C. ENJEKSİYON MAKİNASI ÖZELLİKLERİ

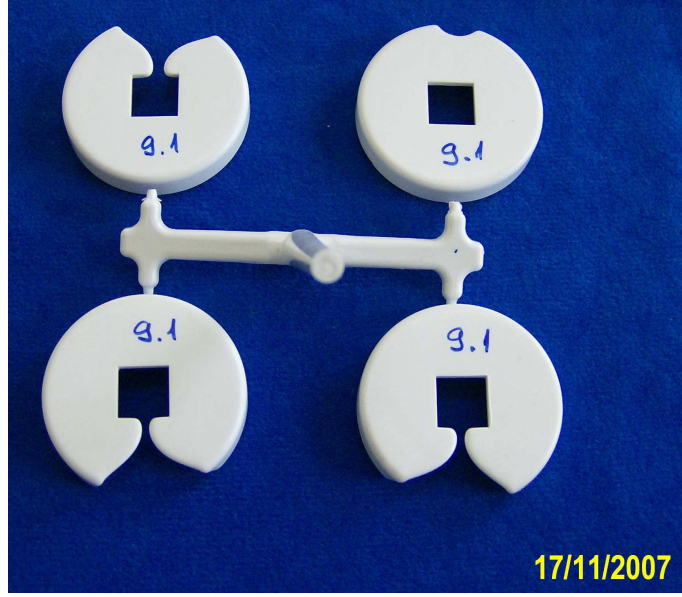
**Tablo EK C-4** Haitian enjeksiyon makinası teknik özellikleri

| -Your Location - Specification - HTW58 |          |           |       |        |
|----------------------------------------|----------|-----------|-------|--------|
| Screw                                  |          | A         | B     | C      |
| Screw Diameter                         | in.      | 1.02      | 1.18  | 1.34   |
| Screw Ratio                            | L/D      | 24        | 21    | 19     |
| Shot Size                              | in       | 4.02      | 5.37  | 6.89   |
| Injection Capacity (PS)                | oz.      | 2.12      | 2.82  | 3.63   |
| Injection Rate (PS)                    | oz./s    | 2.08      | 2.75  | 3.53   |
| Injection Stroke                       | in.      | 4.92      |       |        |
| Max Injection Velocity                 | in./sec  | 4.92      |       |        |
| Plasticizing Capacity (PS)             | lbs/hr.  | 56.35     | 86.51 | 105.56 |
| Injection Pressure                     | psi      | 35525     | 26680 | 20735  |
| Screw Speed                            | r/min    | 270       |       |        |
| Clamp Tonnage                          | U.S.ton  | 64        |       |        |
| Toggle Stroke                          | in.      | 10.63     |       |        |
| Space Between Tie-Bars (W x H)         | in.      | 12.2X12.2 |       |        |
| Min. Mold Height                       | in.      | 4.72      |       |        |
| Max. Mold Height                       | in.      | 12.60     |       |        |
| Ejector Stroke                         | in.      | 2.76      |       |        |
| Ejector Tonnage                        | U.S.ton  | 2.43      |       |        |
| Ejector Number                         | pcs      | 1         |       |        |
| Max. Pump Pressure                     | psi      | 2537.5    |       |        |
| Pump Motor Power                       | kw       | 11        |       |        |
| Heater Power                           | kw       | 5.15      |       |        |
| Machine Dimensions (L x W x H)         | in.      | 159X40X68 |       |        |
| Machine Weight                         | U.S.ton  | 2.76      |       |        |
| Hopper Capacity                        | lbs      | 55        |       |        |
| Oil Tank Capacity                      | U.S. gal | 31        |       |        |

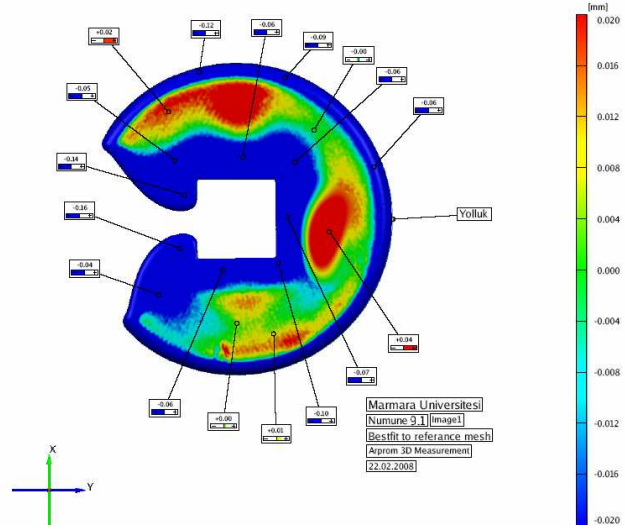
## EK D. DENEY SONUÇ GRAFİK VE ÖLÇÜMLERİ

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|
| 850                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 185               | 20           |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 20 NOK: 69</p> <p>Cycl: 89</p> <p>Ch: 1</p> <p>Channel: 1: Cav. 1<br/>ymax: 150.8 bar<br/>at: 4.178 s</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 20 NOK: 69</p> <p>Cycl: 89</p> <p>Ch: 2</p> <p>Channel: 2: Cav. 2<br/>ymax: 210.2 bar<br/>at: 4.153 s</p> </div> </div> |                   |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>1.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç</b></p> </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>1.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç</b></p> </div> </div>                                                                                                                                                                                                               |                   |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 20 NOK: 69</p> <p>Cycl: 89</p> <p>Ch: 3</p> <p>Channel: 3: Cav. 3<br/>ymax: 207.4 bar<br/>at: 3.170 s</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 20 NOK: 69</p> <p>Cycl: 89</p> <p>Ch: 4</p> <p>Channel: 4: Cav. 4<br/>ymax: 117.0 bar<br/>at: 4.301 s</p> </div> </div> |                   |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>1deney 3 no lu göz içerisindeki basınç</b></p> </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>1deney 4 no lu göz içerisindeki basınç</b></p> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 20 NOK: 69</p> <p>Cycl: 89</p> <p>Ch: 5</p> <p>Channel: 5: temp<br/>ymax: 50.56 Cel<br/>at: 4.399 s</p> </div> <div style="width: 48%;"></div> </div>                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>1deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık</b></p> </div> <div style="width: 48%;"></div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   |              |

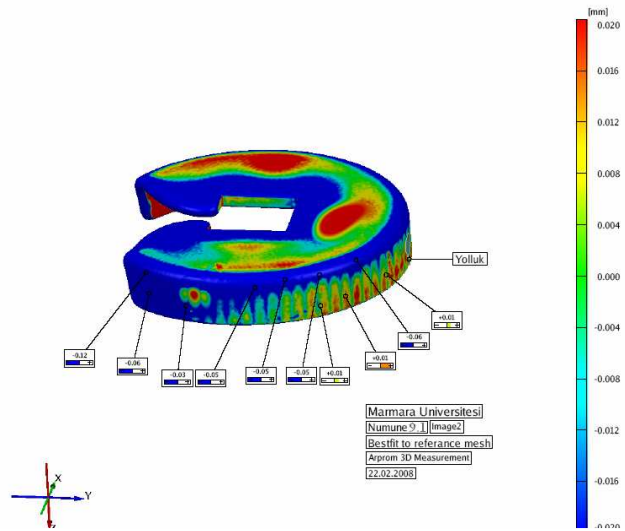
Şekil EK D-6 1 nolu deney sonuç grafikleri



Şekil EK D-7 1 nolu deneyde elde edilen parça

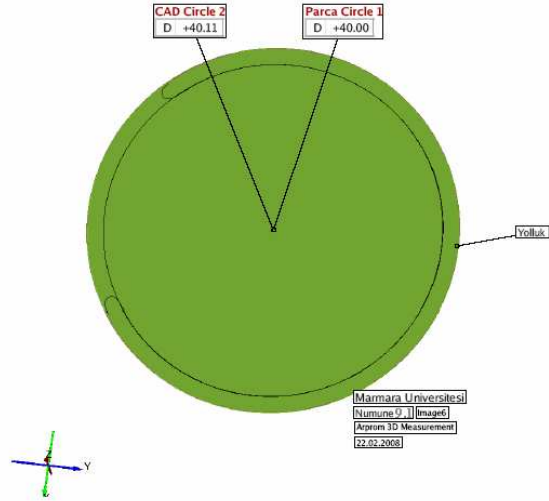


Şekil EK D-8 1 nolu deney üst yüzey ölçümleri

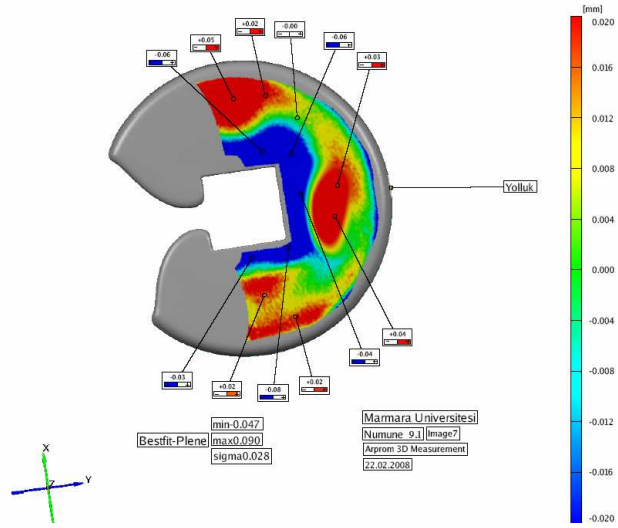


Şekil EK D-9 1 nolu deney yan yüzey ölçümleri





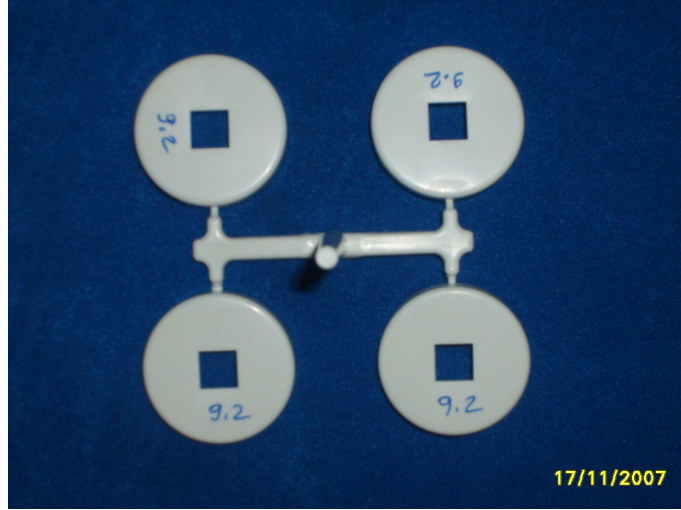
Şekil EK D-13 1 nolu deney dairesellik ölçümleri



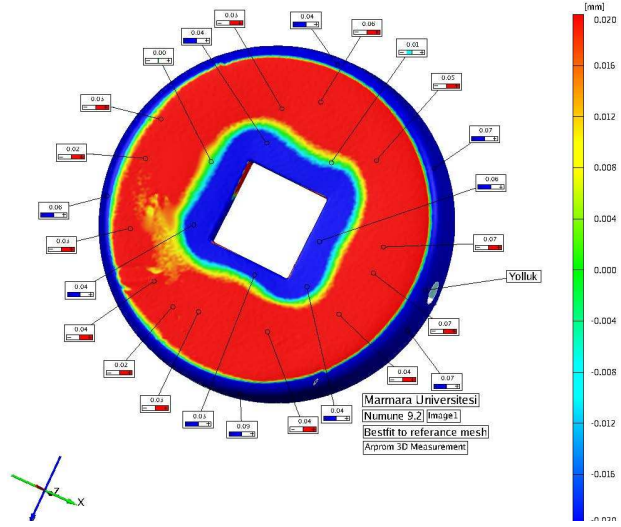
Şekil EK D-14 1 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|
| 850                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 200               | 25           |
| <div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 1 All Chan. s Channel: 1: Cav. 1 ymax: 335.7 bar at: 3.613 s </div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 2 All Chan. s Channel: 2: Cav. 2 ymax: 367.3 bar at: 3.613 s </div> </div>                                                                                         |                   |              |
| 2.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |              |
| <div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 3 All Chan. s Channel: 3: Cav. 3 ymax: 375.8 bar at: 3.760 s </div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 4 All Chan. s Channel: 4: Cav. 4 ymax: 345.0 bar at: 3.564 s </div> </div>                                                                                         |                   |              |
| 2.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |              |
| <div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 5 All Chan. s Channel: 5: temp ymax: 54.82 Cel at: 4.301 s </div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 109 OK: 26 NOK: 83 Ch: 1 Ch M4/4 Analysis Setup 1 Ch s 1: 450.0 bar Cav. 2: 450.0 bar Cav. 3: 450.0 bar Cav. 4: 450.0 bar Cav. 5: 0.000...100.0 Cel temp 6: off 7: off 8: off </div> </div> |                   |              |
| 2.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |              |
| 2.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                   |              |
| 2.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                   |              |
| 2.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                   |              |

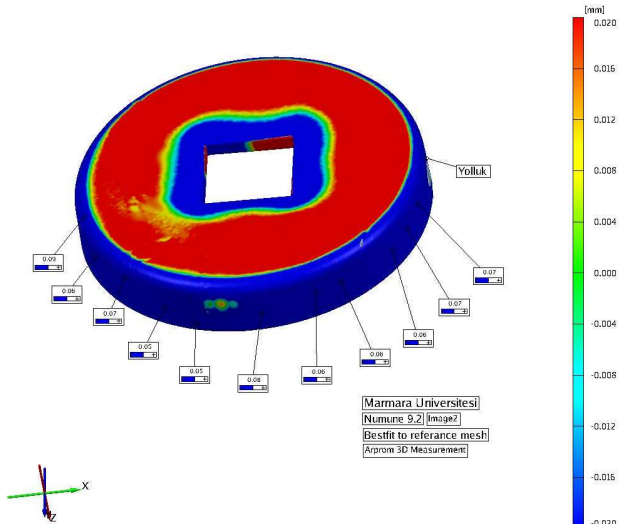
Şekil EK D-15 2 nolu deney sonuçları



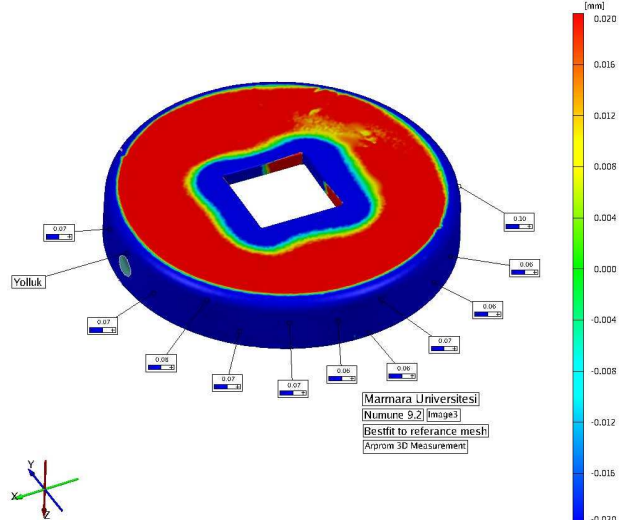
Şekil EK D-16 2 nolu deneyde elde edilen parça



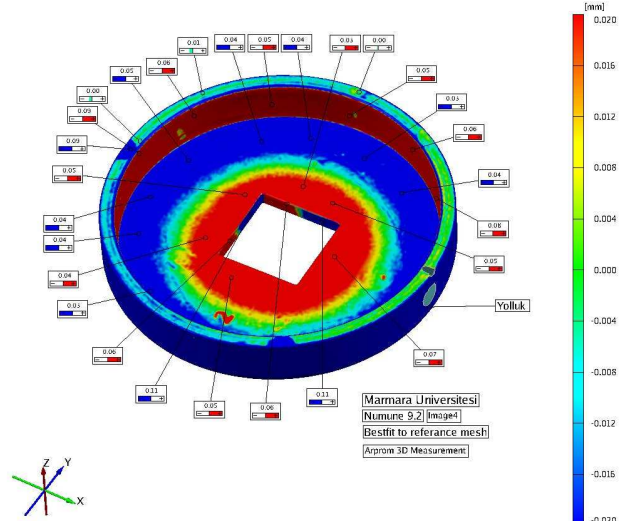
Şekil EK D-17 2 nolu deney üst yüzey ölçümleri



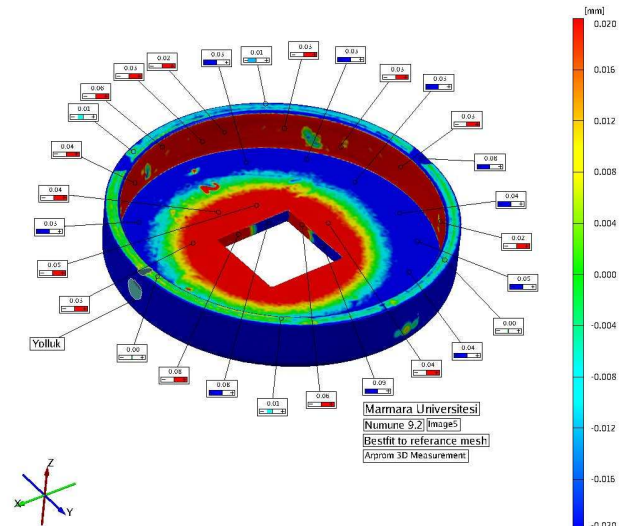
Şekil EK D-18 2 nolu deney yan yüzey ölçümleri



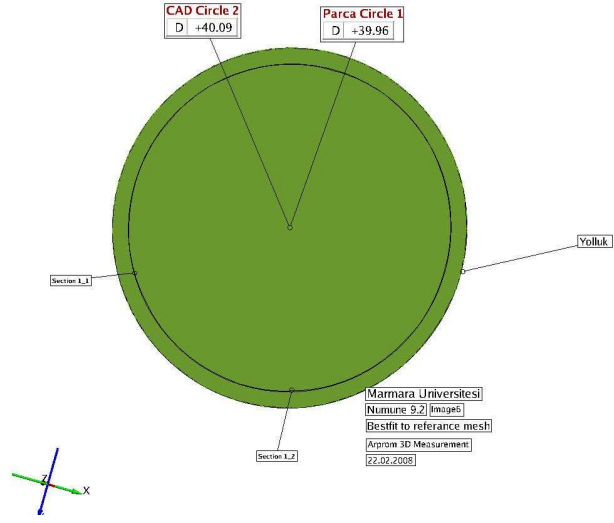
Şekil EK D-19 2 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



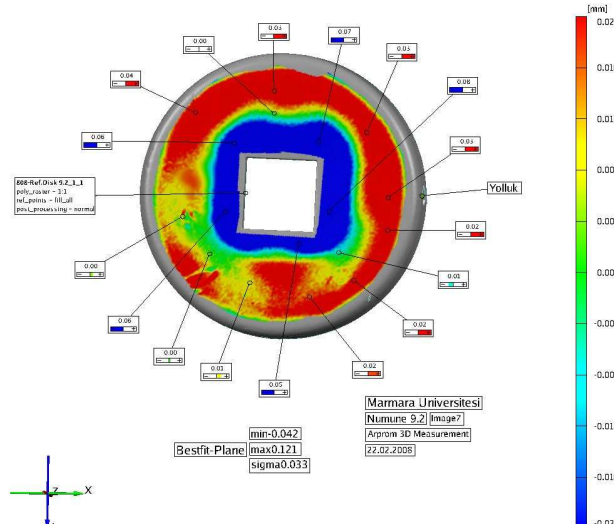
Şekil EK D-20 2 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil EK D-21 2 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



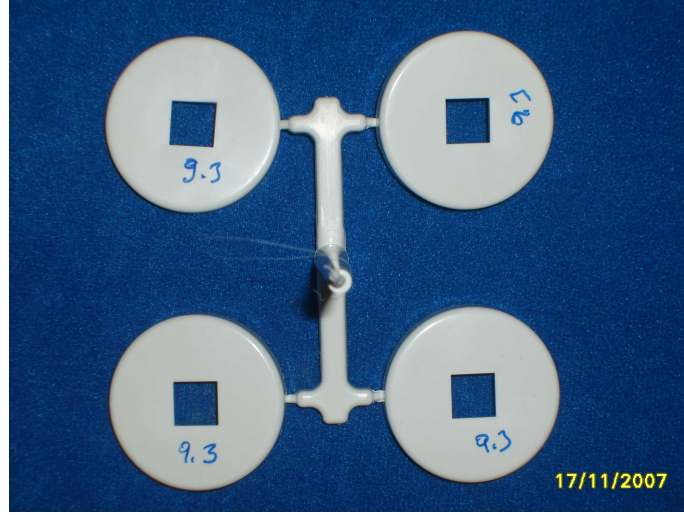
Şekil EK D-22 2 nolu deney dairesellik ölçümleri



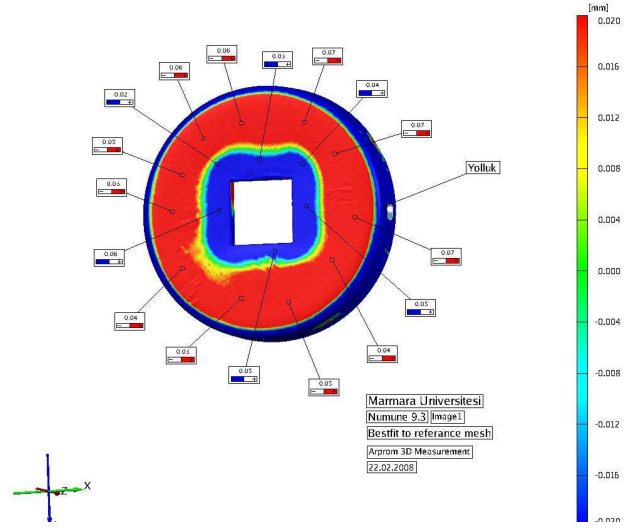
Şekil EK D-23 2 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|
| 850                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 225               | 35           |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 1</div> <div>bar</div> <div>1-1</div> <div>450<br/>405<br/>360<br/>315<br/>270<br/>225<br/>180<br/>135<br/>90<br/>45<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 1: Cav. 1<br/>ymax: 465.3 bar<br/>at: 2.753 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div>       |                   |              |
| 3.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 2</div> <div>bar</div> <div>2-1</div> <div>450<br/>405<br/>360<br/>315<br/>270<br/>225<br/>180<br/>135<br/>90<br/>45<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 2: Cav. 2<br/>ymax: 510.5 bar<br/>at: 2.753 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div>       |                   |              |
| 3.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 3</div> <div>bar</div> <div>3-1</div> <div>450<br/>405<br/>360<br/>315<br/>270<br/>225<br/>180<br/>135<br/>90<br/>45<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 3: Cav. 3<br/>ymax: 519.5 bar<br/>at: 2.802 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div>       |                   |              |
| 3.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 4</div> <div>bar</div> <div>4-1</div> <div>450<br/>405<br/>360<br/>315<br/>270<br/>225<br/>180<br/>135<br/>90<br/>45<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 4: Cav. 4<br/>ymax: 533.0 bar<br/>at: 2.703 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div>       |                   |              |
| 3.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |              |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 5</div> <div>Cel</div> <div>5-1</div> <div>100<br/>90<br/>80<br/>70<br/>60<br/>50<br/>40<br/>30<br/>20<br/>10<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 5: temp<br/>ymax: 56.88 Cel<br/>at: 3.318 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div>                |                   |              |
| 3.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                   |              |
| <div> <div>Measure PO: B: CoMo Inj</div> <div>Info: Cyc: 117 OK: 26 NOK: 91</div> <div>Ch: 5</div> <div>%FS</div> <div>3-1</div> <div>5-1</div> <div>100<br/>90<br/>80<br/>70<br/>60<br/>50<br/>40<br/>30<br/>20<br/>10<br/>0</div> <div>0 1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 8.4 9.6 10.8 12</div> <div>Channel: 5: temp<br/>ymax: 56.88 Cel<br/>at: 3.318 s</div> <div>All Chan.</div> <div>0000 0000</div> </div> |                   |              |
| 3.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                   |              |

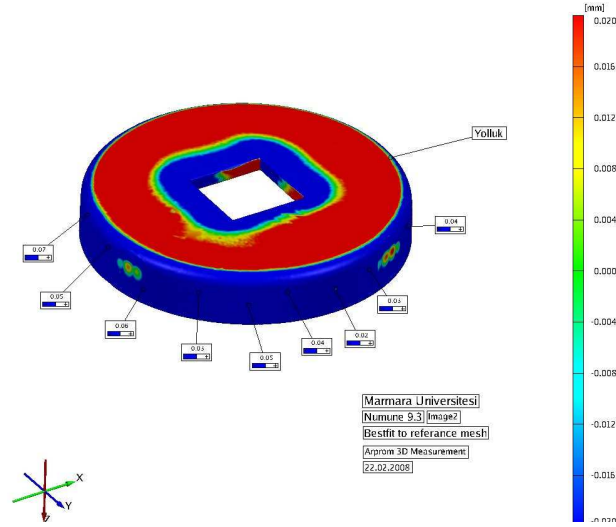
Şekil EK D-24 3 nolu deney sonuçları



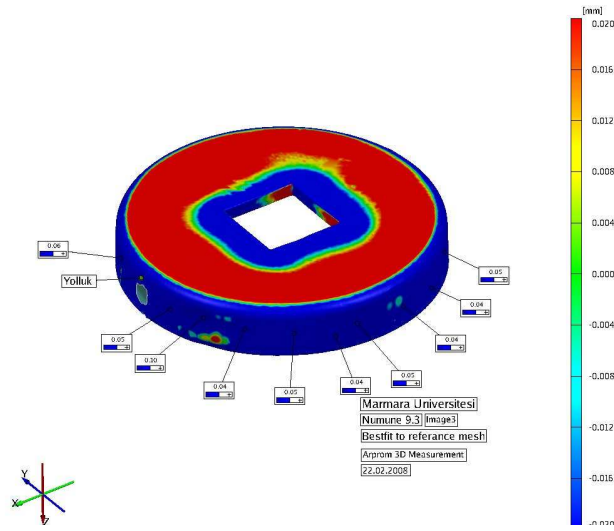
Şekil EK D-25 3 nolu deneyde elde edilen parça



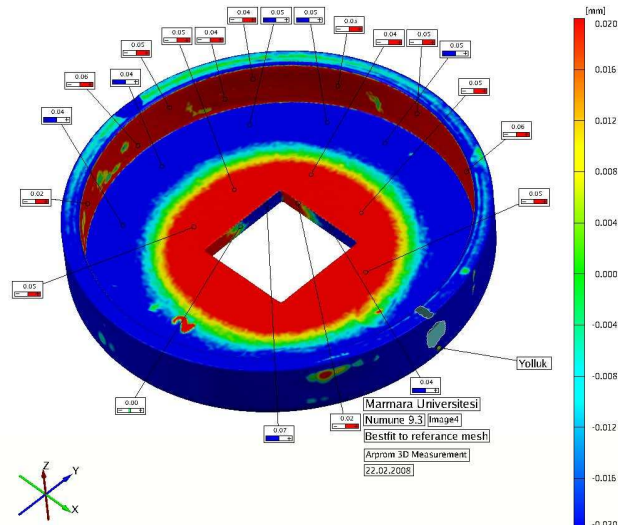
Şekil EK D-26 3 Nolu Deney Ust Yuzey Ölçümleri



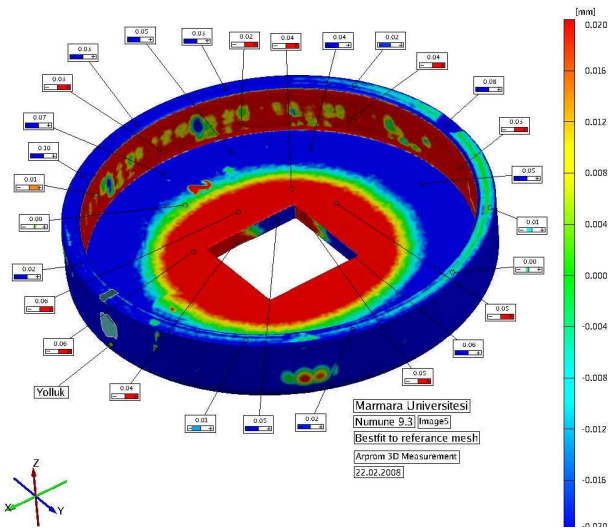
Şekil EK D-27 1 nolu deney yan yüzey ölçümleri



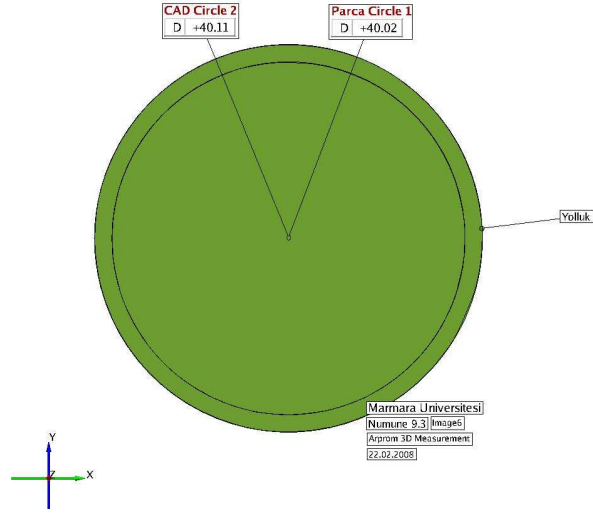
Şekil EK D-28 3 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



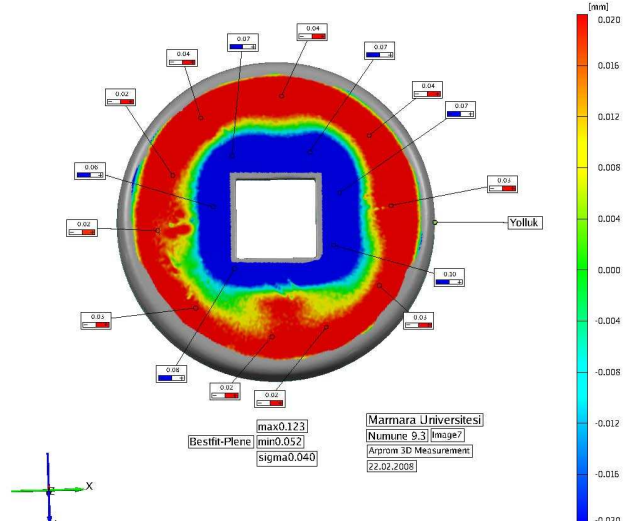
Şekil EK D -29 3 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil EK D-30 3 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



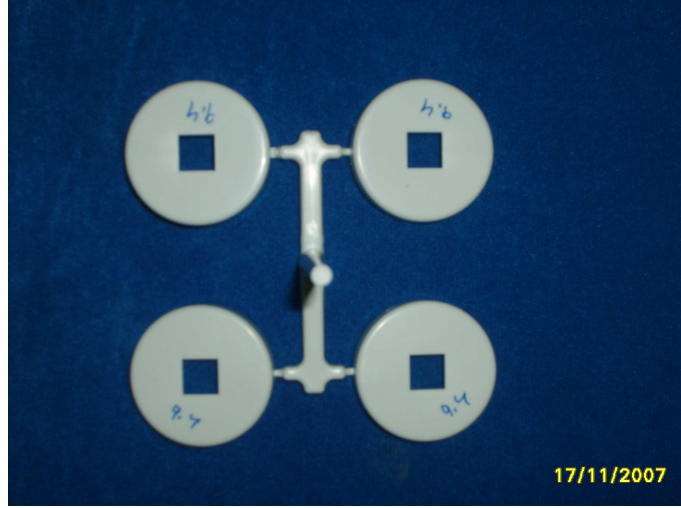
Şekil EK D-31 3 nolu deney dairesellik ölçümleri



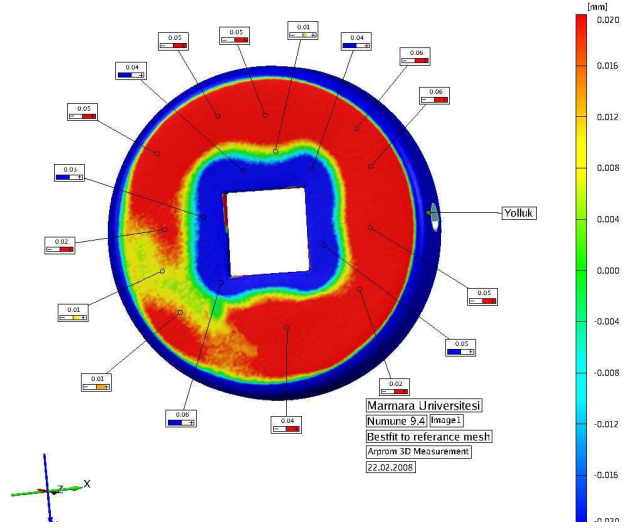
Şekil EK D-32 3 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                            | SICAKLIK<br>( C°)                                                                                                                                                                           | ZAMAN<br>(s) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 900                                                                                                                                                                                         | 185                                                                                                                                                                                         | 25           |
| <p>Measure PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 22 NOK: 78</p> <p>Cycl: 100</p> <p>Ch: 1</p> <p>bar</p> <p>1-1</p> <p>s</p> <p>Channel: 1: Cav. 1</p> <p>ymax: 280.2 bar</p> <p>at: 4.030 s</p> | <p>Measure PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 22 NOK: 78</p> <p>Cycl: 100</p> <p>Ch: 2</p> <p>bar</p> <p>2-1</p> <p>s</p> <p>Channel: 2: Cav. 2</p> <p>ymax: 301.8 bar</p> <p>at: 4.080 s</p> |              |
| 4.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                     | 4.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                     |              |
| <p>Measure PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 22 NOK: 78</p> <p>Cycl: 100</p> <p>Ch: 3</p> <p>bar</p> <p>3-1</p> <p>s</p> <p>Channel: 3: Cav. 3</p> <p>ymax: 306.0 bar</p> <p>at: 4.178 s</p> | <p>Measure PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 22 NOK: 78</p> <p>Cycl: 100</p> <p>Ch: 4</p> <p>bar</p> <p>4-1</p> <p>s</p> <p>Channel: 4: Cav. 4</p> <p>ymax: 252.0 bar</p> <p>at: 4.006 s</p> |              |
| 4.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                     | 4.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                     |              |
| <p>Measure PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: OK: 22 NOK: 78</p> <p>Cycl: 100</p> <p>Ch: 5</p> <p>Cel</p> <p>5-1</p> <p>s</p> <p>Channel: 5: temp</p> <p>ymax: 55.32 Cel</p> <p>at: 4.227 s</p>   |                                                                                                                                                                                             |              |
| 4.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                             |              |

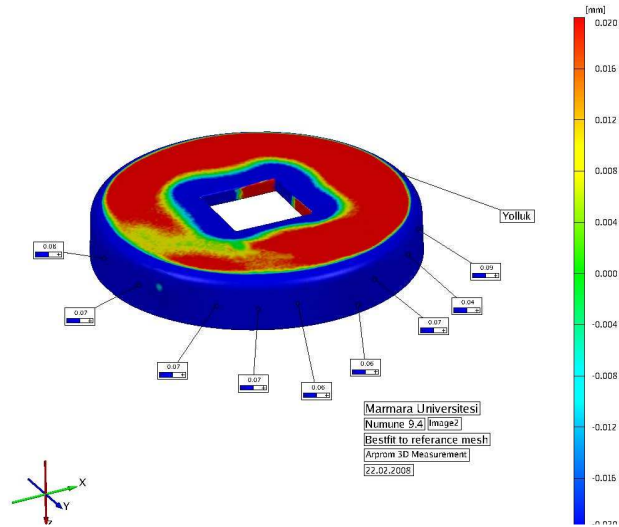
Şekil EK D-33 4 nolu deney sonuçları



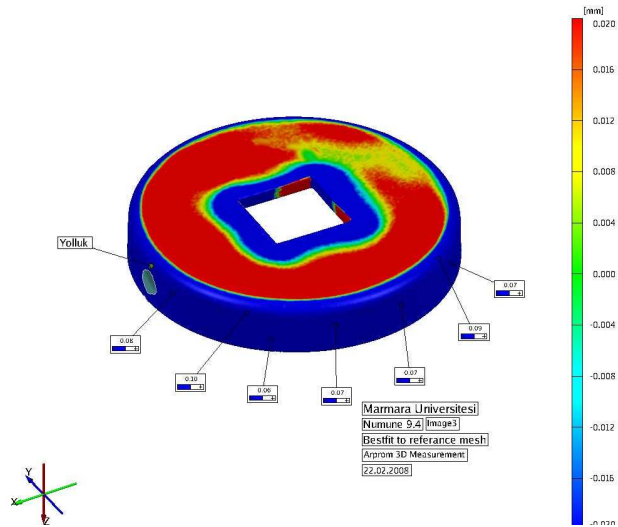
Şekil EK D-34 4 nolu deneyde elde edilen parça



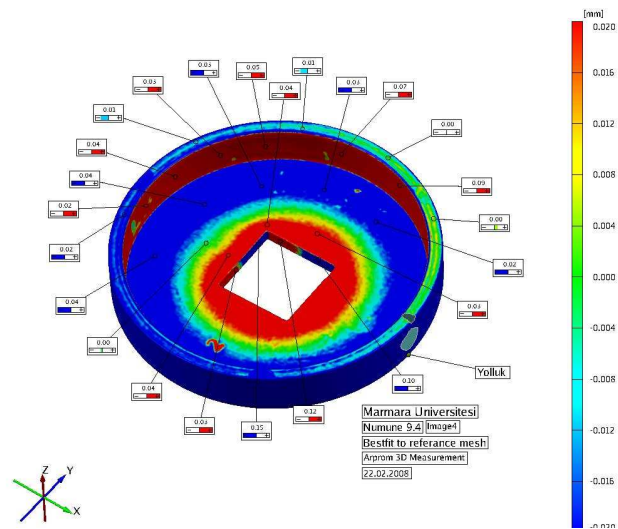
Şekil EK D-35 4 nolu deney ust yüzey ölçümleri



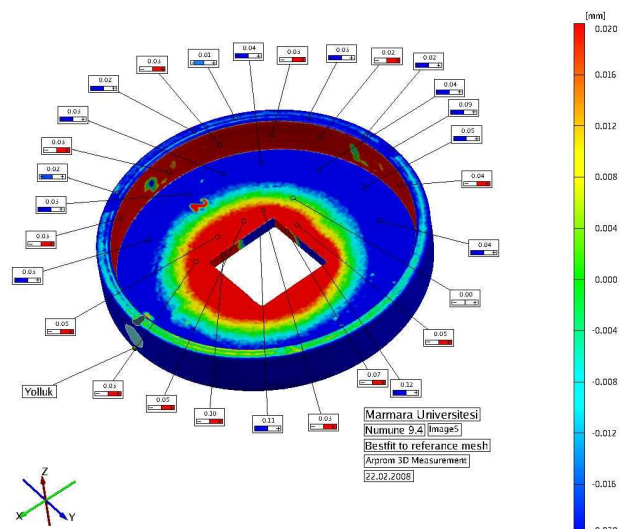
Şekil EK D-36 4 nolu deney yan yüzey ölçümleri



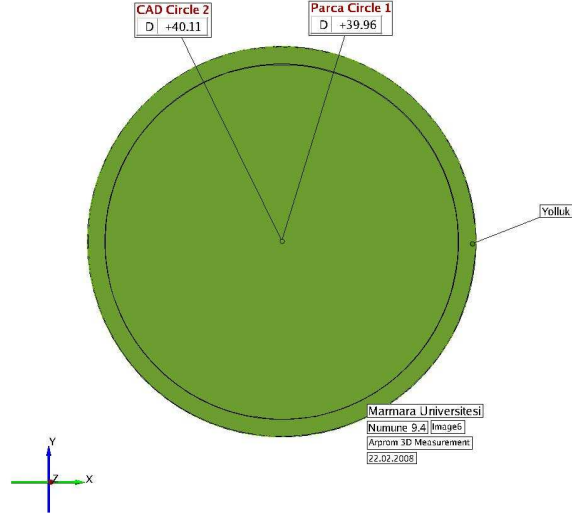
**Şekil EK D-37** 4 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



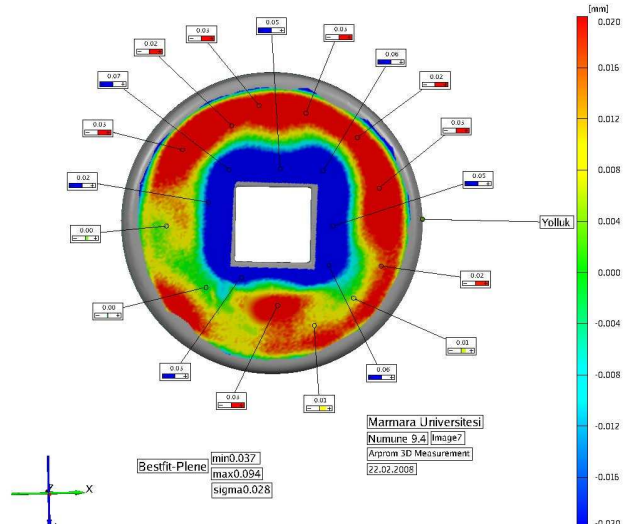
**Şekil EK D-38 4 nolu deney iç yüzey ölçümleri**



**Şekil EK D-39** 4 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



Şekil EK D-40 4 nolu deney dairesellik ölçümleri



Şekil EK D-41 4 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar) | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|------------------|-------------------|--------------|
| 900              | 200               | 35           |

**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 1  
All Chan.  
s  
Channel: 1: Cav. 1  
ymax: 356.0 bar  
at: 3.293 s

**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 2  
All Chan.  
s  
Channel: 2: Cav. 2  
ymax: 391.1 bar  
at: 3.293 s

**5.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç**

**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 3  
All Chan.  
s  
Channel: 3: Cav. 3  
ymax: 405.6 bar  
at: 3.367 s

**5.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç**

**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 4  
All Chan.  
s  
Channel: 4: Cav. 4  
ymax: 387.7 bar  
at: 3.244 s

**5.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç**

**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 5  
All Chan.  
s  
Channel: 5: temp  
ymax: 55.00 Cel  
at: 3.809 s

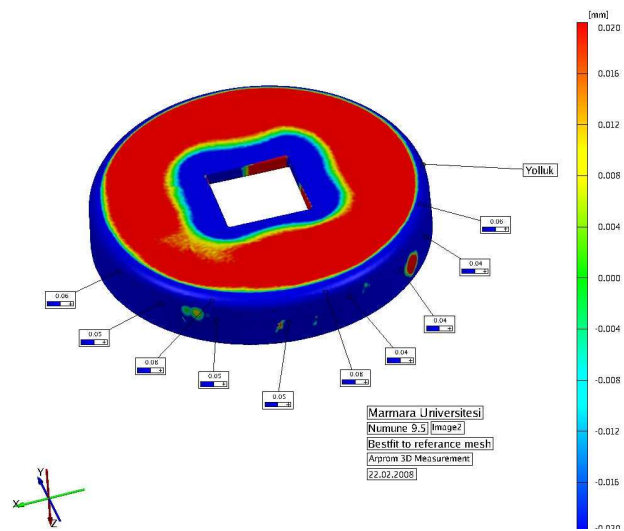
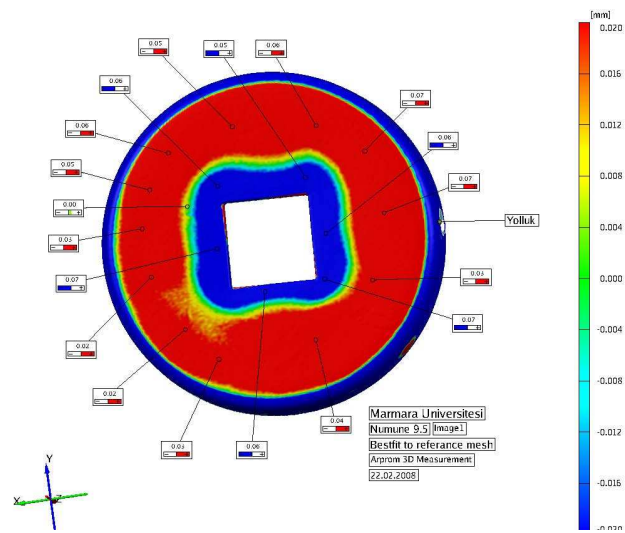
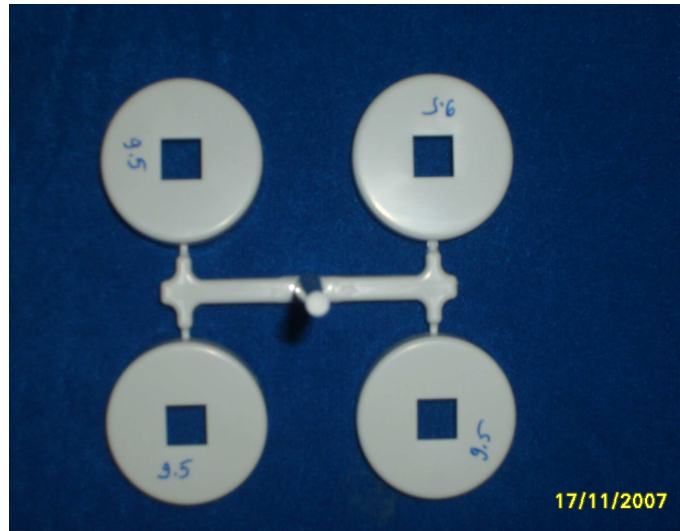
**5.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç**

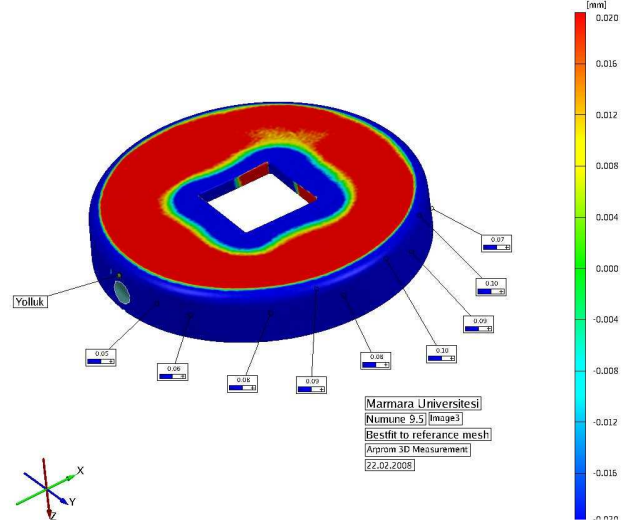
**Measure**  
Info:  
Cycl: 107  
OK: 25  
NOK: 82  
Ch: 1 Ch  
M4/4  
s  
1: 450.0 bar Cav. 5: 0.000...100.0 Cel temp  
2: 450.0 bar Cav. 6: off  
3: 450.0 bar Cav. 7: off  
4: 450.0 bar Cav. 8: off

5.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık

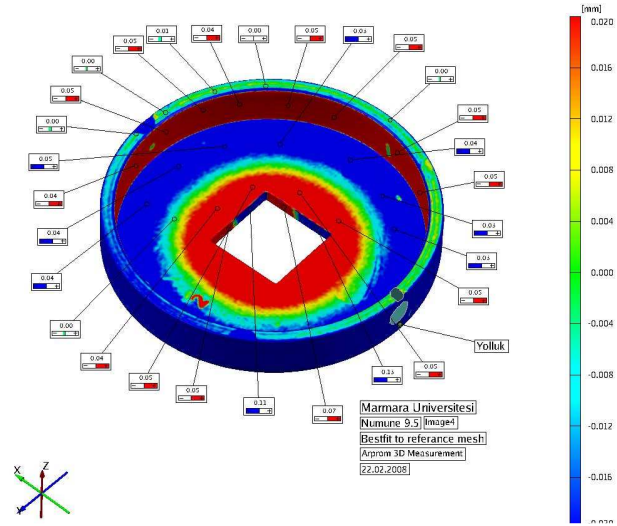
5.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık

**Şekil EK D-42 5 nolu deney sonuçları**

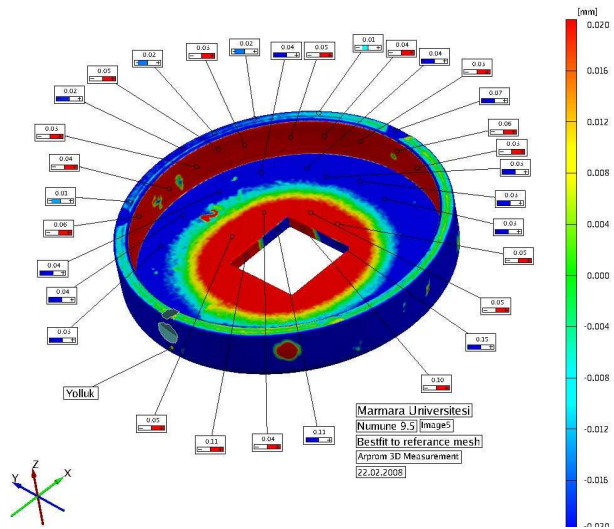




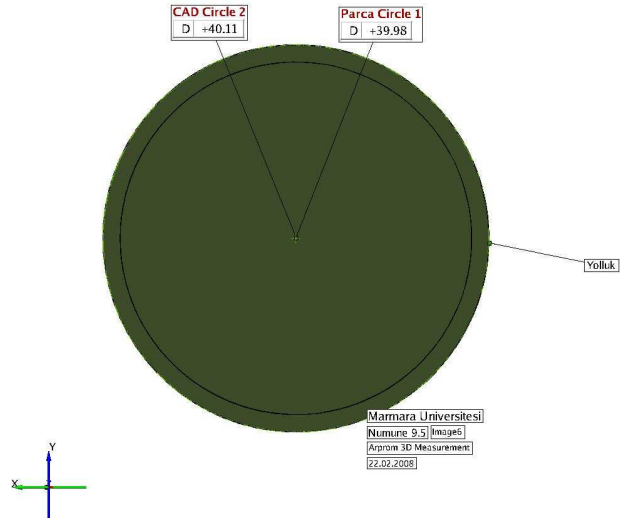
Şekil EK D-46 5 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



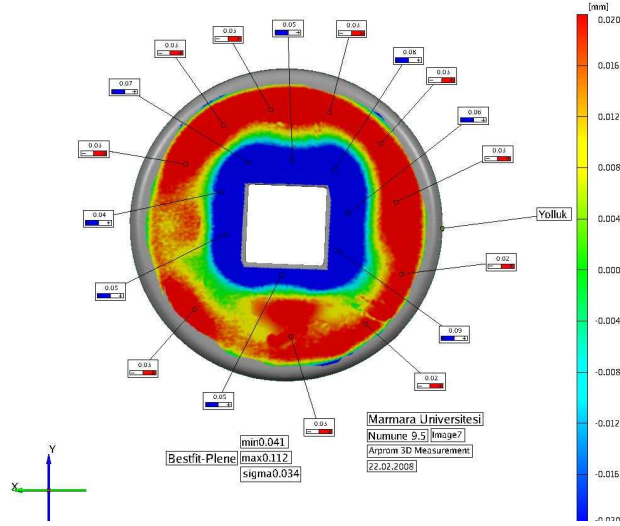
Şekil EK D-47 5 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil EK D-48 5 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



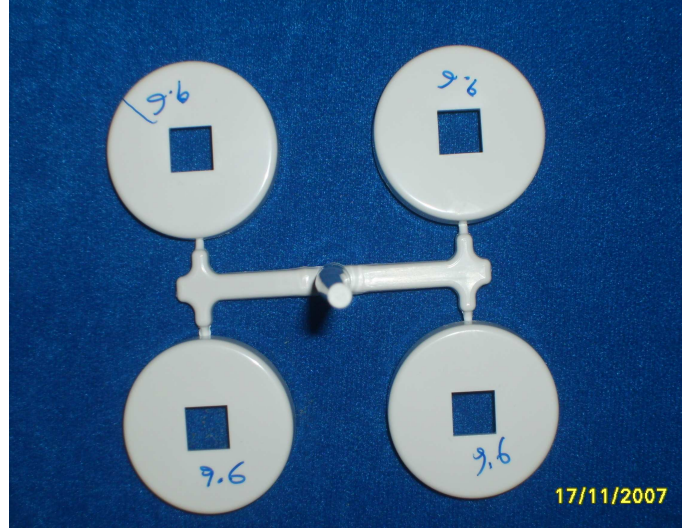
Şekil EK D-49 5 nolu deney dairesellik ölçümleri



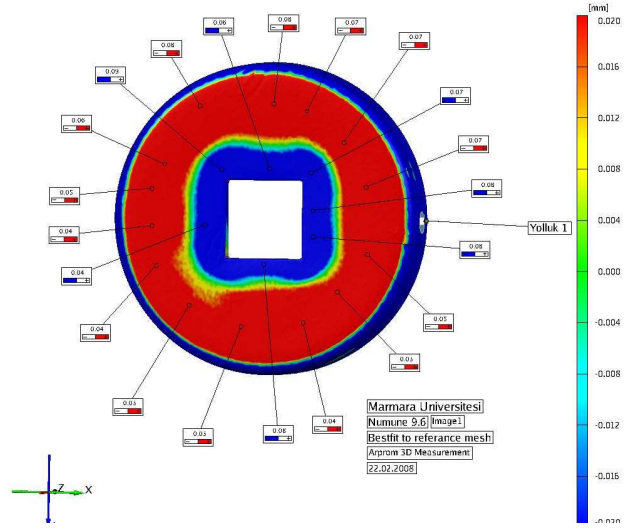
Şekil EK D-50 5 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                              | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|
| 900                                                                                                                                                                                           | 225               | 20           |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj </div> <div> Info: Cycl: 115 OK: 26 NOK: 89 </div> <div> Ch: 1 </div> </div> <div> Channel: 1: Cav. 1<br/> ymax: 471.4 bar<br/> at: 2.679 s </div> |                   |              |
| 6.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                       |                   |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj </div> <div> Info: Cycl: 115 OK: 26 NOK: 89 </div> <div> Ch: 2 </div> </div> <div> Channel: 2: Cav. 2<br/> ymax: 517.2 bar<br/> at: 2.679 s </div> |                   |              |
| 6.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                       |                   |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj </div> <div> Info: Cycl: 115 OK: 26 NOK: 89 </div> <div> Ch: 3 </div> </div> <div> Channel: 3: Cav. 3<br/> ymax: 526.3 bar<br/> at: 2.728 s </div> |                   |              |
| 6.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                       |                   |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj </div> <div> Info: Cycl: 115 OK: 26 NOK: 89 </div> <div> Ch: 4 </div> </div> <div> Channel: 4: Cav. 4<br/> ymax: 542.8 bar<br/> at: 2.630 s </div> |                   |              |
| 6.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                       |                   |              |
| <div> <div> <b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj </div> <div> Info: Cycl: 115 OK: 26 NOK: 89 </div> <div> Ch: 5 </div> </div> <div> Channel: 5: temp<br/> ymax: 57.58 Cel<br/> at: 3.367 s </div>   |                   |              |
| 6.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                                     |                   |              |

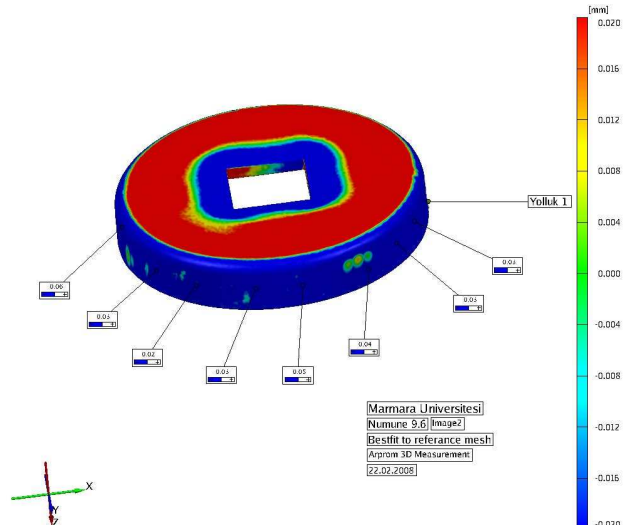
Şekil EK D-51 6 nolu deney sonuçları



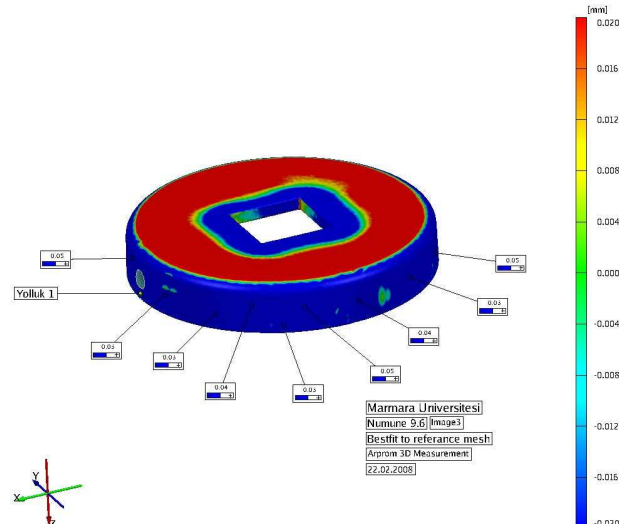
Şekil EK D-52 6 nolu deneyde elde edilen parça



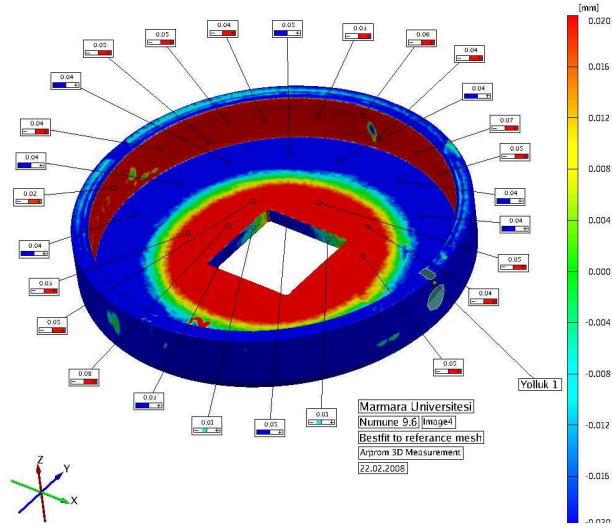
Şekil EK D-53 6 nolu deney üst yüzey ölçümleri



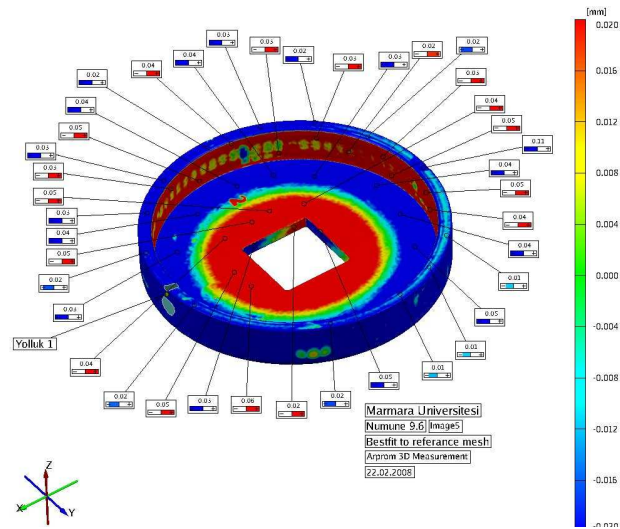
Şekil EK D-54 6 nolu deney yan yüzey ölçümleri



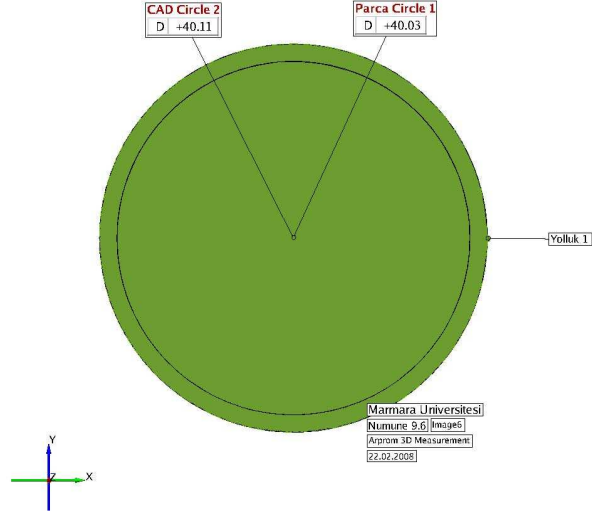
Şekil EK D-55 6 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



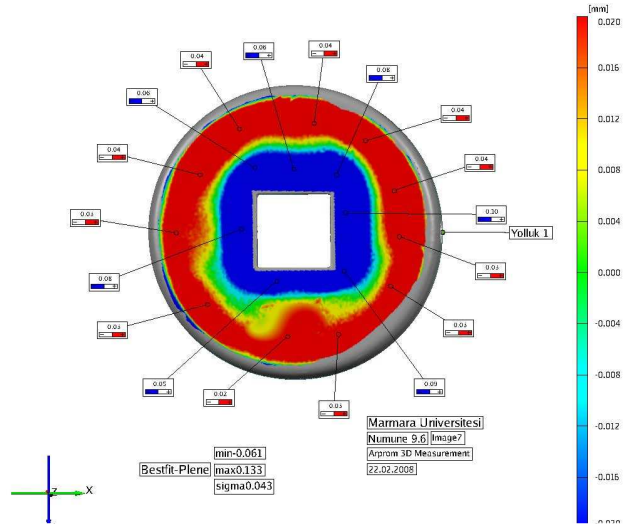
Şekil EK D-56 6 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil EK D-57 6 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



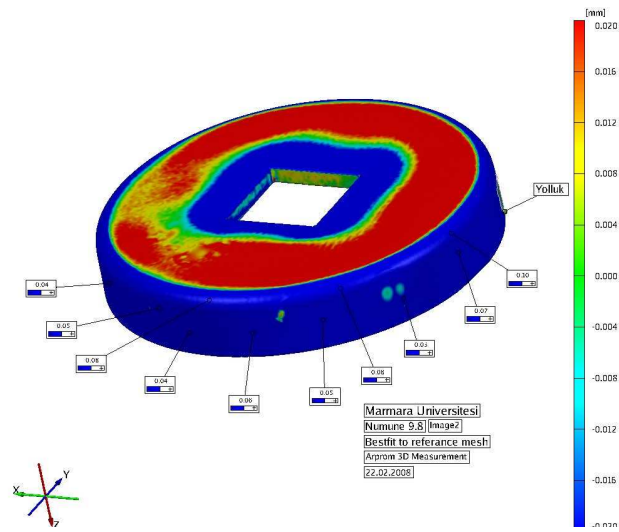
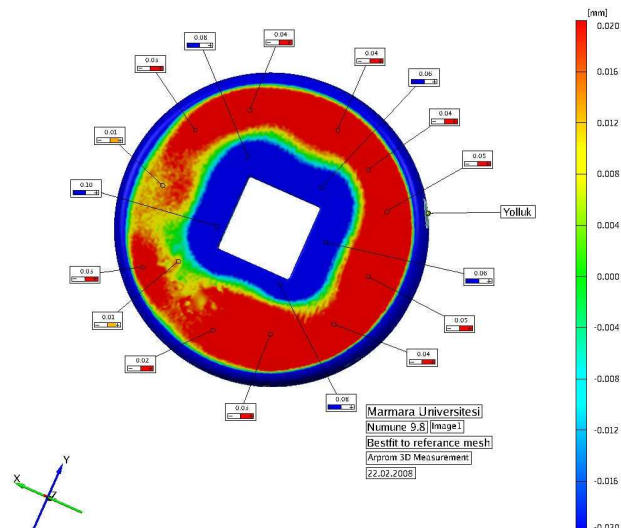
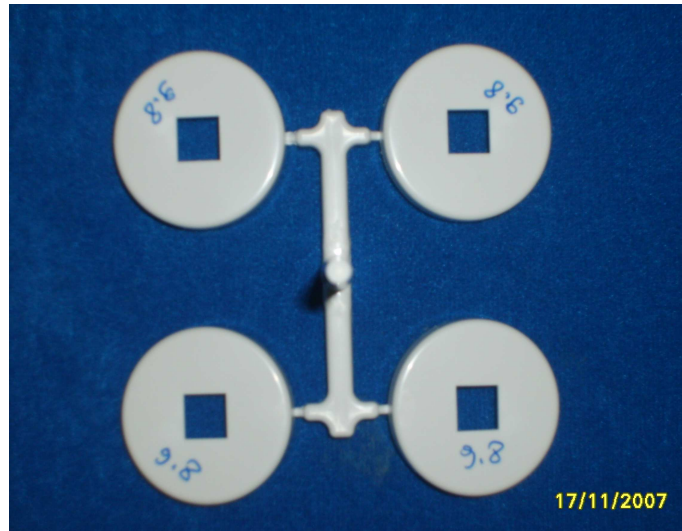
Şekil EK D-58 6 nolu deney dairesellik ölçümleri

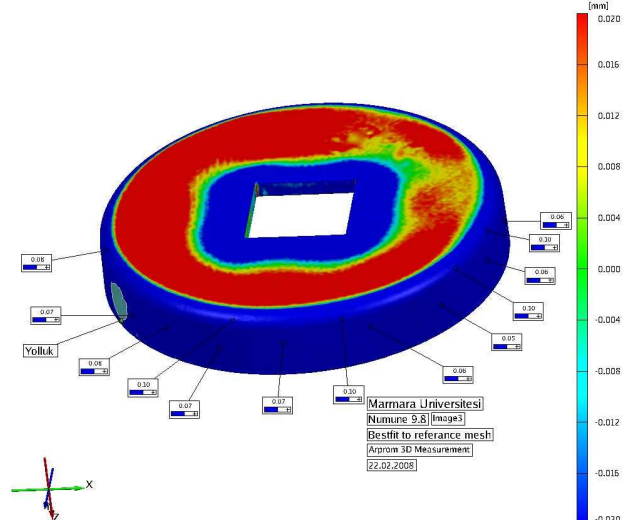


Şekil EK D-59 6 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

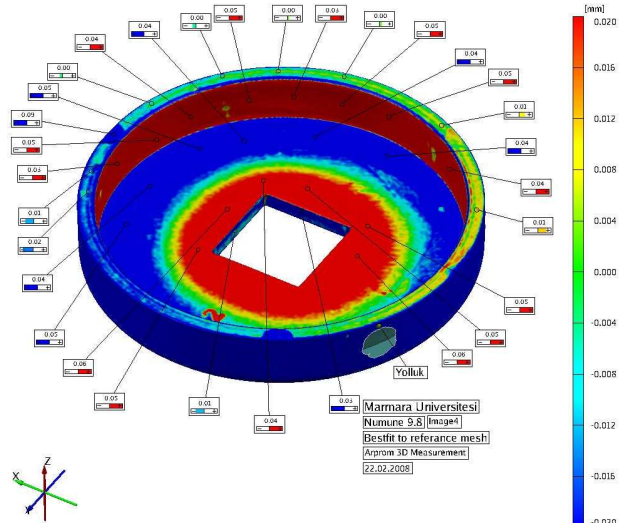
| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                  | SICAKLIK<br>( C°) | ZAMAN<br>(s)                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1000                                                                                                                                                                              | 200               | 20                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>Ch: 1</p> <p>bar</p> <p>s</p> <p>Channel: 1: Cav. 1<br/>ymax: 387.9 bar<br/>at: 2.900 s</p> |                   | <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>Ch: 2</p> <p>bar</p> <p>s</p> <p>Channel: 2: Cav. 2<br/>ymax: 426.0 bar<br/>at: 2.925 s</p>                                                    |
| 8.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                           |                   | 8.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>Ch: 3</p> <p>bar</p> <p>s</p> <p>Channel: 3: Cav. 3<br/>ymax: 443.1 bar<br/>at: 2.949 s</p> |                   | <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>Ch: 4</p> <p>bar</p> <p>s</p> <p>Channel: 4: Cav. 4<br/>ymax: 438.1 bar<br/>at: 2.851 s</p>                                                    |
| 8.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                           |                   | 8.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>Ch: 5</p> <p>Cel</p> <p>s</p> <p>Channel: 5: temp<br/>ymax: 56.15 Cel<br/>at: 3.539 s</p>   |                   | <p><b>Measure</b> PO: B: CoMo Inj</p> <p>Info: <b>Cycl: 111</b> OK: 26 NOK: 85</p> <p>%FS</p> <p>s</p> <p>1: 450.0 bar Cav. 2: 450.0 bar Cav. 3: 450.0 bar Cav. 4: 450.0 bar Cav. 5: 0.000...100.0 Cel temp 6: off 7: off 8: off</p> |
| 8.deney 4 no lu göz içerisindeki sıcaklık                                                                                                                                         |                   | 8.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık                                                                                                                                                                        |

Şekil EK D-60 8 nolu deney sonuçları

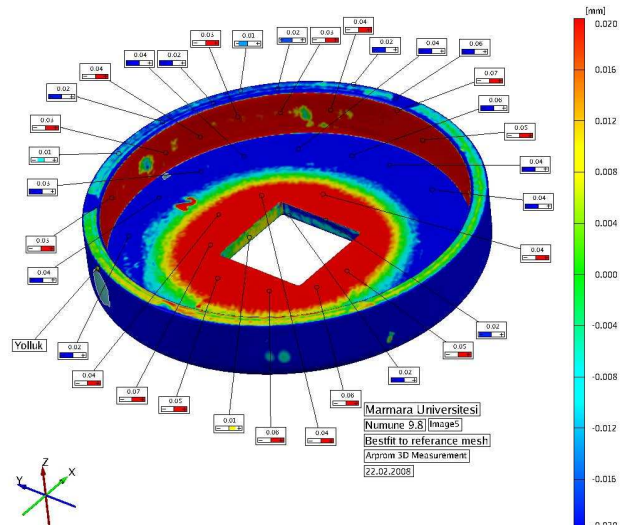




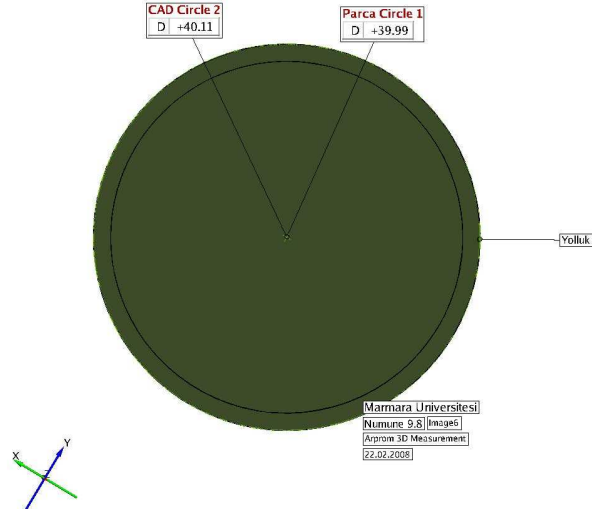
Şekil V-64 8 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



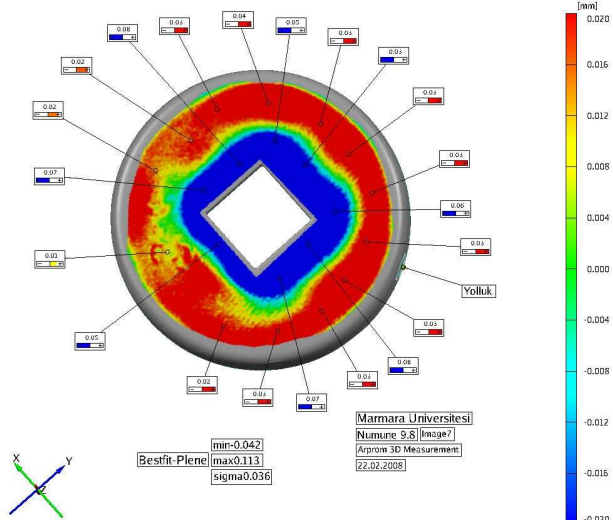
Şekil V-65 8 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil V-66 8 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



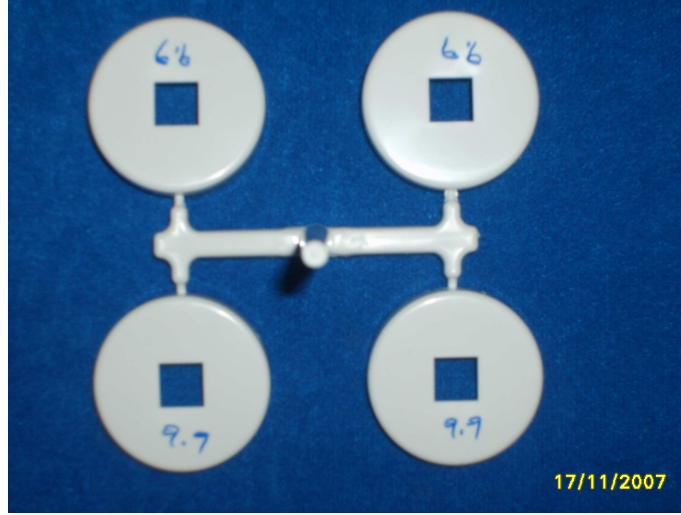
Şekil V-67 8 nolu deney dairesellik ölçümleri



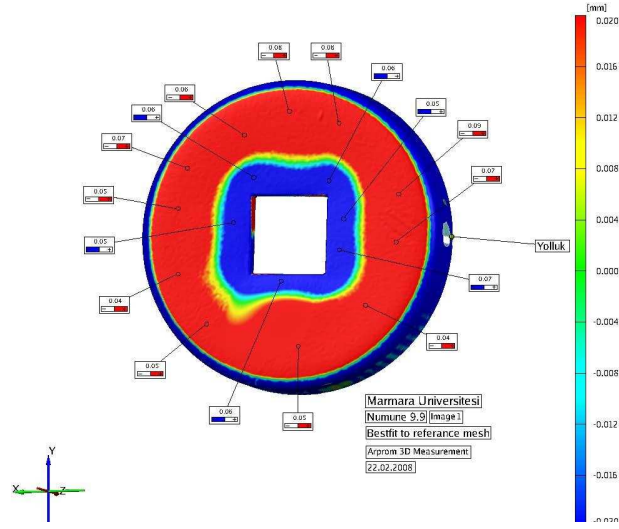
Şekil V-68 8 nolu deney üst yüzey ve üst çap ölçümleri

| BASINÇ<br>( bar)                                                                                                                                                                                                                                                     | SICAKLIK<br>( C°)                                                                                                                                          | ZAMAN<br>(s) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1000                                                                                                                                                                                                                                                                 | 225                                                                                                                                                        | 25           |
| <div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 113 OK: 26 NOK: 87 Ch: 1 All Chan. s Channel: 1: Cav. 1 ymax: 465.4 bar at: 2.630 s </div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 113 OK: 26 NOK: 87 Ch: 2 All Chan. s Channel: 2: Cav. 2 ymax: 510.1 bar at: 2.605 s </div> </div> |                                                                                                                                                            |              |
| 9.deney 1 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                              | 9.deney 2 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                    |              |
| <div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 113 OK: 26 NOK: 87 Ch: 3 All Chan. s Channel: 3: Cav. 3 ymax: 522.1 bar at: 2.679 s </div> <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 113 OK: 26 NOK: 87 Ch: 4 All Chan. s Channel: 4: Cav. 4 ymax: 537.2 bar at: 2.580 s </div> </div> |                                                                                                                                                            |              |
| 9.deney 3 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                                                                                                                              | 9.deney 4 no lu göz içerisindeki basınç                                                                                                                    |              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | <div> Measure PO: B: Info: Cycl: 113 OK: 26 NOK: 87 Analysis Setup 1 Ch M4/4 s 1: 450.0 bar Cav. 5: 0.000...100.0 Cel temp 2: 450.0 bar Cav. 6: off </div> |              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9.deney tüm gözler üzerindeki basınçlar ve 4.gözdeki sıcaklık                                                                                              |              |

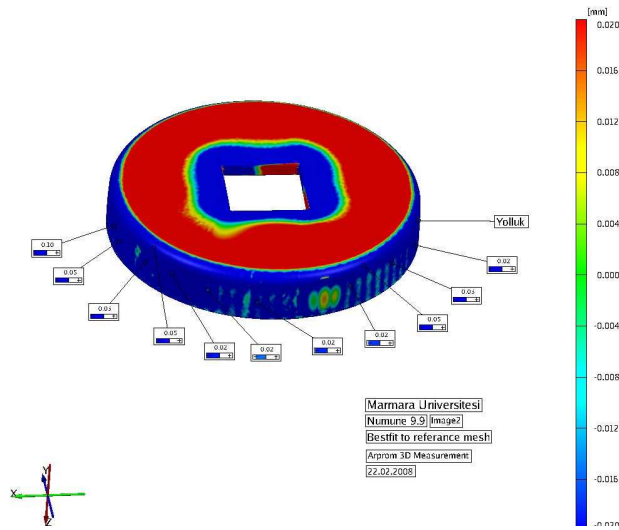
Şekil V-69 9 nolu deney sonuçları



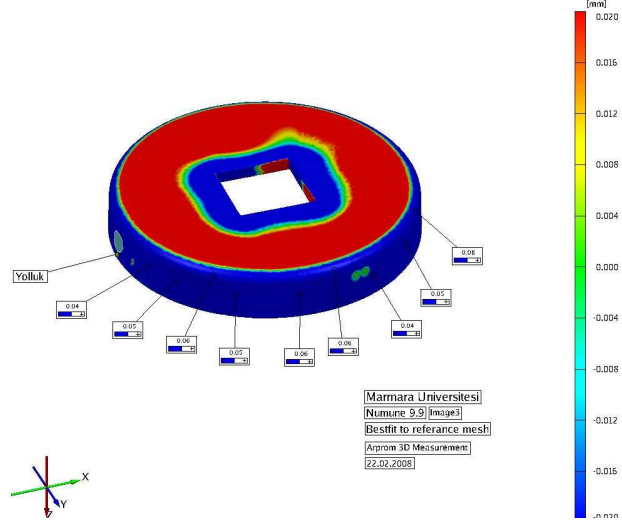
Şekil V-70 9 nolu deneyde elde edilen parça



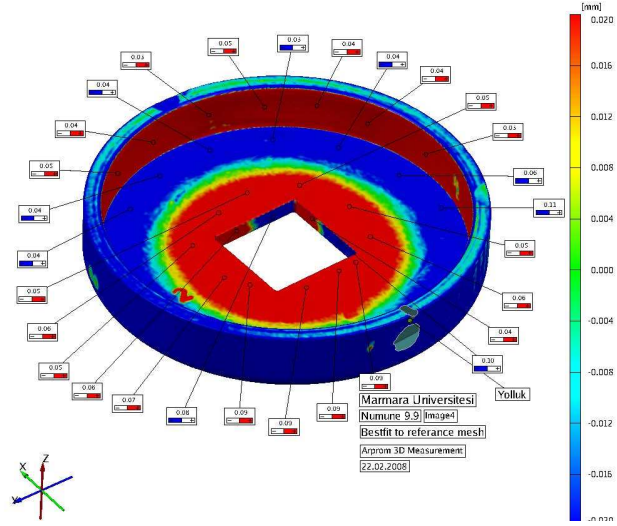
Şekil V-71 9 nolu deney ust yüzey ölçümleri



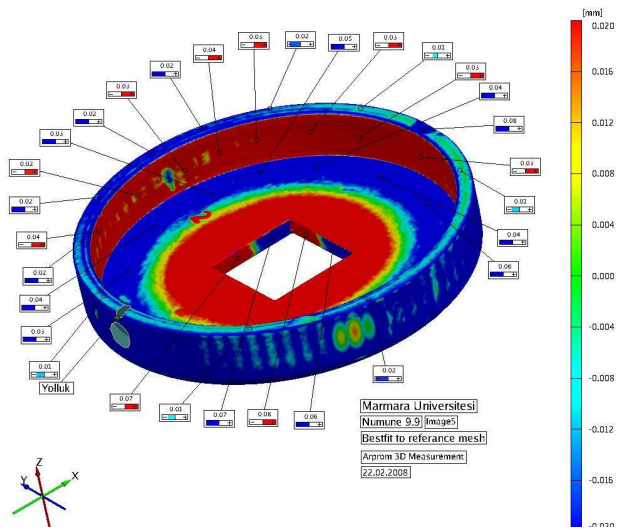
Şekil V-72 9 nolu deney yan yüzey ölçümleri



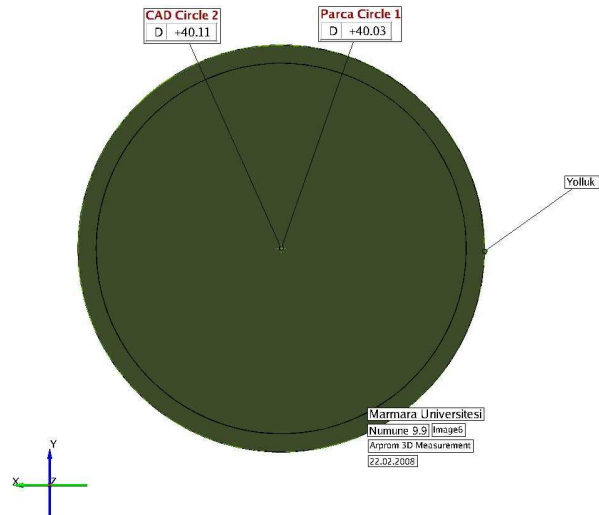
Şekil V-73 9 nolu deney yan yüzey ve üst çap ölçümleri



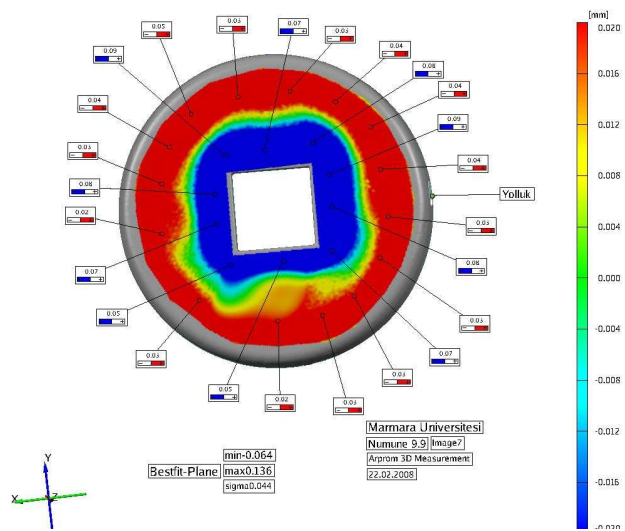
Şekil V-74 9 nolu deney iç yüzey ölçümleri



Şekil V-75 9 nolu deney iç yüzey, kare ve alt yüzey ölçümleri



**Şekil V-76** 9 nolu deney dairesellik ölçümleri



**Şekil V-77** 9 nolu deney ust yuzey ve üst çap ölçümleri

# ÖZGEÇMİŞ

**Ömer Şaban KAMBER**

## KİMLİK BİLGİLERİ

Doğum tarihi :05.12.1965  
Doğum yeri :Siirt

## EĞİTİM BİLGİLERİ

|               |            |                                                                              |
|---------------|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Lise          | :1979–1981 | İstanbul Kadırga Endüstri Meslek Lisesi                                      |
| Lisans        | :1983–1989 | Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi<br>Makine Mühendisliği Bölümü      |
| Yüksek Lisans | :2001–2003 | Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Makine Eğitimi Anabilim Dalı |
| Doktora       | :2003-2008 | Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Makine Eğitimi Anabilim Dalı |

Yabancı Dil : İngilizce,Makedonca  
Çalışma Alanı : Plastik Enjeksiyon Kalıpları  
E-posta : [okamber@iea.com.tr](mailto:okamber@iea.com.tr)