

**T.C**  
**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTERNATİF KALIP MALZEMELERİNİN DEĞİŞİK**  
**POLİMERLERDEN ELDE EDİLMİŞ NİHAİ ÜRÜNÜN**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Alper ÖZBAY**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI**  
**Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK**

**GEBZE**

**2008**

## ÖZET

**TEZ BAŞLIĞI:** Alternatif kalıp malzemelerinin, değişik polimerlerden elde edilmiş nihai ürünün mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması

**YAZAR ADI:** Alper ÖZBAY

Plastik ürünün sahip olduğu mukavemet özelliklerini ham madde özellikleri dışında enjeksiyon parametreleri ve kalıp malzemesi de etkilemektedir. Yapılan çalışmada ana amaç kalıp malzemesi ve plastik türüne göre enjeksiyon parametrelerinin etki değerlerini belirlemektir.

Projede uygulanan yöntem deneysel olup üç adet kalıp, (kalıpların ham maddesi; Ç1040, 2000 serisi alüminyum ve %20 SiC içeren RP4037 epoksi olarak belirlendi) 2 cins plastik malzeme (PP ve ABS) kullanıldı.

Plastik ürünün mukavemetini etkileyen parametreler olarak eriyik sıcaklığı, tutma basıncı, soğutma süresi ve enjeksiyon basıncı seçildi. Seçilen parametrelerle üç seviyeli, dokuz adımlı Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarım tablosu düzenlendi, standartlara uygun numuneler üretildi. Elde edilen numunelerin mekanik özellikleri ölçülerek sonuçlar değerlendirildi.

Taguchi analizinden elde edilen S/N değerleri kullanılarak anova analizi yapıldı. Anova analizi sayesinde plastiklerin mekanik özelliklerini hangi kalıp malzemesinde hangi parametrelerin etkilediği belirlenmeye çalışıldı. Anova analizinde görülmüştür ki mekanik özellikleri etkileyen enjeksiyon parametrelerinin % etkisi, plastik türü ve kalıp malzemesine göre farklılık göstermektedir. Elde edilen değerler tez içerisinde grafikler ve tablolar şeklinde açıklanmıştır.

## **SUMMARY**

**TITLE OF THE THESIS:** Investigation of mechanical properties of the plastic parts using different mold materials and polymer

**AUTHOR:** Alper ÖZBAY

Other than properties of plastic raw materials, injection parameters and mould materials effect mechanical properties of plastic. The main aim of this study is to determine injection parameters' effect ratio according to mould and plastic materials

The research is experimental. Three molds, (molds materials are St1040, Al 2000 series and RP4037 epoxy include %20 SiC) and two types of plastic (PP & ABS) are used.

Melting temperature, packing pressure, cooling time and injection pressure are chosen as injection Parameters which Effect mechanical properties of plastic parts. By using selected parameters, TAGUCHI experiment design table having three levels and nine steps is done. Samples are injected according to standards. The mechanical properties of output samples are measured and the results are evaluated.

By annova analysis what parameters effect the mechanical properties of plastics on what mould materials is determined.

As it is understood in Anova analysis, that the percentage effect of injection parameters differs according to plastic type and mould material. Results are explained on given tables and graphics in this study

## TEŞEKKÜR

GYTE'deki öğrenim hayatım boyunca tüm çalışmalarında beni destekleyen, tez çalışmamın başından sonuna kadar bana devamlı yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e; çalışmada engin bilgilerinden yararlandığım Prof. Dr. Mahmut BAYRAMOĞLU'na çalışmalarım boyunca desteklerini benden esirgemeyen arkadaşım Emrah ÜNAL ve Asya Makine çalışanlarına; Kalıp yapımındaki yardımlarından dolayı Yalın Mekanikten arkadaşım Ö. Hakan YALINA deneysel çalışmayı yapma imkanı sağladıkları için PAGEV teknik lisesinden Engin CANTÜRK ve GALSAN A.Ş'den Sercan TELLİ'ye; çekme test cihazını kullandırdıkları için Kocaeli Üniversitesi'nden Doç. Dr. Tamer SINMAZÇELİK ve asistanları M. Özgür BORA, Onur ÇOBAN'a; üç nokta eğilme deneyini yapmama yardımcı olduğu için GYTE'den Adem ŞEN'e ve tabi ki bugün burada olmamı sağlayan, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, sadece anne baba kardeş değil birer dost olan sevgili aileme; sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| ÖZET                                             | 1  |
| SUMMARY                                          | 2  |
| TEŞEKKÜR                                         | 3  |
| İÇİNDEKİLER                                      | 4  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR                          | 6  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                  | 7  |
| TABLolar DİZİNİ                                  | 9  |
| 1. GİRİŞ                                         | 1  |
| 2. PLASTİK MALZEMELER                            | 5  |
| 2.1 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması       | 5  |
| 2.1.1 Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma          | 7  |
| 2.1.2 Yapı Esasına Göre Sınıflandırma            | 7  |
| 2.1.3 İşleme Esasına Göre Sınıflandırma          | 8  |
| 2.1.4 Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma        | 9  |
| 2.1.5 Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma          | 9  |
| 2.2 Plastik Malzemelerin Mühendislik Özellikleri | 10 |
| 2.3 Plastiklerin Mekanik Davranışı               | 11 |
| 2.3.1 Güçlendirme                                | 11 |
| 2.3.2 Sıcaklık                                   | 12 |
| 2.3.3 Şekil Değiştirme Hızı                      | 14 |
| 2.3.4 Sürünme                                    | 15 |
| 2.3.5 Polimer malzemelerin kırılması             | 15 |
| 2.4 Plastiklerin Tanıtılması                     | 15 |
| 2.4.1 Plastik Seçiminde Dikkat Edilen Hususlar   | 15 |
| 2.4.2 ABS Genel Özellikleri                      | 16 |
| 2.4.3 Polipropilen (PP) Genel Özellikleri        | 17 |
| 3. KALIP MALZEMELERİ                             | 18 |
| 3.1 Seçilen Kalıp Malzemeleri                    | 18 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 4. LİTERATÜR TARAMASI                              | 20 |
| 4.1 Benzer ve Kullanılan Çalışmaların Özetleri     | 20 |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMA                                | 33 |
| 5.1 Hazırlık                                       | 33 |
| 5.2 Polipropilen Numunelerinin Deney Sonuçları     | 40 |
| 5.3 PP Numunelerin S/N Oranı                       | 49 |
| 5.4 PP Numunelerin Varyans analizi (ANOVA)         | 52 |
| 5.5 ABS Numunelerinin Sonuçları                    | 59 |
| 5.6 ABS Numuneler İçin S/N Oranı                   | 67 |
| 5.7 ABS Numuneler İçin Varyans Analizi (ANOVA)     | 70 |
| BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER                       | 76 |
| 6.1 Sonuçlar                                       | 76 |
| 6.2 Öneriler                                       | 77 |
| EK 1 Çalışmada kullanılan Polimerlerin Özellikleri | 79 |
| PP (Dow 705c)                                      | 79 |
| ABS (Strarex ABS-SD-0150)                          | 79 |
| EK 2 ÖRNEK ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI                  | 80 |
| EK 3 MIR Enjeksiyon Makinesinin Teknik Verileri    | 86 |
| EK 4 Anova Analizi Toplu Gösterim                  | 87 |
| KAYNAKLAR                                          | 88 |
| ÖZGEÇMİŞ                                           | 91 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|               |                                                                         |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ABS           | Akrilonitril bütadien stirenin                                          |
| E             | elastisite modülü                                                       |
| G             | eğilme modülü                                                           |
| $k_a$         | a faktörünün seviye sayısı,                                             |
| n             | deney sayısı                                                            |
| $n_{ai}$      | a faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,                              |
| S/N           | sinyal gürültü oranı                                                    |
| PP            | Polipropilen                                                            |
| $T_g$         | Plastiklerin Camsı noktaya geçiş sıcaklığı                              |
| $T_f$         | Plastikleri akma Sıcaklığı                                              |
| $\varepsilon$ | Yüzde uzama miktarı                                                     |
| $\sigma$      | Gerilme                                                                 |
| y             | Deney ölçüm değeri                                                      |
| $\eta_i$      | ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranı,                |
| $\eta_m$      | ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranların ortalaması, |
| $\eta_m$      | ortalama S/N oranı,                                                     |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Şekil:

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Polimerlerin Sınıflandırılması.                                                                             | 6  |
| 2.2 Polimerin içindeki kristal ve amorf yapılar görülmektedir.                                                  | 10 |
| 2.3 Yoğunluğa göre gerilme - genleme grafiği.                                                                   | 12 |
| 2.4 E katsayısının sıcaklığa göre değişimi.                                                                     | 13 |
| 2.5 PS Çekme diyagramının zamanla.                                                                              | 14 |
| 2.6 Şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı.                                           | 14 |
| 4.1 Enjeksiyon çevrim süreleri.                                                                                 | 21 |
| 4.2 Çevrim sürelerinin grafiksel gösterimi.                                                                     | 21 |
| 4.3 Standart soğutma kanalları.                                                                                 | 22 |
| 4.4 Yüzeye uygun soğutma kanalı.                                                                                | 23 |
| 4.5 Kalıbın çalışma sıcaklığına ulaşması için geçen süre.                                                       | 25 |
| 4.6 Örnek epoksi kalıp yapılış aşamaları.                                                                       | 26 |
| 4.7 SiC oranı ile Kalıbın Termal iletkenliği arasındaki İlişki.                                                 | 28 |
| 4.8 SiC oranı ile ürünün eğilme dayanımı arasındaki İlişki.                                                     | 29 |
| 4.9 Her Kalıp için ilk ve son baskılarda bükülme dayanımı farkları.                                             | 29 |
| 4.10 Nihai ürünün çekme dayanımı ile enjeksiyon hızı arasındaki ilişki.                                         | 30 |
| 4.11 Nihai ürünün çekme dayanımı ile eriyik sıcaklığı arasındaki ilişki.                                        | 31 |
| 4.12 Parça kalınlığına göre soğuma süresi- Elastisite modülü ilişkisi.                                          | 31 |
| 4.13 Parça kalınlığına göre Kalıp Sıcaklığı - Elastisite modülü ilişkisi.                                       | 32 |
| 5.1 Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ASTM D638).                                                           | 34 |
| 5.2 Kalıp kavitesinin 3D Isometric görüntüsü.                                                                   | 34 |
| 5.3 TS 985 EN ISO 178'e göre 3 nokta eğilme deneyi numunesi.                                                    | 35 |
| 5.4 ISO 180'e göre Izod darbe deneyi numunesi.                                                                  | 35 |
| 5.5 PP numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında elastik modüllerinde oluşan farklılıklar.              | 44 |
| 5.6 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında kopmada yüzde uzama miktarlarında oluşan farklılıklar. | 44 |
| 5.7 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akma sınırındaki yüzde                                 | 45 |

uzama miktarlarında oluşan farklılıklar.

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.8 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akma gerilmesinde oluşan farklılıklar.                | 46 |
| 5.9 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında eğilme modüllerinde oluşan farklılıklar.              | 47 |
| 5.10 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında maksimum eğilme dayanımlarında oluşan farklılıklar.  | 47 |
| 5.11 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında oluşan Darbe dayanımı farklılıkları.                 | 48 |
| 5.12 Alüminyum kalıp ve akma dayanımı için S/N Oranı.                                                          | 52 |
| 5.13 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında elastik modüllerinde oluşan farklılıklar.           | 63 |
| 5.14 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında Akma dayanımında oluşan farklılıklar.               | 64 |
| 5.15 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akmada yüzde uzamada oluşan farklılıklar.           | 64 |
| 5.16 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında kopmada yüzde uzamada oluşan farklılıklar.          | 65 |
| 5.17 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında eğilme modüllerinde oluşan farklılıklar.            | 66 |
| 5.18 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında maksimum eğilme dayanımlarında oluşan farklılıklar. | 66 |
| 5.19 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında izod darbe dayanımlarında oluşan farklılıklar.      | 67 |

## TABLOLAR DİZİNİ

### Tablo:

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Örnek Polimerler ve oluştukları merler.                                                                             | 6  |
| 3.1 Çeşitli Epoksi reçinelerin özellikleri.                                                                             | 19 |
| 5.1 Taguchi L9 deney tasarımına göre PP için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon şartları.                           | 38 |
| 5.2 Taguchi L9 deney tasarımına göre ABS için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon şartları.                          | 39 |
| 5.3 polipropilen numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Elastisite modülü ve Akma Sınırları.                  | 42 |
| 5.4 polipropilen numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama miktarları. | 42 |
| 5.5 Polipropilen malzemenin 3 nokta eğilme deneyinde elde edilen sonuçları.                                             | 43 |
| 5.6 polipropilen malzemenin Izod darbe deneyinde elde edilen sonuçları.                                                 | 43 |
| 5.7 Elastik modül ve akma sınırı için S/N oranları.                                                                     | 50 |
| 5.8 Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama için S/N oranları.                                                        | 50 |
| 5.9 Eğilme modül ve eğilme dayanımı için S/N oranları.                                                                  | 51 |
| 5.10 Izod darbe dayanımı için S/N oranları.                                                                             | 51 |
| 5.11 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, elastiklik modülü).                   | 53 |
| 5.12 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, elastiklik modülü).                       | 54 |
| 5.13 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, Akma Sınırı).                         | 55 |
| 5.14 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, Akma Sınırı).                             | 55 |
| 5.15 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, akmada yüzde uzama).                  | 55 |
| 5.16 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, akmada yüzde uzama).                      | 56 |
| 5.17 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp,                                       | 56 |

kopmada yüzde uzama).

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.18 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, kopmada yüzde uzama).             | 57 |
| 5.19 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, eğilme modülü).               | 57 |
| 5.20 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, eğilme modülü).                   | 58 |
| 5.21 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Maksimum eğilme dayanımı).    | 58 |
| 5.22 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, maksimum eğilme dayanımı).        | 58 |
| 5.23 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Izod darbe dayanımı).         | 59 |
| 5.24 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, izod darbe dayanımı).             | 59 |
| 5.25 ABS numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Elastisite modülü ve Akma Sınırları.                  | 61 |
| 5.26 ABS numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama miktarları. | 61 |
| 5.27 ABS malzemenin 3 nokta eğilme deneyinde elde edilen eğilme modülü ve maksimum eğilme dayanımı sonuçları.   | 62 |
| 5.28 ABS malzemenin Izod darbe deneyinde elde edilen sonuçları.                                                 | 62 |
| 5.29 ABS numunelerin Elastik modül ve Akma sınırı için S/N oranları.                                            | 68 |
| 5.30 ABS numunelerin akmada yüzde uzama ve kopmada yüzdeuzama için S/N oranları.                                | 68 |
| 5.31 ABS numunelerin eğme modülü ve maksimum eğilme dayanımı için S/N oranları.                                 | 69 |
| 5.32 ABS numunelerin Izod çentik dayanımı için S/N oranları.                                                    | 69 |
| 5.33 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, elastiklik modülü).           | 70 |
| 5.34 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, elastiklik modülü).               | 70 |
| 5.35 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp,                               | 71 |

Akma Sınırı).

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.36 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, Akma Sınırı).                  | 72 |
| 5.37 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, akmada yüzde uzama).       | 72 |
| 5.38 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, akmada yüzde uzama).           | 72 |
| 5.39 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, kopmada yüzde uzama).      | 73 |
| 5.40 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, kopmada yüzde uzama).          | 73 |
| 5.41 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, eğilme modülü).            | 74 |
| 5.42 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, eğilme modülü).                | 74 |
| 5.43 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Maksimum eğilme dayanımı). | 74 |
| 5.44 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, maksimum eğilme dayanımı).     | 75 |
| 5.45 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Izod darbe dayanımı).      | 75 |
| 5.46 Taguchi L <sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, izod darbe dayanımı).          | 75 |

# 1. GİRİŞ

Enjeksiyon kalıpcılığında genelde çalışılan konular;

- Çevrim süresini kısaltarak birim zamanda üretim miktarını artırmak,
- Plastik ürünün mekanik, görsel ve fiziksel özelliklerini en üst düzeye çıkartılması için enjeksiyon parametrelerinin optimisasyonunu sağlamak,
- Enjeksiyon esnasında üründe oluşan kusurların (çökme, çarpılma, kaynak izi vb.) azaltılması,
- Enjeksiyon makinesinin otomatik kontrolü,
- Enjeksiyon şartlarının bilgisayar ortamında analizi

şeklinde sıralanır.

Çevrim süresi; dolum süresi, tutma süresi, soğutma süresi (soğutma süresi ile anlatılmak istenen enjeksiyon işlemi sırasında soğutma için harcanan süredir.) ve çıkartma süresinden oluşur. Bu sürelerin içinden en fazla zamanı soğutma süresi alır ve toplam çevrim süresinin yüzde yetmişini oluşturur [Xu ve diğ, 2001; Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2005]. Soğutma süresini kısaltmak için genellikle soğutma kanal geometrisi üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır [Xu ve diğ, 2001; Sun ve diğ, 2004; Li ve diğ, 2004; Qiao, 2004; Ferreira ve Mateus, 2002; Au ve Yu, 2006]. Ayrıca soğuma işlemi geçen ısı ile ilgili olduğundan değişik kalıp malzemeleri kullanarak soğutma süresi değiştirilebilir. Soğuma süresi ne kadar kısa olursa birim zamanda daha fazla parça basılacağından kalıbın verimliliği ve üretkenlik fazla olur.

Plastik parçanın mekanik özelliklerini esasen kullanılan polimerin özellikleri belirlemesine rağmen, enjeksiyon parametrelerinin de ürünün mukavemeti üzerinde etkisi vardır [Avelar-Batista ve diğ, 2006; Tomori ve diğ, 2002; Nagaoka ve diğ, 2005 ]. Bundan dolayı soğuma süresi, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, silindir sıcaklığı vb. enjeksiyon parametreleri ürünün çekme dayanımı, eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerini etkiler.

Plastik enjeksiyon kalıpları, ağırlıklı olarak kalıp çeliğinden yapılır. Az sayıda ve prototip ürün imalatı için alüminyum, bakır, epoksi vb. malzemeler kullanılabilmektedir. Özellikle epoksi kalıp malzemelerinin en büyük dezavantajı kalıbın ömrünün 1000–2000 baskı arası olmasıdır [Ferreira ve Mateus, 2002; Rahmati ve Dickens, 2006; Kovacs, 2006; Au ve Yu, 2006 ]. Fakat günümüzde üretim seri üretimden çıkıp kişiye özgü üretime kaydığı düşünülürse bin adetlik üretim miktarı az sayılamaz. Buna karşılık standart kalıp malzemesi çelik yerine diğer malzemelerin kullanımı ve bu malzemelerden elde edilen kalıbın mukavemet özelliklerini artırmak için çeşitli kaplama işlemleri yapılması ile standart malzemeden yapılmış kalıplara eşit dayanımlı kalıplar elde edilebilmektedir [Avelar-Batista, 2006]. Yukarıda da belirtildiği üzere, kullanılan kalıp malzemelerine göre plastik ürünün mekanik ve fiziksel özellikleri değişim göstermektedir.

Plastik üründe görülen en büyük kusurlardan biri de çarpımadır (warpage). Çarpılma esasen uniform olmayan ısı transferinden meydana gelir [Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2004; Tang ve diğ, 2005 ]. Isı transferi ne kadar uniform olursa çarpılma oluşumu o derece az olur [Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2004; Tang ve diğ, 2005 ]. Isı transferinin uniform olması, soğuma kanalları ve kalıp malzemesi ile ilgilidir. Yüzeye uygun soğutma kanallarında oluşan çarpılma düz hat kanallarda oluşanlardan azdır [Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2004]. Çarpılmayı engellemenin bir başka yolu ise oluşacak deformasyonu sonlu elemanlar yöntemi sayesinde önceden hesaplamak ve parçaya ön deformasyon vermektir [Kovacs, 2006].

Yine bir başka kusur olan eksik (tamamı dolmamış) parça üretiminin bir sebebi etkin olmayan ısı transferidir [Dimla ve diğ, 2005; Sun ve diğ, 2004].

Görüleceği üzere plastik üründe oluşabilecek kusurlar ve ürünün sahip olduğu mekanik özellikleri ve çevrim süresini en çok ısı transferi etkilemektedir. Kalıp-iş parçası arasında gerçekleşen ısı transferi temelde iki unsura bağlıdır.

- Kalıp malzemesi.
- Soğutma kanalı geometrisi.

Plastik ürünün mekanik özelliklerini polimerin kristalleşme derecesi de etkiler. Polimer ne kadar yavaş soğursa kristalleşme o kadar fazla olur ve bundan dolayı çekme dayanımı yükselir. Mekanik özellikler üzerinde enjeksiyon hızının da etkisi önemlidir. Enjeksiyon hızı arttıkça çekme dayanımı düşer [Li ve Narh, 1999]. Benzer şekilde eriyik sıcaklığı arttıkça çekme dayanımı düşer [Li ve Narh, 1999].

Bu çalışmanın esas planlanma gerekçesi, yukarıdaki bilgiler ışığında mevcut alternatif kalıp malzemelerinin kullanılabilirliğini araştırmak ve bu kalıp malzemelerin plastik ürünün mekanik özellikleri (elastik modül, çekme dayanımı) üzerindeki avantajları ile dezavantajlarını belirlemektir.

Uygulanan yöntem esasen deneysel olup, üç adet kalıp (standart kalıp malzemesi olan çelikten, alüminyum ve epoksiden yapılmış) kullanıldı. Ham madde olarak PP ve ABS seçildi.

Belirlenen enjeksiyon parametreler altında basılarak elde edilen plastik ürünlerin, mekanik özellikleri ölçülerek kalıp malzemesine göre belirlenen parametrelerin hangi kalıpta daha iyi sonuç verdiği araştırıldı.

Bu çalışma giriş bölümünden itibaren toplam 6 bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde, çalışmada kullanılan plastik malzelerin genel özellikleri anlatılmaktadır. Özellikle çalışma konusu ile yakından ilgili olduğundan dolayı mekanik özellikler ikinci bölümün içinde değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan kalıp malzemeleri hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölümde, çalışmada yararlanılan, önceden gerçekleştirilen makaleler hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde ise yapılan deneysel çalışma ve bu çalışmadan elde edilen veriler tablolar ve grafiksel olarak verilmektedir. Verilerden yararlanarak Taguchi yöntemi ile S/N değerleri bulunmuştur. ANOVA analizi ile hangi parametrelerin hangi mekanik özellikler

üzerinde etkisinin % kaç olduğu belirlenmiştir. Bu işlem çelik ve alüminyum kalıp için ayrı ayrı yapılmıştır.

Altıncı bölümde ise, beşinci bölümde tablolardan yararlanılarak mekanik özellikler üzerinde parametrelerin etkisinin polimer ve kalıp malzemesine göre değiştiğini göstermek için iki adet örnek verilmektedir ve ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

## 2. PLASTİK MALZEMELER

### 2.1 Plastik Malzemelerin Sınıflandırılması

Mühendislikte kullanılan malzemeleri;

- Metal malzemeler,
- Organik malzemeler,
- Seramik malzemeler,
- Kompozit malzemeler

olarak sınıflandırabiliriz.

Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir [Akkurt, 1991]. Polimer malzemelere kendi aralarında

- Doğal,
- Yapay (sentetik)

olarak sınıflandırılır.

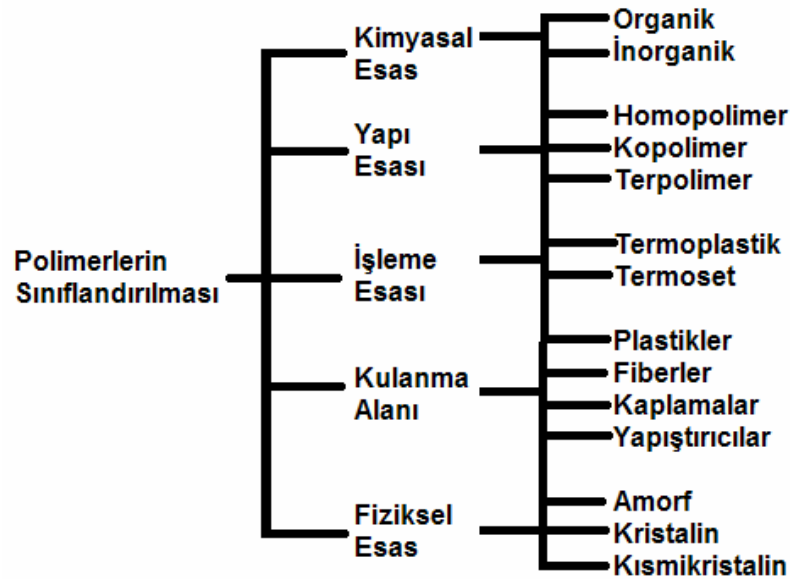
Endüstriyel uygulamalarda kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Yapay polimerler genellikle çok sayıda tekrarlanan monomer'lerden (kısaca mer) oluşmaktadır. Bu şekilde elde edilen polimerler grubu, Tablo 2.1'de gösterildiği gibi tekrarlanan birimin kimyasal adının önüne “poli” sözcüğü konularak elde edilir [Akkurt, 1991].

Tablo 2.1 Örnek polimerler ve oluştukları merler. [Akkurt, 1991]

| Tekrarlanana birim                                                                                                          | Birimin Kimyasal Adı | Polimer Adı          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $\begin{array}{c} \text{-O-C-} \\    \\ \text{O} \end{array}$                                                               | Ester                | Poliester            |
| $\begin{array}{c} \text{-C-NH-} \\    \\ \text{O} \end{array}$                                                              | Amid                 | Poliamid             |
| $\begin{array}{c} \text{-C-C-} \\   \quad   \\ \text{Cl} \end{array}$                                                       | Viniklorür           | Poliviniklorür       |
| $\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\   \quad   \\ \text{-C-C-} \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$ | Tetrafluoretilen     | PoliTetrafluoretilen |

Doğal polimerler de yapay polimerler gibi tekrarlanan ünitelerden oluşur. Doğal polimerlere örnek olarak selüloz, nişasta, doğal kauçuk verilir.

Polimerler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır. Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması Şekil 2.1’de gösterilmektedir [Akkurt, 1991].



Şekil 2.1 Polimerlerin sınıflandırılması. [Akkurt, 1991]

### 2.1.1 Kimyasal Esasa Göre Sınıflandırma

Polimerler kimyasal bileşenlerine göre;

- Organik,
- İnorganik

olarak sınıflandırılır.

Organik polimerlerin ana zincirinde başta karbon olmak üzere, oksijen, azot atomları bulunur. İnorganik polimerlerde ise ana zincir üzerinde karbon yerine silisyum, germanyum, bor, fosfor bulunur.

İnorganik polimerlerde ana zincir üzerinde bulunan elemanların bağ enerjisi organik polimerlerde bulunanlardan daha yüksektir. Bu nedenle organik polimerler daha yaygın kullanılmalarına rağmen inorganik polimerler daha yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahiptir [Akkurt, 19991].

### 2.1.2 Yapı Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler yapılarına göre;

- Homopolimer,
- Kopolimer,
- Terpolimer

sınıflandırılır.

Homopolimerler tek bir monomerin tekrarlanması ile oluşurlar. Kopolimer ise iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Terpolimerler ise üç farklı cins monomerden oluşur.

### 2.1.3 İşleme Esasına Göre Sınıflandırma

Polimerler işleme esasına göre;

- Termoplastikler, (termoplastlar)
- Termoset plastikler (duroplastlar)

olmak üzere 2 ana gruba ayrılırlar.

Termoplastikler ısı ile şekillendirilebilen yapay bir malzemedir. Ve lineer zincir biçiminde makro moleküllerden oluşur. Bunlar kuvvetli atom bağları ile birbirine bağlıdır. Fakat çizgisel moleküller arasında zayıf Van Der Walls bağları vardır. Artan sıcaklıkla moleküller arası bağ daha da zayıflar ve zincir moleküllerinin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştırır. Termoplastikler artan sıcaklık ile elastik durumdan, plastik hamur haline hatta sıvı hale geçerler ve soğutulduklarında yeniden katı hale geçerler. Buharlaşıma ile bileşim değişmedikçe, bu çevrim istenildiği kadar tekrarlanabilir. [Kaluç, 1996]

Termoplastiğin hamur halinde bulunma sıcaklıklarının alt sınırında ekstrüzyon, haddeleme, basma vb. işlemler; üst sınırında kaynak; sıvılaştırma sıcaklığının üstünde de enjeksiyon döküm yapılır [Kaluç, 1996 ].

Termosetting plastiklerin makro molekülleri, hacimsel kafes sistemindedir. Makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşmuş üç boyutlu ağa yapısına sahiptir. Ağa yapısı tekrar ısıtılarak yumuşatılamaz [Akkurt, 1991]. Sıcaklık çok artırılırsa özelliklerini kaybeder ve giderek kömürleşirler. Termosetting malzemeler talaş kaldırılarak, basınçlı kalıplama vb yöntemlerle şekillendirilir.

Termosetting plastiklerin mekanik özellikleri iyileştirmek için genelde %40 ile %60 arasında katkı maddesi katılır ve henüz sertleşmemiş kütle belli bir sıcaklıkta ve basınçta preslenir.

Termosetting plastiklerin mühendislik alanlarında uygulamalarının tercih sebepleri;

- Yüksek ısıl kararlılık,
- Yüksek boyutsal kararlılık,

- Yük altında sürünme ve şekil değiştirmeye karşı direnç,
- Hafiflik,
- Yüksel elektrik ve yalıtım özelliği

olarak belirtebiliriz [Akkurt, 1991].

#### **2.1.4 Kullanım Alanına Göre Sınıflandırma**

Kullanım alanına göre polimerler;

- Plastikler,
- Fiberler,
- Kaplamalar,
- Yapıştırıcılar

olmak üzere bölümlendirilir. Ayriyeten plastikler

- Saf plastikler,
- Kuvvetlendirilmiş (dolgu malzemeli)

olmak üzere 2 ana gruba ayrılır

#### **2.1.5 Fiziksel Esasa Göre Sınıflandırma**

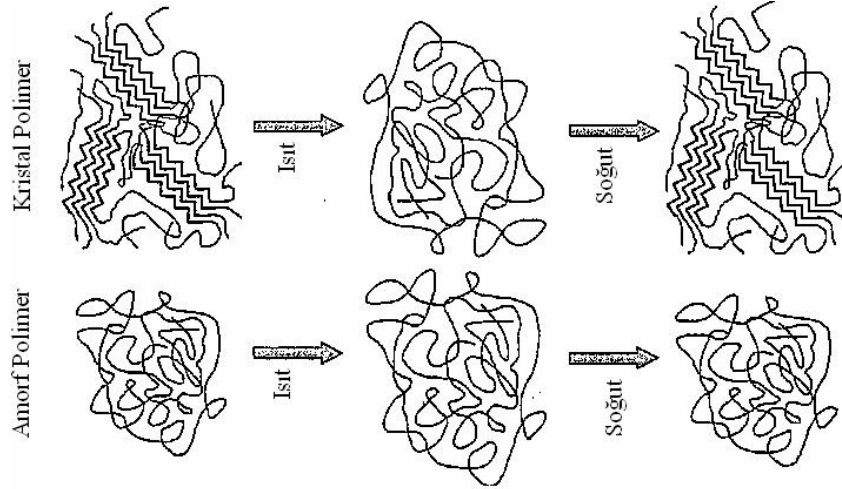
Fiziksel esasa göre;

- Kristal yapılar,
- Kristal olmayan yapılar, (amorf yapılar,camsı yapılar)
- Yarı kristalin yapılar

olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Kristal bir yapıda merler belirli bir düzeye göre dizilirler. Kristal olmayan yapılarda genel olarak bir düzen söz konusu değildir. Kristalleşme ile polimer malzemede daha yüksek dayanım ve mekanik özellikler elde edilir. Yarı kristal yapılarda polimerlerdeki kristallik

toplam hacmin %5 ile 95'i arasındadır. Plastiklerde tam kristalleşme mümkün değildir. Genel olarak kristalleşme derecesi arttıkça dayanım artar. Bunun için yüksek dayanım gereken yerlerde polimerlerin kristallik derecesinin yüksek olması istenir. Şekil 2.2'de amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları gösterilmektedir [Malloy, 1994].



Şekil 2.2 Amorf ve kristal polimerlerin iç yapıları. [ Malloy,1994]

## 2.2 Plastik Malzemelerin Mühendislik Özellikleri

Plastikler metallere ve diğer mühendislik malzemelerine nazaran oldukça farklı özellikler gösterir. Bu özellikleri;

- Özgür ağırlıklarının dolayısı ile ağırlıklarının çok az olması,
- Elektrik direnci yüksektir izolasyon malzemesi olarak çok geniş uygulama alanları mevcuttur,
- Korozyon ortamlarda rahatlıkla kullanılırlar,
- Bazı çözümlendirici maddeler plastiği çözümlendirirler veya eritirler,
- Isı iletkenlikleri düşüktür. Isı iletim kabiliyeti yaklaşık olarak çeliğin üç yüzde biri kadrıdır,
- Estetik açıdan iyidir. Birçok plastik türleri istenilen renklere boyanabilir. Şeffaf olanları da vardır,
- Talaşlı şekil verme, döküm, ekstrüzyon, enjeksiyon, kaynak vb çok geniş şekillendirme olanağı vardır,
- Plastiklerin göreceli olarak maliyetleri düşüktür,

- Plastik malzemelerin en önemli dezavantajlarından birisi düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır.
- Plastiklerin eğilme yumuşaklığı metallere göre fazladır yani Elastik modülleri düşüktür,
- Elastik modülleri sıcaklığa bağlıdır. Örneğin plastik borular ısıtınca yumuşar soğukta ise katılaşır,
- Plastik malzemelerin ısı dayanımı düşüktür. Termoplastik malzemelerin ortalama dayanımı 50-150<sup>0</sup> C dir. bu değer Termosetlerde ise 300<sup>0</sup> C a kadar çıkar,
- Termoplastikler oda sıcaklığında bile sürünme gösterir,
- Plastik malzemelerin kısmen yanıcı ve alev alıcı özelliği vardır,
- Plastik malzemeler kısmen su alma eğilimi gösterirler böylelikle elektrik ve mekanik özellikleri değişime uğrar

olarak özetlenir. [Kaluç, 1996].

Tezin konusunu ilgilendirdiğinden dolayı plastik malzemelerin mekanik özellikleri aşağıda ayrıca açıklanmaktadır

## **2.3 Plastiklerin Mekanik Davranışı**

### **2.3.1 Güçlendirme**

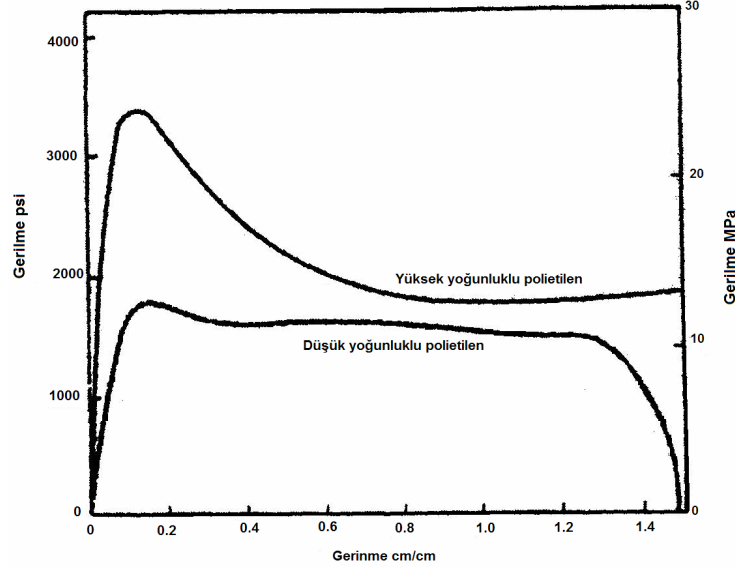
Termoset plastiklerde malzemenin içinde üç boyutlu ağa yapısı oluşturularak dayanım artırılır.

Termoplastik malzemenin dayanımını artırmak için ;

- Malzemenin kristalin derecesini artırmak,
- Polimer zincirinin ortalama molekül kütlesini artırmak (molekül zincirini uzatmak),
- Cam lifi eklemek,
- Ana karbon kütlesinin üzerine yüksek kutuplu atomlar bağlamak (çekme kuvvetini artırmak)

yöntemleri uygulanır.

Şekil 2.3'te yüksek yoğunluk ve düşük yoğunluk polietilenin gerilme-genleme çizelgesi verilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere ortalama molekül kütlesi arttıkça malzemenin mukavemet özellikleri iyileşmektedir.



Şekil 2.3 Yoğunluğa göre gerilme - genleme grafiği.

### 2.3.2 Sıcaklık

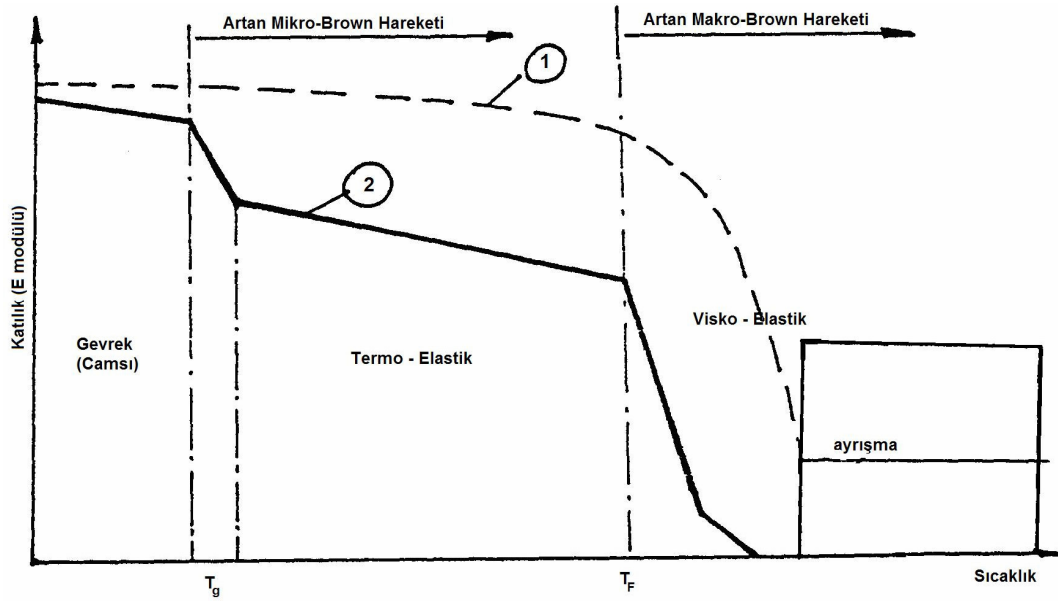
Polimerler metallerin tersine bir erime noktasına sahip değildirler. Isıtma esnasında davranışlarını mevcut sekonder bağlar belirler. Tüm plastikler düşük sıcaklıkta yüksek elastiklik ve kayma modülüne sahiptir ve gevrekler. Sıcaklık arttıkça elastiklik ve kayma modülü düşer, süneklik artar [Kaluç, 1996].

Termoset plastikler sıcaklık arttıkça mukavemetleri düşer, atomlar ortaklaşa bir ağ ile bağlandıklarından ağdalaşamazlar en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde kömürleşirler.

Termoplastik malzemeler sıcaklık arttıkça yumuşarlar dolayısı ile dayanımları düşer. Termoplastikler de sıcaklık attıkça Van Der Walls bağları zayıflar ve polimer zincirleri birbirlerinin üzerinde kaymaya başlar böylece polimer ağdalaşır.

Camlaşma sıcaklığı olarak adlandırılan belirli bir sıcaklığın üzerinde zincir molekülleri belirli bir hareketlilik kazanır ve zincir halkaları yer değiştirir veya eğilir. Bu harekete mikro-brown hareketi denir. Böylece madde daha kolay bükülebilir hale gelir ve sünekleşir.

Sekonder bağlar ve hareket sonucu oluşan karmaşıklık kaymayı engeller malzeme termoelastik (lastik gibi) duruma geçer. Plastiklerde önce daha düzensiz bölgeler olan amorf bölgeler hareketlenir, kristalin bölgeler katılaştırıcı bir rol oynar. Şekil 2.4'te kristalin derecesine göre yapının sıcaklık ile elastiklik modülü arasındaki ilişki göstermektedir [Kaluç, 1996].

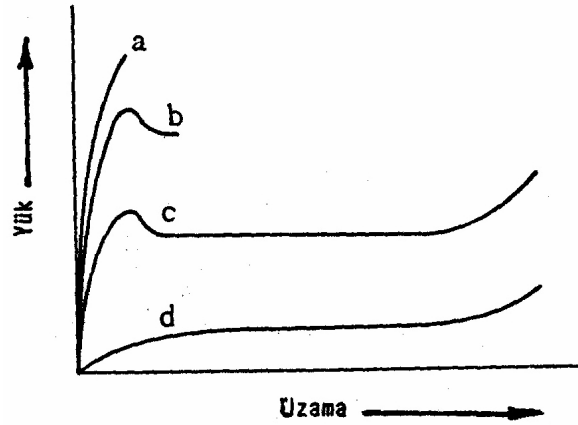


Şekil 2.4 E katsayısının sıcaklığa göre değişimi (1=yüksek derecede kristalin, 2=alçak derecede kristalin). [Kaluç, 1996]

Sıcaklık artışı devam ederse hareketlilik devamlı artar ve akma sıcaklığı olan  $T_f$ 'den sonra zincirler karşılıklı hareketlenir. Bu harekete makro-brown hareketi denir. Bu bölgede plastik viskoelastik durumdadır.

Sıcaklık daha da artarsa primer bağlar çözülmeye başlar böylece molekül zincirleri parçalanır. Tüm termoplastikler Şekil 2.4'te gösterilen davranışa sahiptirler.

Polistiren için farklı sıcaklıklar için uzama-çekme diyagramı Şekil 2.5'te verilmektedir [Akkurt, 1991].



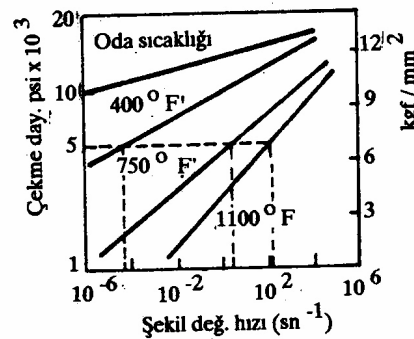
Şekil 2.5 PS Çekme diyagramının zamanla değişmesi (a,b,c,d sıcaklık değerlerini simgeler  $a < b < c < d$ ). [Akkurt, 1991]

### 2.3.3 Şekil Değiştirme Hızı

Malzemelerin dayanımı sıcaklığın yanı sıra şekil değiştirme hızına da bağlıdır. Bu durumda birim şekil değiştirme

$$\dot{\epsilon} = (\sigma, T, \dot{\epsilon})$$

olarak ifade edilebilir. Şekil 2.6'de sıcaklık ve şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı göstermektedir [Çapan, 2003].



Şekil 2.6 Şekil değiştirme hızına göre alüminyum malzemenin çekme dayanımı [Çapan, 2003].

Bu durum plastik malzemeler için daha fazla kendini göstermektedir. Bundan dolayı plastik malzemelerin çekme deneyi sonuçlarının bir anlam ifade etmesi için şekil değiştirme hızı bilinmelidir.

### **2.3.4 Sürünme**

Sürünme malzemenin sabit yük altında zamanla şekil değiştirmesidir. Yük altında polimer malzeme oda sıcaklığında bile sürünebilir. Sıcaklık miktarı artıkça malzemenin sürünme olayı artar. Termoplastikler de camsı nokta geçiş sıcaklığının altında sürünme olayı yavaş iken camsı nokta geçiş sıcaklığının üzerinde sürünme olayı artar. Plastiklerin cam lifi ile güçlendirerek sürünme dayanımı artırılır.

### **2.3.5 Polimer malzemelerin kırılması**

Polimer malzemede gevrek kırılma, sünek kırılma veya bu iki cins kırılmanın karışımı görülür. Termosetler gevrek kopma gösterir. Termoplastikler ise cama dönüşüm sıcaklığının altında gevrek, cama dönüşüm sıcaklığının üzerinde ise sünek kopma gösterir. Gerilme hızı yavaş oldukça moleküller kendilerini yenilebileceğinden sünek kopma ihtimali artış gösterir.

## **2.4 Plastiklerin Tanıtılması**

### **2.4.1 Plastik Seçiminde Dikkat Edilen Hususlar**

Polimer olarak ABS ve PP seçilmiştir. Seçilen malzemelerden PP kristal ABS ise amorf yapıya sahiptir.

Aşağıda çalışmada kullanacağımız polimerler olan ABS ve PP özellikleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

### 2.4.2 ABS Genel Özellikleri

ABS malzemelerin genel özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmektedir [Akkurt, 1991].

- ABS reçineleri genellikle opak veya yarı saydam olabildikleri gibi çeşitli renklerde olabilir.
- Düşük sıcaklıklarda bile sert, rijit ve tok bir malzemedir.
- İyi çekme ve darbe mukavemetine sahiptir.
- Yüksek deformasyon hızlarında gösterdiği akmadan dolayı darbe kırılması gevrek olmadan çok sünektir.
- Abrasyon mukavemeti yüksektir
- Boyut kararlılığı iyidir.
- Yüksek gerilmelerde plastik akma gösterirler, elastik sınırın ötesinde kırılmadan bükülebilirler.
- Uzun süre güneş ışınları etkisi altında kaldığında rengi değişir, darbe mukavemeti ve süneklik azalır.
- Sıcak ortamda iyi kararlılık gösterir.
- ABS reçineleri ester ve ketonlarda çözünürler, bazı klorlanmış hidrokarbonlarda ve aldehidlerde yumuşar veya şişerler.
- Özelliklerini iyileştirmek için başka bileşenlerle harmanlana bilinir.
- Cam elyafı ile kuvvetlendirile bilinir.

#### ABS

- Standart.
  - a. Çok yüksek darbe mukavemetli.
  - b. Yüksek darbe mukavemetli.
  - c. Orta darbe mukavemetli.
- Özel amaçlı .
  - a. Yüksek ısıya dayanıklı.
  - b. Alev dayanıklı.
  - c. Berrak.
  - d. Genişleyebilen.

olarak 2 ana grup altında sınıflandırabiliriz. ABS'in enjeksiyon, üfleme, köpük kalıplama için uygun çeşitleri vardır.

### 2.4.3 Polipropilen (PP) Genel Özellikleri

Polipropilenin

- Saf,
- Cam elyafı ile güçlendirilmiş,
- Köpük

çeşitleri vardır.

Polipropilenin genel özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Alçak yoğunluktadır.
- Tabi olarak yarısaydam ve süt beyazı rengindedir.
- Çok iyi boyanma kabiliyeti vardır.
- Orta derece mukavemeti vardır.
- Sınırlı kimyasal, ısısal ve elektriksel özelliği vardır.
- Cam elyafı ile mukavemeti iyileştirilebilir.
- Polipropilen ile yapılan parçaların ömrü yaklaşık olarak 120<sup>0</sup> C de beş sene, 110<sup>0</sup> C de 10 senedir.
- Enjeksiyon, ekstrüzyon üfleme gibi yöntemler ile şekillendirilir.

Polipropilen genelde saf ve cam elyafı ile güçlendirilmiş çeşidi ilaç, kozmetik ve besin alanında; kutu, şişe, kap v.b parçaların yapımında kullanılır. Köpük çeşidi ise mobilya veya koltuk yastıklarının yapımında kullanılır [Akkurt, 1991].

### 3. KALIP MALZEMELERİ

#### 3.1 Seçilen Kalıp Malzemeleri

Enjeksiyon kalıpcılığında en yaygın kullanılan kalıp malzemesi kalıp çeliğidir. Bunun dışında kalıp malzemesi olarak demir dışı metaller (Alüminyum, bakır gibi) ve epoksi (epoksi) malzemelerde nadir olarak kullanılır. Kalıp için epoksi malzemenin dayanımı yüksek değildir fakat işçilik maliyetinin düşük olmasından dolayı az sayıda parça üretimi için kullanılmaktadır. epoksi kalıp iki yöntem ile üretilir.

İlk yöntem olarak sıvı epoksi alüminyum malzemedan yapılmış bir kovanın (çerçevenin) içine dökülür. Üretilmek istenen parçanın modeli macun kıvamındaki epoksi malzemenin içine hassasça yerleştirilir. Epoksi malzeme cinsine göre belli bir süre vakumlu fırın içinde kurutulur daha sonra epoksi içinden model sökülür ve oda sıcaklığında iyice donması sağlanır. Model malzeme genellikle zaman kazanmak için prototipleme makinesinde üretilir. Bu yöntem ile epoksi kalıbın üzerinden her hangi bir talaş kaldırma işlemine gerek olmadığından dolayı işçilik maliyeti minimumdur, zaman tasarrufu sağlanır. Buna karşılık kalıpla basılabilecek maksimum parça sayısı sınırlıdır. 5–1000 arası baskı için idealdir [Tomoro ve diğ, 2002]. Bu yöntem ile kalıp üretiminde kullanılan bir takım epoksi malzemelerin özellikleri aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmektedir [Tomoro ve diğ, 2002].

Tablo 3.1 Çeşitli Epoksi reçinelerin özellikleri [Tomoro ve diğ, 2002].

| İsim                                        |                       | EP250    | NeuKadur<br>VGSP5 | EPO 752           | XD4532 or<br>XD4533 | RenShape -<br>Express<br>2000TM |
|---------------------------------------------|-----------------------|----------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| Üretici                                     |                       | MCP      | Altropol          | Axson             | Ciba                | Ciba                            |
| Yoğunluk                                    | Kg/dm                 | 2        | 2,8               | 1,7 - 1,78        | 1,7 +- 0,02         | 1,8                             |
| Çekme Dayanımı<br>(Tensile strength)        | Mpa                   | 67       | 50                | 49                | 38+-4               | 62                              |
| Basma Dayanımı<br>(Compression<br>strength) | MPA                   | 260      | 180               | na                | 145+-5              | 251                             |
| Bükülme Dayanımı<br>(Flexural Strength)     | MPA                   | 120      | na                | 88                | 90+-5               | 82                              |
| Bozulma Sıcaklığı<br>(Deflexion Strength)   | °C                    | 250      | 150               | 195               | 220                 | 234                             |
| Doğrusal Genişleme<br>(linear expansion)    | $\alpha=10^6$<br>mm/K | 30-35    | 30-35             | 50                | na                  | 42                              |
| Sertlik                                     |                       | 112 (Rc) | 90 (shore D)      | 90 (shore<br>D15) | 90 (shore D)        | 91 (shore D)                    |

İkinci yöntem olarak epoksi malzeme önceden istenilen ölçülerde kütük halinde dökülür, vakum fırını altında katılaşması sağlandıktan sonra CNC tezgahı yardımı ile üretilcek parçaya uygun kalıp boşlukları şekillendirilir. Bu yönteme uygun epoksi malzemeye örnek olarak RP 4037 verilebilir. RP 4037'nin içine katılan silicon-carbide (SiC) oranına göre malzemenin işlenebilirliği ve kalıbın dayanımı değişir. Ne var ki bu yöntemde birinci yöntemde bahsedilen yararları yoktur.

Yapılan çalışmada kalıplar üç adet farklı malzemeden yapılmıştır. Kalıp malzemesi olarak

- Çelik (1040),
- Alüminyum (2000 serisi),
- Epoksi (RP4037, %20 Sic ilaveli)

kullanılmıştır.

## 4. LİTERATÜR TARAMASI

### 4.1 Benzer ve Kullanılan Çalışmaların Özetleri

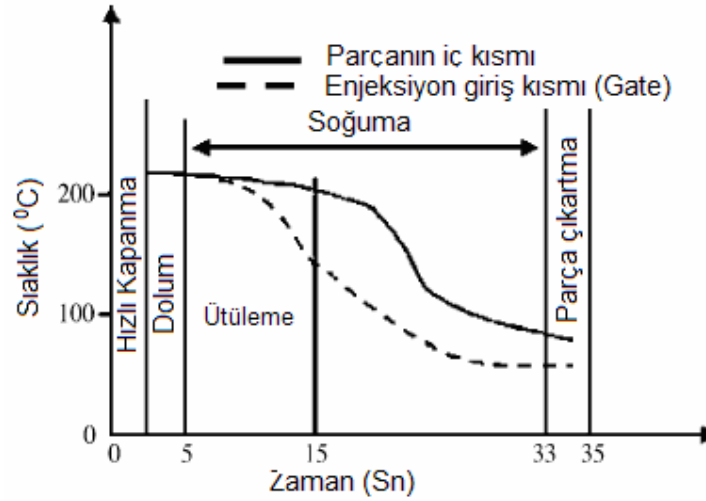
Enjeksiyon kalıpcığında genelde çalışılan konular;

- Çevrim süresini kısaltarak birim zamanda üretim miktarını artırmak böylece etkinliği artırmak,
- Plastik ürünün mekanik, görsel ve fiziksel özelliklerini en üst düzeye çıkartılması için enjeksiyon parametrelerinin optimisasyonunu sağlamak,
- Enjeksiyon esnasında üründe oluşan kusurların (çökme, çarpılma, kaynak izi vb.) azaltılması,
- Enjeksiyon makinesinin otomatik kontrolü

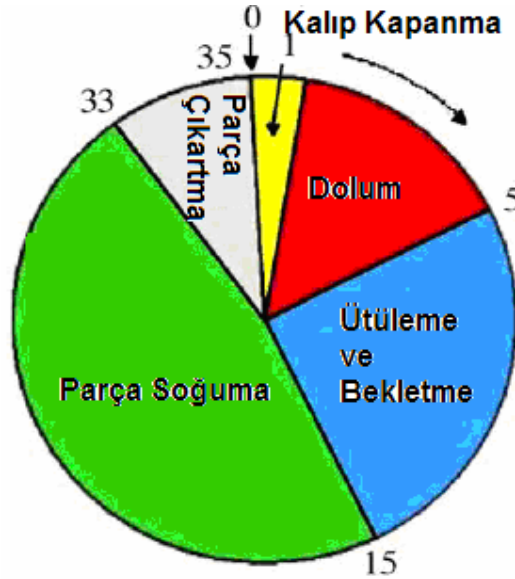
şeklinde sıralanır.

Plastik parçanın mekanik özelliklerini esasen kullanılan polimerin özellikleri belirlemesine rağmen, enjeksiyon parametrelerinin de nihai ürün mukavemeti üzerinde etkisi vardır [Avelar-Batista ve diğ, 2006; Tomori ve diğ, 2002; Ishiaku ve diğ, 2005]. Bundan dolayı soğuma süresi, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, gibi enjeksiyon parametreleri plastik ürünün çekme dayanımı, eğilme dayanımı, sünekliği gibi mekanik özelliklerini etkiler.

Çevrim süresi; dolum süresi, tutma süresi, soğutma süresi ve çıkartma süresinden oluşur. Bu sürelerin içinden en fazla zamanı Şekil 4.1’de görüleceği üzere soğutma süresi alır ve toplam çevrim süresinin %70’ini oluşturur [Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2004; Xu ve diğ, 2001]. Şekil 4.2’de enjeksiyon kalıpcılığında çevrim süresini oluşturan süre dilimleri daire grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.1 Enjeksiyon çevrim süreleri [Dimla ve diğ, 2005].



Şekil 4.2 Çevrim sürelerinin grafiksel gösterimi [Dimla ve diğ, 2005].

Soğutma süresini kısaltmak için genellikle soğutma kanal geometrisi üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır [Xu ve diğ, 2001; Sun ve diğ, 2004; Li ve diğ, 2004; Qiao, 2004; Ferreira ve Mateus, 2002; Au ve Yu, 2006]. Ayrıca soğuma işlemi geçen ısı ile ilgili olduğundan değişik kalıp malzemeleri kullanarak soğutma süresi değiştirilebilir. Böylece değişik kalıp malzemelerinden yapılmış enjeksiyon kalıplarına enjekte edilen polimerin

kristalleşme derecesi farklı olacağından nihai ürünün mekanik özelliklerinin değişiklik göstermesi muhtemeldir.

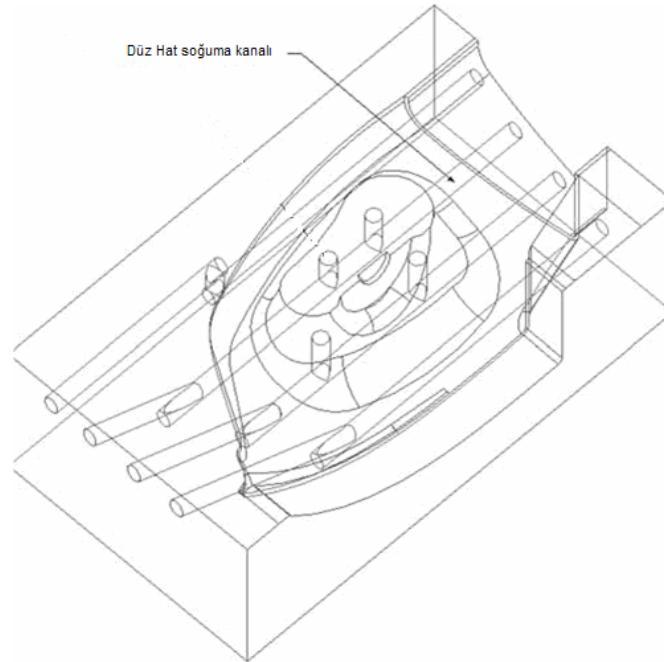
Soğutma süresini kısaltmak için soğutma kanallarının konumları ve geometrilerinin önemini daha önceden vurgulamıştık. Bu amaçla yapılan bir takım çalışmalarda standart ve yüzeye uygun (conformal) soğutma kanalları kıyaslanmıştır [Dimla ve diğ, 2005; Xu ve diğ, 2001; Sun ve diğ, 2004; Qiao, 2004].

Genel olarak enjeksiyon kalıbından ısı geçişleri dolayısı ile soğutma kanallarının geometrisi ve konumlandırılması;

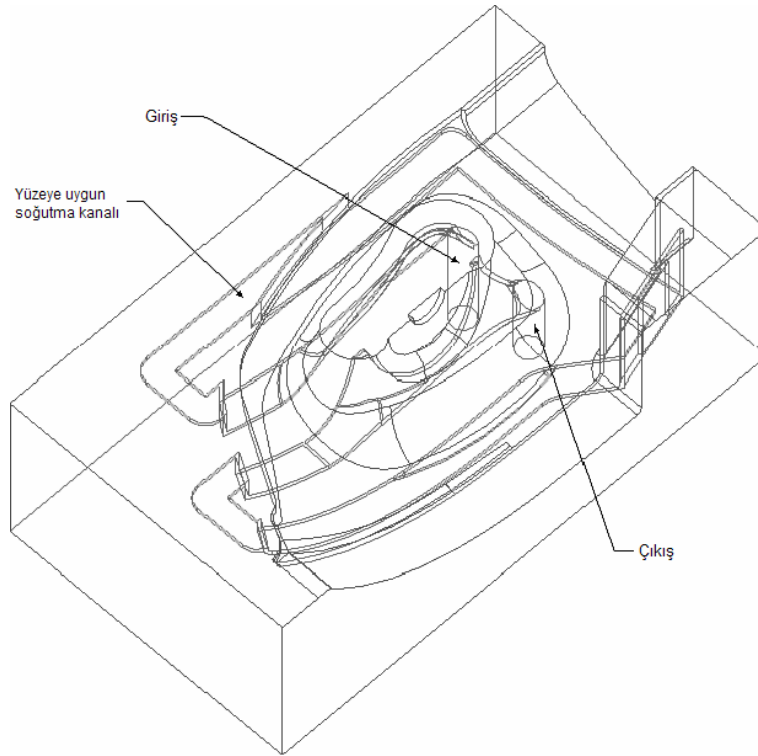
- Artık gerilmeler,
- Çekme (Shrinkage),
- Çarpılma (Warpage)

oluşumunu etkiler [Xu ve diğ, 2001]. Ayrıca belirtmeliyiz ki enjeksiyon kalıbı malzemesi de yukarıda sayılan maddeleri etkiler.

Şekil 4.3'te standart soğutma kanalı, Şekil 4.4'te ise yüzeye uygun soğutma kanallarına örnek verilmektedir



Şekil 4.3 Standart soğutma kanalları [Tomori ve diğ, 2002].



Şekil 4.4 Yüzeye uygun soğutma kanalı [Tomori ve diğ, 2002].

Standart soğutma kanalı delme işlemi ile yapılmaktadır [Sun ve diğ, 2004]. Standart soğutma kanallı kalıplar çok karmaşık üç boyutlu ince parçalar üretmek için uygun değildir çünkü sıcaklık üniform olarak kalıptan çekilemez. Soğutma boyunca soğutma kanallarına yakın olan yerler soğutma kanallarına nazaran uzak olan yerlerden daha soğuktur. Bu farklılık farklı kendini çekme yaratır ve buda termal gerilme oluşturur [Tang ve diğ, 2005]. Önemli termal gerilmeler parçanın bükülmesine neden olur. Bu nedenden dolayı soğuma esnasında termal stres alanlarının analizi önemlidir [Tang ve diğ, 2005]. termal stres alanlarının karakterini anlayarak muhtemel eğilmeler önceden tahmin edilebilir [Tang ve diğ, 2005].

Parçanın soğuduktan sonraki şekli ve geometrisinin doğruluğunu etkileyen bir parametre de kavide duvarının sıcaklığıdır. Bu nedenden dolayı soğutma kanallarının doğru konumlandırılması kaliteyi yükseltir [Dimla ve diğ, 2005].

Tang ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptığı çalışmada ince kabuklu parçanın enjeksiyonda eğilme problemini tayin etmek için örnek deney seti tasarlanmıştır. Örnek parça

olarak boyu yüz yirmi milimetre, eni elli milimetre ve et kalınlığı bir milimetre olan parça kullanılmıştır. Malzeme olarak ABS seçilmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı 210 °C, enjeksiyon süresi üç saniye ve enjeksiyon basıncı 60 Mpa olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda kendini çekme boşlukları soğuma kanalları etrafında daha çok olduğu gözlenmiştir. Bu boşlukların artık gerilmelere neden olduğu belirlenmiştir. Artık gerilmelerin parçaların çarpılmasına neden olduğu kanıtlanmıştır. Eğilmeleri engellemek için üniform soğuma gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yüzeye uygun soğutma kanallarında kanal geometrisi parçanın şekline yakın olur. Bu yöntemde kanalın kesiti daha fazla ısı transferine izin verir sonuç olarak soğuma daha etkili olur. Aynı zamanda parça daha dengeli soğuyacağından nihai üründe çarpılmalar azalır [Dimla ve diğ., 2005]. Ayrıca eğer parçanın her yüzeyindeki sıcaklık eşit olacak şekilde enjeksiyon makinesinden çıkartılırsa makine dışı meydana gelecek kendini çekmeler daha üniform olur [Dimla ve diğ., 2005]. Düz hat soğutma kanallarının maliyetleri yüzeye uygun soğutma kanallarına nazaran daha düşüktür.

Freze yiv açma metodu (Milled groove insert method (MGIM)) olarak adlandırılan yöntem yüzeye uygun soğutma kanalı oluşturmaya yarayan bir yöntemdir [Sun ve diğ., 2004]. Geleneksel kalıp yapma tekniklerini esas alır. Yöntem orta ve büyük karmaşık parçalara ait kalıpların soğutma kanallarını oluşturmak için önerilmektedir. Yöntem pahalı bir yöntem olmasına rağmen üretilen nihai üründe yüksek geometri doğruluğu sağlar.

Standart soğutma kanalları delme işlemi ile gerçekleşir. Bundan dolayı kanal kesit geometrisi sadece daire olabilir. MGIM’da ise soğutma kanalları freze ile şekillendirilir. Bu sayede soğutma yolları kare kesitli olabilir böylece ısı transferi daha etkili bir şekilde gerçekleştiği ortaya sürülmüştür.

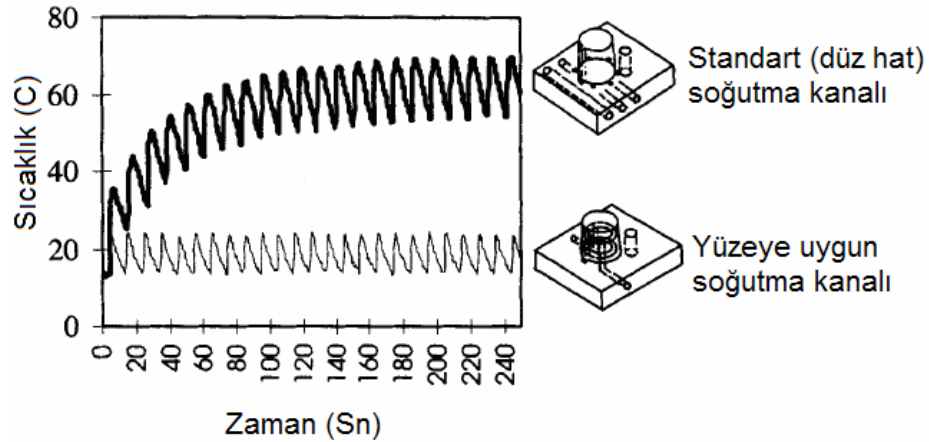
Yüzeye uygun soğuma kanalına sahip kalıplar yeteri soğumayı sağlamıyorsa ısı transferi iletim katsayısı daha büyük olan kalıp malzemesi kullanılması önerilir [Sun ve diğ., 2004]. MGIM yönteminin üstünlükleri;

- Etkili ve ayarlı soğuma etkisi,
- Freze yoluyla ebatlarının geniş aralıklarda olabilmesi,
- Orta ve büyük ebatlı parçalara uygun olması,

- Kolay ve esnek dizayn,
- Otomatik dizayna imkan vermesi,
- Soğutucu debisinde önemli düşüş,
- Derin delik delinmesini gerektirmemesi

olarak sayılır [Sun ve diğ, 2004]. MGIM ile yapılan soğutma kanalına sahip kalıbın çevrim süresi standart soğutma kanalına sahip kalıbın çevrim süresinin 1/3'ü kadar olabilir [Sun ve diğ, 2004].

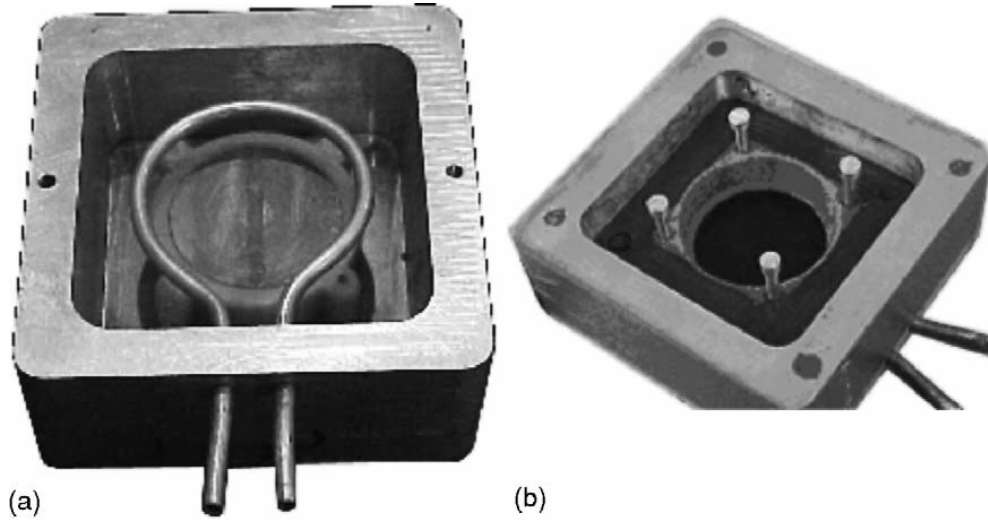
Bir kalıbın çalışmaya başladığında çalışma sıcaklığına varması zaman alır. Şekil 4.5'te düz (standart) ve yüzeye uygun soğutma kanalına sahip olan kalıpların yüzey sıcaklığı termo couplarla ölçülerek çizilmiştir [Sun ve diğ, 2004]. Grafikten de görüleceği üzere standart soğutma kanalına sahip olan kalıp 20 – 25 baskıdan sonra çalışma sıcaklığına ulaşmasına rağmen yüzeye uygun soğutma kanallara sahip olan kalıplar ilk basmadan itibaren istenilen çalışma sıcaklığına ulaşır. Ayriyeten standart soğutma kanalına sahip kalıbın çalışma sıcaklığı daha yüksektir. Bunun başlıca nedeni yüzeye uygun soğutma kanallarının soğutma kapasitesinin daha yüksek olmasıdır.



Şekil 4.5: Kalıbın çalışma sıcaklığına ulaşması için geçen süre [Sun ve diğ, 2004].

Qiao'nun 2004 yılında T şeklinde deneysel parça üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile çalışmıştır. Soğumanın en geç olduğu noktaların T şeklindeki birleşme yeri olduğunu kanıtlamıştır. Soğutma kanallarının yerleştirilmesinde Bu kritik noktalara daha fazla dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ferreira ve Mateus'un 2003 yılında çeşitli epoksi malzemelerden kalıp yapmışlar ve kalıpları birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Makalede anlatılan epoksi kalıp yapma yöntemine göre önce uygun boyutta alüminyum çerçeve yapılır. Çerçevenin içine soğutma sıvısının geçeceği bakır boru istenilen şekilde yerleştirilir. Epoksi malzeme macun kıvamında alüminyum çerçevenin içine dökülür. Model malzeme epoksi içine batırılır ve malzemenin donması beklenir. Epoksi kalıp yapımı şekilsel olarak Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Çalışmada anlatılan epoksi kalıp üretim yöntemi ile yüzeye uygun soğutma kanalları çok rahat bir şekilde oluşturulur. Ayrıca belirtelim ki epoksi malzemenin ısı iletim katsayısı çok düşük olduğundan dolayı yüzeye uygun soğutma kanalı zorunludur. Çalışmada belirtilmiştir ki nihai üründe yüksek yüzey hassasiyeti isteniyorsa epoksi kalıp önerilmez.



Şekil 4.6 Örnek epoksi kalıp yapılış aşamaları. ( a)alüminyum çerçeve bakır conformal soğutma kanalları görülmektedir. B) epoksi malzeme içine modelin yerleştirilmiş hali görülmektedir.) [Ferreira, Mateus, 2003].

Rahmati ve Dickens 2006 yılında bir çalışma yapmışlar. Bu çalışmada esas olarak epoksi kalıbın kullanılabilirliğine bakılmıştır. Bu amaçla kalıbın çeşitli mukavemet özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Prototipleme ile üretilen kalıp parçası çelik kovanın içine yerleştirildikten sonra ucuz epoksi malzeme ile doldurulmuştur. Çalışmada belirtilmiştir ki epoksi malzemeden kalıpcılığın başarılı olabilmesi için polimerin kalıp içine dolumu esnasında kalıp mümkün olduğunca az eğilme gerilimine maruz kalacak şekilde dizayn edilmelidir. Çünkü epoksi malzemenin eğilme dayanımı yüksek değildir. Çalışmada

görülmüştür ki soğutma süresi uzatılınca nihai üründe meydana gelen çarpılma azalmaktadır. Ayrıca epoksi malzemenin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan kalıbı soğutmak için hava jeti kullanılırsa çevrim süresi indirilebilir (Unutulmamalıdır ki her yeni vuruşa geçmeden epoksi kalıbın sıcaklığı 40 – 50 C arasına düşmelidir).

200–300 derece arasında eriyen termo plastiklerin enjeksiyonu için camsı geçiş sıcaklığı 60 – 90 °C olan epoksi malzemelerin kalıp malzemesi olarak kullanılması gerçekçi olmayan veya inanılmaz görülmektedir. Halbuki tekniğin ayrıntısı epoksi malzemenin çok düşük ısı geçirgenliğe (termal conductivity) sahip olması ve kısa enjeksiyon süresidir [Rahmati ve Dickens, 2006].

Epoksi kalıpcılık yönteminin klasik kalıpcılık yöntemine göre üstün yanı kalıp için işçilik gereksinimin minimum olmasıdır. epoksi malzemenin kalıp olarak kullanılmasının kötü yanlarından bir tanesi epoksi kalıp ile üretilebilecek parça sayısının sınırlı olmasıdır [Rahmati ve Dickens 2006; Ferreira ve Mateus, 2003]. İkinci olarak epoksi malzeme kalıp malzemesi olarak kullanılırsa düşük termal özellikler nedeni ile çarpılma daha fazla oluşabilir [Kovacs, 2006]. Ayrıca parçanın yüzey kalitesi yüksek değildir.

Yüzeye uygun soğutma kanallarında soğuma daha ünitormdur. Bu sayede yüzeye uygun soğutma kanallına sahip kalıplarda basılan parça standart soğutma kanallı kalıpta basılan parçaya nazaran daha az artık gerilme oluşturur ve nihai üründe çarpılma daha az görülür. Yüzeye uygun soğutma kanallarda soğumayı üniform olması için parça geometrisine dikkat edilmelidir. Bundan dolayı iki ana unsura dikkat edilmelidir. Bunlar;

- Dış bükey (convex) alanlar yüksek soğutmaya ihtiyaç duyar çünkü buralarda ısı birikmesi olur
- İç bükey (concave) alanlar daha az soğutulmalıdır. Çünkü buralarda ısı difüzyonu daha yüksektir.

Bu nedenle köşe dizaynları ve bu yüzeylerdeki soğuma sistemlerine dikkat edilmelidir [Dimla ve diğ, 2005] .

Nihai üründe görülen en büyük kusurlardan biride çarpılma olduğunu yukarıda belirtmiştik. Çarpılma oluşumuna esasen üniform olmayan ısı transferi neden olur. Soğuma ne

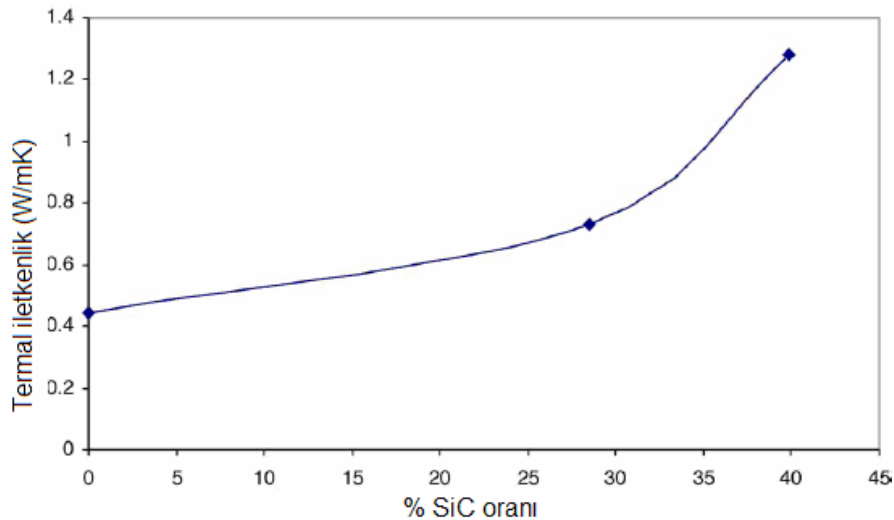
kadar dengeli olursa çarpılma oluşumu o derece az olur [Dimla ve diğ, 2005; Tang ve diğ, 2005; tang ve diğ, 2006].

Buraya kadarki kısımda soğutma sisteminin plastik ürünün özelliklerine olan etkisi anlatılmıştır. Plastik ürünün özelliklerini etkileyen bir başka faktör ise kalıp malzemesidir. Kalıp malzemesi olarak epoksi malzemelerinin kullanımı sonucu çarpılma oluşma ihtimalinin arttığı daha önceden vurgulanmıştı.

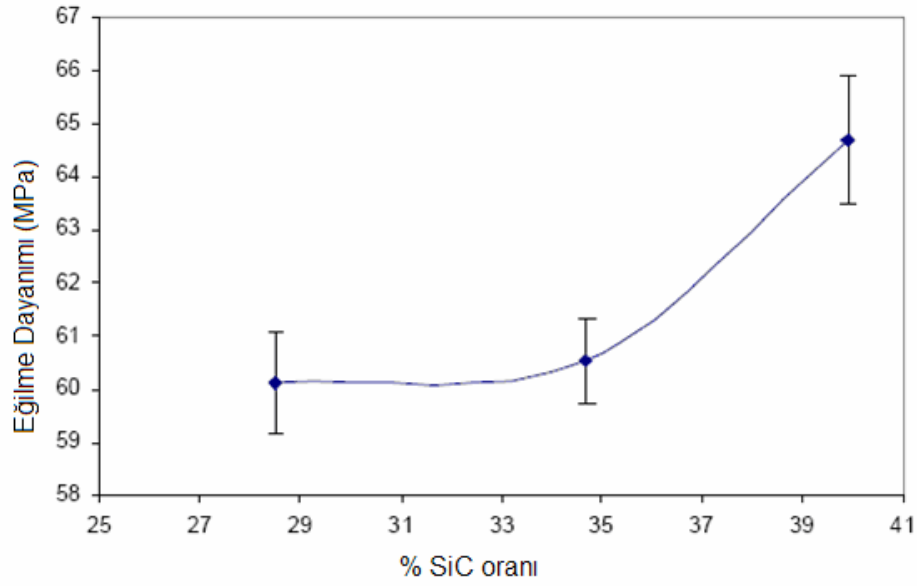
Tomori ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı çalışmada RP4037 epoksi malzemesinin içerdiği silicon carbide (SiC) oranları değiştirilmiştir ve 2 ayrı kesme hızı ile kalıp işlenmiştir. Kesme hızı arttıkça oluşan ekstra ısı ile yüzey pürüzlülüğü azaldığı görülmüştür. Yapılan her kalıpta belli bir miktar parça basılıp incelenmiştir. Deneylerde görülmüştür ki her kalıp 150 adet parçayı bir hata veya gözle görülebilecek pürüzlülükler oluşturmada başarılı bir şekilde basmıştır.

Şekil 4.7’de SiC oranı ile kalıbın termal iletkenlik arasındaki bağ verilmiştir. Şekil 4.8’de ise SiC oranı ile iş parçasının eğilme dayanımı arası ilişki verilmektedir iki grafiğin trendleri birbirlerini çağrıştırmaktadır.

SiC miktarı arttıkça kalıbın ısı geçirgenliği artmakta ve buda iş parçasında kalıplanmış parçanın eğilme dayanımını artırmaktadır.



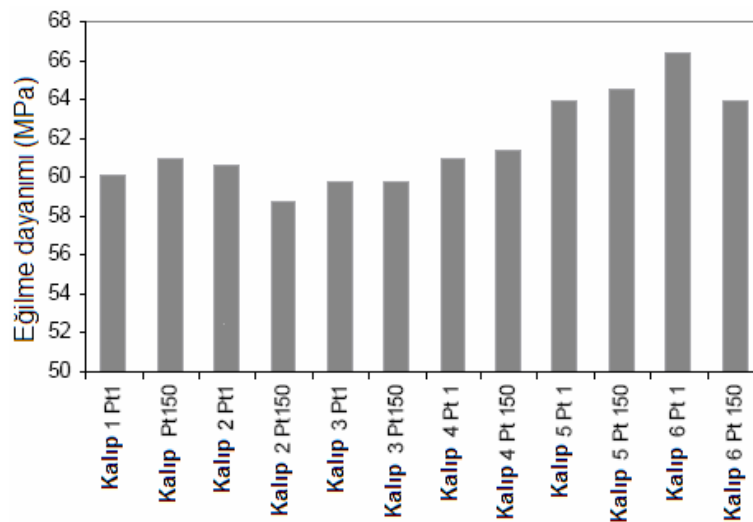
Şekil 4.7 SiC oranı ile Kalıbın Termal iletkenliği arasındaki İlişki [Tomori, T ve diğ, 2004].



Şekil 4.8 SiC oranı ile ürünün eğilme dayanımı arasındaki ilişki [Tomori ve diğ, 2004].

Sonuç olarak makalede Termal iletkenlik ve kesme hızının kalıp performansı üzerinde önemli etkisi olduğuna kanaat getiriliyor. SiC oranının artması ile eğilme dayanımının arttığı bunun nedeninin termel iletkenlik olduğu vurgulanıyor.

Makaleye göre plastik ürünün dayanımı kalıbın kullanım miktarı ile de ilişkilidir. birinci baskı ile yüz ellinci baskı arasındaki plastik üründe oluşan mukavemet değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir



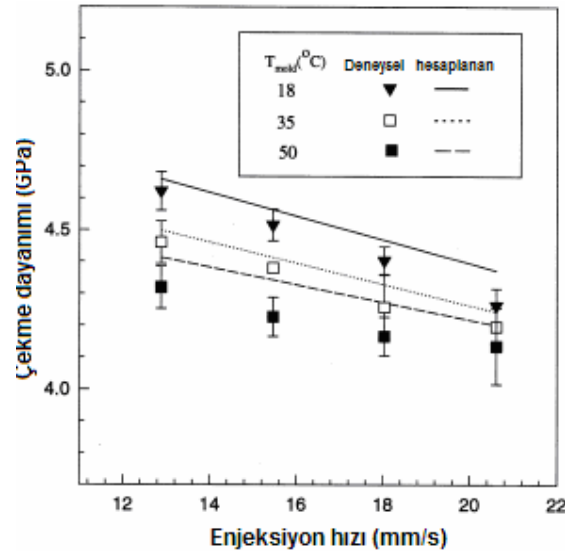
Şekil 4.9 Her Kalıp için ilk ve son baskılarda bükülme dayanımı farkları [Tomori, T. Ve diğ, 2004].

Kenig ve arkadaşları 2002 yılında enjeksiyon parametrelerinin nihai ürün üzerinde mukavemet etkileri araştırılmıştır. Enjeksiyon parametreleri olarak;

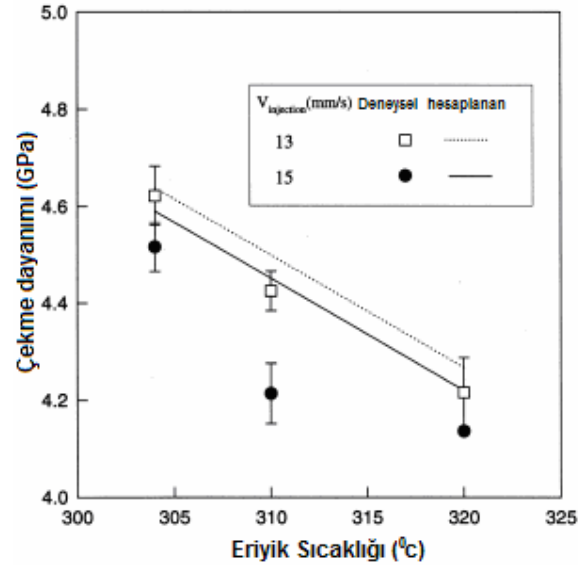
- Eriyik sıcaklığı,
- Kalıp sıcaklığı,
- Tutma basıncı,
- Enjeksiyon hızı,
- Sağuma süresi,

Seçmişlerdir. Yapılan çalışmada enjeksiyon parametreleri olarak Kenig ve arkadaşlarının belirlediği parametreden kalıp sıcaklığı hariç diğer parametreler değişken olarak belirlenmiştir.

Benzer bir çalışma Li ve Narh 2000 yılında gerçekleştirmiştir. PET/LCP kompozit malzemesinde; nihai ürünün çekme dayanımının enjeksiyon hızı, eriyik sıcaklığı ve LCD kontrasyonuna göre değişimini araştırılmışlar. Çekme dayanımının enjeksiyon hızı (Şekil 4.10) ve eriyik sıcaklığı (Şekil 4.11) arttıkça çekme dayanımı azaldığı görülmüştür.

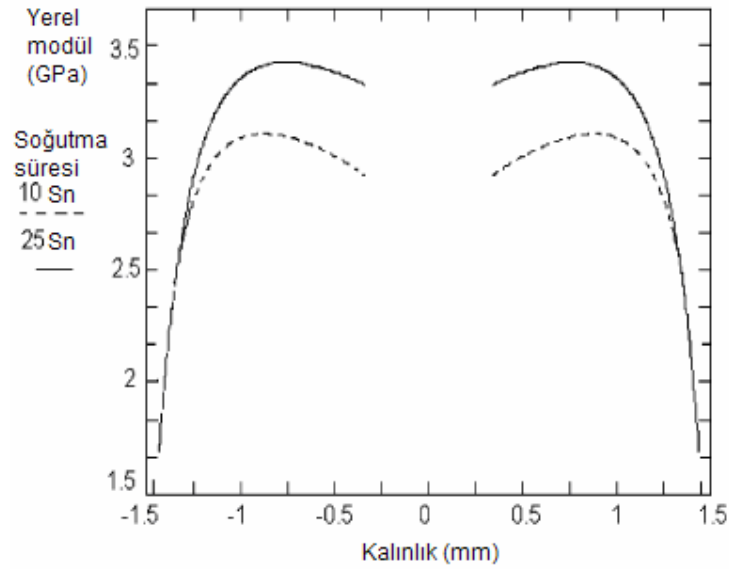


Şekil 4.10 Nihai ürünün çekme dayanımı ile enjeksiyon hızı arasındaki ilişki [Li ve Narh, 2000].

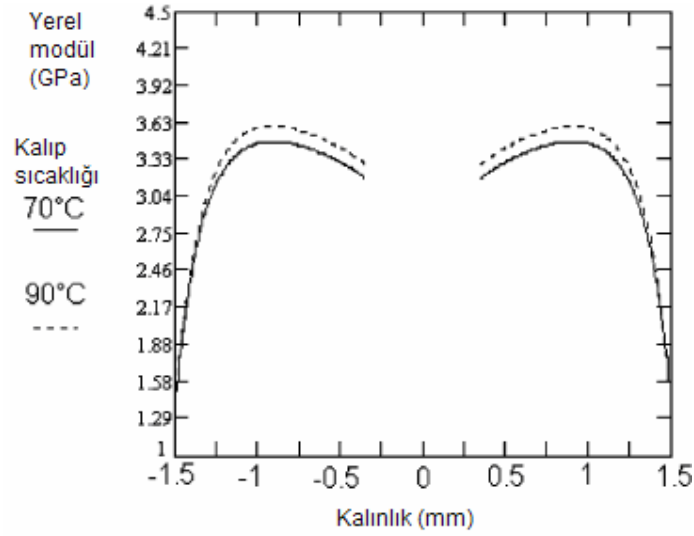


Şekil 4.11 Nihai ürünün çekme dayanımı ile eriyik sıcaklığı arasındaki ilişki [Li, ve Narh, 2000].

Remond ve Vedrines 2003 yılında enjeksiyon parametreleri ve elastisite modülü arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Soğutma süresi arttıkça PA malzemesinde elastisite modülünün arttığı sonucuna varmışlardır. Parça kalınlığının dikkate alınarak soğutma süresi-elastisite modülü ilişkisi şekil 4.12’de verilmektedir. Benzer şekilde kalıp sıcaklığı elastisite katsayısı arasındaki ilişki şekil 4.13’te verilmektedir.



Şekil 4.12 Parça kalınlığına göre soğutma süresi- Elastisite modülü ilişkisi [Remond ve Vedrines, 2003].



Şekil 4.13 Parça kalınlığına göre Kalıp Sıcaklığı - Elastisite modülü ilişkisi [Remond ve Vadrines, 2003].

Görüleceği üzere nihai üründe oluşabilecek kusurlar ve nihai ürünün sahip olduğu mekanik özellikleri ve enjeksiyon çevrim süresini en çok ısı transferi etkilemektedir. Kalıp – iş parçası arasında gerçekleşen ısı transferi temelde 2 unsura bağlıdır.

- Kalıp malzemesi.
- Soğutma kanalı geometrisi.

Projenin esas planlanma gerekçesi yukarıdaki bilgiler ışığında mevcut alternatif kalıp malzemelerinin kullanılabilirliğini araştırmak ve bu malzemelerin nihai ürün üzerindeki mekanik, görsel, fiziksel özellikleri üzerindeki avantajları ile dezavantajlarını belirlemektir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 Hazırlık

Deneyisel çalışmada amaçlanan değişik kalıp malzemelerinden yapılan kalıplarla, dört parametre üç kademe, Taguchi yöntemine uygun standart numuneler elde etmek ve belirlenen plastik malzemelerinin, farklı kalıp malzemesine göre hangi parametrenin mekanik özellikler üzerinde ne kadar etkisinin olduğunu belirlemeye çalışmaktır.

Bu amaçla

- Üretim Çeliği, (Ç1040)
- Alüminyum, (2000 )
- Epoksi (RP 4037)

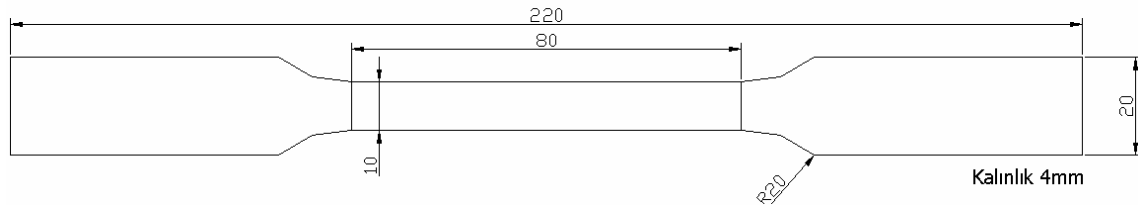
kalıp malzemesi olarak seçilmiştir. Kalıp malzemelerinin farklı seçilmesi ile esas amaçlanan enjeksiyon işlemi sırasında oluşan ısıların farklı hızlarda ortamdan uzaklaştırmak böylece numunelerin mekanik özellikleri üzerinde ısı iletiminin etkisini belirlenmeye çalışmaktır ve her kalıp için mekanik açıdan ideal enjeksiyon parametresini belirlemektir.

Enjeksiyon işlemi ile elde edilen numunelere;

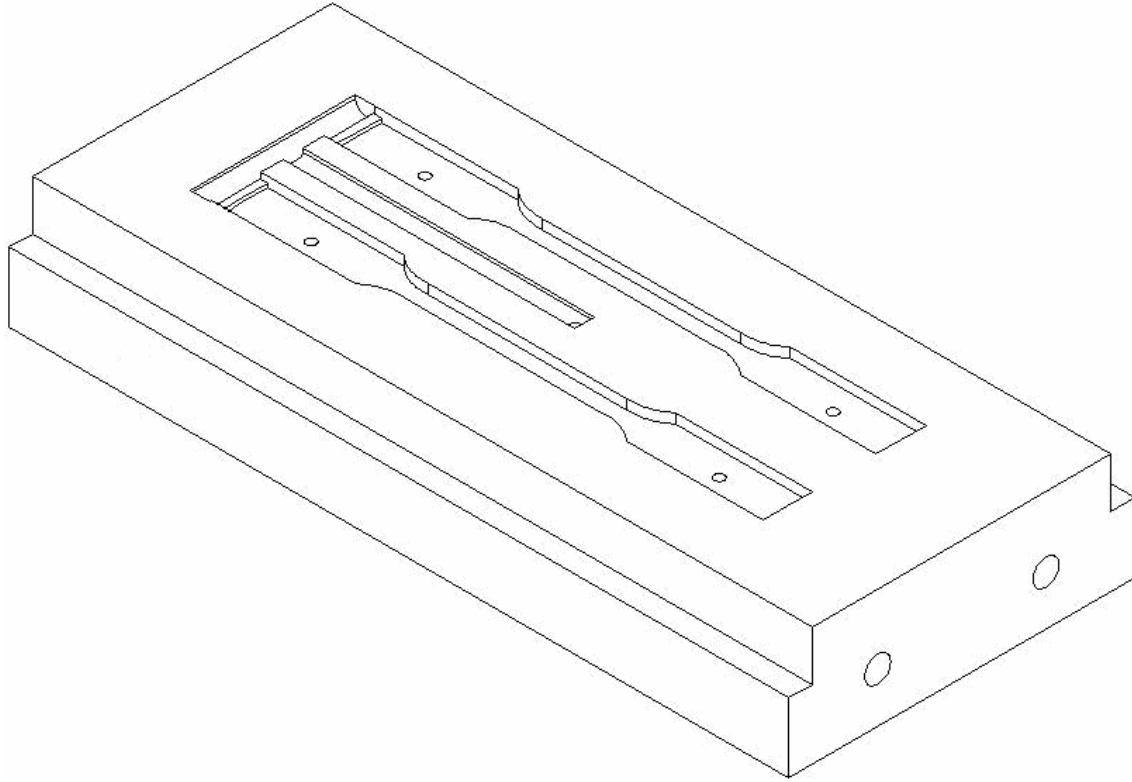
- Çekme deneyi,
- 3 nokta eğme deneyi,
- Izod darbe deneyi

testleri gerçekleştirilmiştir.

Kalıplarla standartlara uygun (ASTM D638) çekme deneyi numunesi üretilmiştir. Diğer deneyler için gerekli numuneler çekme numunesinden standartlara uygun ölçülerde kesilerek elde edilmiştir. Çekme numunesinin şekil ve boyutları Şekil 5.1’de verilmektedir. Kalıp kavitesinin 3D (isometric) resmi ise Şekil 5.2’de verilmektedir.

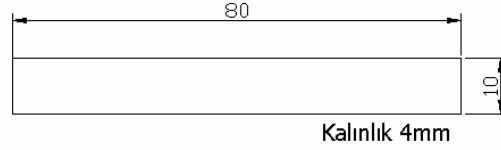


Şekil 5.1 Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ASTM D638).

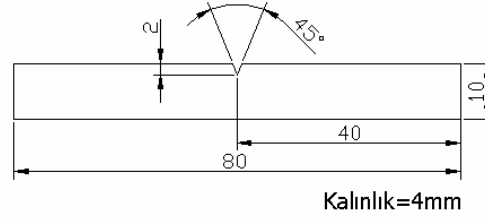


Şekil 5.2 Kalıp kavitesinin 3D Isometric görüntüsü.

3 nokta eğme deneyi numunesi (TS 985 EN ISO 178) Şekil 5.3 ve izod darbe deneyi numunesi (ISO 180) ise Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Eğilme deneyi ve darbe deneyinin çekme deneyi numunesinden kesilip elde etmekteki ana amaç plastik akışların bütün deneylerde aynı olmasını sağlamaktır.



Şekil 5.3 TS 985 EN ISO 178'e göre 3 nokta eğilme deneyi numunesi.



Şekil 5.4 ISO 180'e göre Izod darbe deneyi numunesi.

Her kalıpta ABS ve PP olmak üzere iki ayrı polimer malzeme basılmıştır. Bu malzemelerin seçilmesinin ana nedeni ise sanayide yaygın olarak kullanılmalarıdır. Ayrıca PP kristal özellik gösterirken ABS ise amorf özellik gösterir. Böylece kalıp malzemelerinin kristal ve amorf malzemelerin mekanik özellikleri üstüne etkisi ayrı ayrı araştırılmıştır. ABS ve PP'nin genel özellikleri Bölüm 2'de anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılan PP ve ABS malzemelerin teknik özellikleri Ek 1'de verilmektedir.

Deneysel çalışmada dört enjeksiyon parametresi ;

- Eriyik Sıcaklığı,
- Tutma Basıncı,
- Soğuma Süresi,
- Enjeksiyon Basıncı

değişken olarak seçilmiştir. Bu dört parametrenin seçilmesinin ana nedeni Bölüm 4'te değinildiği gibi kalıp sıcaklığı ile birlikte mekanik özellikleri etkileyen en önemli parametreler olmasıdır.

Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça en iyi sonuca ulaşmak için gerekli deney sayısı hızlı bir şekilde artar. Bu durumda sistemi etki eden faktörlerin olası bütün ihtimallerini denemek genellikle imkansız olmakla beraber çok uzun vakit alan ve masraflı bir yöntemdir.

Deneyisel tasarım yöntemi, sistemi etkileyen faktörlerin en iyi derecelerini bulmak için denemeler yapmayı ön gören bir yöntemdir [Kurt ve Önbilgin ]. Dr. Genechi Taguchi kendi adıyla anılan deney tasarımı tekniği ile deney sayısını oldukça azaltan bir teknik geliştirmiştir. Taguchi yöntemi sayesinde belli güven aralığında optimum sonuca ulaşmak için gerekli deney sayısı oldukça azalır [Şavaşkan ve diğ, 2004]. Taguchi tekniği; kaliteyi arttıran, maliyeti düşüren, araştırma-geliştirme faaliyetlerini hızlandırmaya yarayan bir tekniktir [Oktem ve diğ, 2005]. Taguchi yöntemi sayesinde sistemi etkileyen parametrelerin etkisi verimli bir şekilde elde edilir [Erzurumlu ve Özçelik, 2005].

Taguchi deney tasarımında elde edilen deney sonuçları sinyal gürültü (S/N) oranlarına döndürerek değerlendirir. Deney sonuçlarını S/N oranına çevirirken hedefimize göre

- Büyük değer iyi,
- Küçük değer iyi,
- Nominal değer iyi

şeklinde hesaplanır. Hangi hedefi kullanırsak kullanalım sonuçta elde edilen en büyük S/N oranı bizim için en iyi sonuçtur [Şavaşkan ve diğ, 2004]. Bunun yanı sıra yapılan ANOVA analizi ile hangi faktörün deney sonucunu % kaç etkilediği belirlenir. Ayrıca ANOVA analizi ile sonuçların güven seviyesi belirlenir [Şavaşkan ve diğ., 2004].

Deney tasarımı yapılırken sistemi etkileyen faktörler dikkatli seçilmelidir. Bundan dolayı deney parametrelerinin seçiminde planlama yapılmalıdır [Şavaşkan ve diğ., 2004]. Taguchi deney tasarımında izlenecek yol aşağıda maddeler halinde verilmektedir [Şavaşkan ve diğ., 2004].

- Faktörlerin seçimi aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi.
- Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
- Doğru dengeli tasarımın seçimi.
- Deneylerin önceden planlandığı gibi gerçekleştirilmesi.

- Sonuçların analizi.
- Onama deneylerinin yapılması.

Bu adımların gerçekleştirilmesi ile ölçülen değer için optimum sonucu veren parametre değerleri bulunur.

Dört adet parametrenin seçildiği daha önceden belirtmiştik. Seçilen parametrelerin 3 seviyede bütün deneyleri yapmak istersek her kalıp ve plastik türü için  $3^4=81$  tane deney yapılması gerekmektedir. Çalışmamızda deney sayısını azaltmak için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır.

Seçilen dört parametrenin değişik kombinasyonları ile Taguchi deneysel tasarım yöntemine göre dokuz farklı enjeksiyon deney seti ( $L_9$ ) oluşturulmuştur. Diğer enjeksiyon parametreleri imkanlar doğrultusunda sabit tutulmaya çalışılmıştır. PP için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon ortamı Tablo 5.1’de, ABS için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon ortamı Tablo 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.1 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre PP için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon şartları.

| <b>PP</b>                   |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
| Eriyik Sıcaklığı<br>(°C)    | 200 | 240 | 280 |
| Tutma Basıncı<br>(MPa)      | 13  | 16  | 18  |
| Soğuma Süresi<br>(s)        | 16  | 19  | 22  |
| Enjeksiyon Basıncı<br>(MPa) | 16  | 19  | 22  |

| Deney<br>No | Eriyik Sıcaklığı<br>(°C) | Tutma Basıncı<br>(MPa) | Soğuma Süresi<br>(s) | Enjeksiyon<br>Basıncı<br>(MPa) |
|-------------|--------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1           | 200                      | 13                     | 16                   | 16                             |
| 2           | 200                      | 16                     | 19                   | 19                             |
| 3           | 200                      | 18                     | 22                   | 22                             |
| 4           | 240                      | 13                     | 19                   | 22                             |
| 5           | 240                      | 16                     | 22                   | 16                             |
| 6           | 240                      | 18                     | 16                   | 19                             |
| 7           | 280                      | 13                     | 22                   | 19                             |
| 8           | 280                      | 16                     | 16                   | 22                             |
| 9           | 280                      | 18                     | 19                   | 16                             |

Tablo 5.2 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ABS için enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon şartları.

| <b>ABS</b>                  |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
| Eriyik Sıcaklığı<br>(°C)    | 200 | 240 | 280 |
| Tutma Basıncı<br>(MPa)      | 28  | 34  | 39  |
| Soğuma Süresi<br>(s)        | 16  | 19  | 22  |
| Enjeksiyon Basıncı<br>(MPa) | 36  | 43  | 50  |

| Deney No | Eriyik Sıcaklığı<br>(°C) | Tutma Basıncı<br>(MPa) | Soğuma Süresi<br>(s) | Enjeksiyon Basıncı<br>(MPa) |
|----------|--------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1        | 200                      | 28                     | 16                   | 36                          |
| 2        | 200                      | 34                     | 19                   | 43                          |
| 3        | 200                      | 39                     | 22                   | 50                          |
| 4        | 240                      | 28                     | 19                   | 50                          |
| 5        | 240                      | 34                     | 22                   | 36                          |
| 6        | 240                      | 39                     | 16                   | 43                          |
| 7        | 280                      | 28                     | 22                   | 43                          |
| 8        | 280                      | 34                     | 16                   | 50                          |
| 9        | 280                      | 39                     | 19                   | 36                          |

Yukarıdada değindiği üzere yapılan çalışmada;

- Çekme,
- 3 nokta eğme,
- Darbe (Izod)

deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çekme deneyinde çekme hızı olarak 10 mm/dk (ASTM D638) seçilmiştir. Üç nokta eğilme deneyinde hareketli çenenin ilerleme hızı olarak 2mm/dk (TE 985 EN ISO 178) olarak belirlenmiştir. Izod darbe deneyinde çekiç 10 J (ISO 180 ) olarak seçilmiştir.

Bu deneyler sayesinde numunelerinin;

- Elastisite modülü,
- Akma Gerilmesi,
- Akma Yüzde Uzaması,
- Kopmada Yüzde Uzama,
- Maksimum Eğilme Dayanımı,
- Eğilme Modülü,
- İzod Darbe Dayanımı

değerleri her üç kalıp ve bütün ortamlar için belirlenmiştir. Kalıp malzemeleri ayrı enjeksiyon parametreleri altında kıyaslanmıştır. Her ortam için çekme deneyi ve izod darbe deneyi üç kez, üç nokta eğme deneyi ise iki kez tekrarlanmıştır. Yanlış olduğu düşünülen değerler atılıp kalan değerlerin aritmetik ortalaması değerlendirilmeye alınmıştır. Örnek çekme grafikleri Ek 2’de verilmektedir.

## 5.2 Polipropilen Numunelerinin Deney Sonuçları

Enjeksiyon işlemi esnasında polipropilen için soğuma suyu sıcaklığı  $25 \pm 3$  °C sabit olarak alınmıştır. Epoksi kalıbın soğutma sistemi olmadığından dolayı epoksi kalıp soğuma suyu ile soğutulamamıştır.

Çelik ve alüminyum kalıplarda basılan numuneler hemen kalıptan çıkarılmasına rağmen epoksi kalıbın itici pimleri kalıp açıldıktan yetmiş saniye sonra devreye alınmıştır. Böylece macun kıvamında çıkan numunenin donması sağlanmıştır.

Alüminyum ve çelik parçalar bütün ortam şartlarında önemli problemlerle karşılaşmadan basılmıştır. Ne var ki epoksi kalıbın ısı iletimi düşük olduğundan dolayı 280 °C’de yapılan üretimlerde kalıp açılınca PP yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilemedi. Bundan dolayı epoksi kalıpta deney 7. 8, 9 sonuçları anlamsızdır, çıkartılmıştır.

Ayrıca epoksi kalıbın bir sonraki baskıya geçmesi için yüzey sıcaklığının 40 – 50 °C'a düşmesi beklenmiştir.

Deney esnasında dördüncü ve yedinci adımlarda eriyik sıcaklıkları artmıştır. Enjeksiyon sistemi bu ani sıcaklık artışını hemen sağlayamadığından, yaklaşık 15 – 20 dakika sıcaklığın istenilen dereceye ulaşması beklenmiştir. Bundan dolayı enjeksiyon nozulunda kalan malzemenin özelliğini kaybetme ihtimaline karşın üretilen ilk dört numune kullanılmamıştır. Dördüncü baskıdan sonra alınan numuneler değerlendirilmiştir.

Alüminyum ve çelik kalıptan üretilen numunelerin yüzeyleri iyi çıkmasına rağmen epoksi kalıptan üretilen numunelerin yüzeyleri daha pürüzlüdür. Bunun ana nedeni epoksi kalıbın talaşlı imalatında elde edilen yüzeyinin pürüzlülük değerinin yüksek olmasıdır.

Enjeksiyon işlemi PAGEV teknik lisesinde, İtalyada üretilmiş MIR (Dis N: dt0001-1514) marka makine ile gerçekleştirilmiştir. Makinenin maksimum kapama basıncı 637 KN, enjeksiyon basıncı 1480 bardır. Makinenin diğer teknik verileri Ek 3'te verilmektedir.

Enjeksiyon makinesinin bulunduğu ortamda klima, nem alıcı vb gibi teçhizat olmadığı için işlemler ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Mümkün olduğunca benzer şartlarda çalışma yapılmaya çalışılmıştır.

Çekme deneyi, Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki INSTRON 4411 çekme makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Çekme hızı dakikada on milimetre olarak alınmıştır (ASTM D638). Çekme deneyleri klima kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı 21 +/- 3 °C dır. Nem düzenleyici teçhizat olmadığı için nem miktarı kontrol altında tutulamamıştır. Fakat klima sisteminin nem alma özelliği mevcuttur. Çekme deneyi, numuneler en az iki gün bekledikten sonra gerçekleştirilmiştir.

Üç nokta eğme deneyi GYTE Malzeme mühendisliği laboratuvarlarında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Basma hızı olarak 2 mm/dk uygulanmıştır. Test cihazı olarak INSTRON 5560 kullanılmıştır.

Izod darbe deneyi GALSAN firmasında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi cihazının ismi Ceast ve modeli 6545'tir.

Aşağıdaki Tablolar 5.3 - 6'da polipropilen malzemesinin 3 farklı kalıpta ve 9 ortam şartı için elde edilen deney sonuçları düzenlenmiş halde verilmektedir.

Tablo 5.3 Polipropilen numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Elastisite modülü ve Akma Sınırları.

| Deney No | Elastisite Modülü<br>(MPa) |      |        |  | Akma Sınırı<br>(Mpa) |       |        |
|----------|----------------------------|------|--------|--|----------------------|-------|--------|
|          | Al                         | St   | Epoksi |  | Al                   | St    | Epoksi |
| 1        | 1683                       | 1946 | 1820   |  | 22.99                | 23.08 | 23.50  |
| 2        | 1636                       | 1848 | 1939   |  | 23.26                | 23.43 | 23.38  |
| 3        | 1829                       | 1803 | 1963   |  | 23.46                | 23.85 | 23.65  |
| 4        | 1722                       | 1795 | 2097   |  | 24.14                | 23.50 | 22.50  |
| 5        | 1860                       | 1830 | 1811   |  | 24.65                | 24.14 | 22.44  |
| 6        | 1536                       | 2010 | 2705   |  | 23.89                | 23.97 | 22.11  |
| 7        | 1636                       | 1736 | *      |  | 23.55                | 23.56 | *      |
| 8        | 1550                       | 1735 | *      |  | 23.54                | 23.52 | *      |
| 9        | 1533                       | 1879 | *      |  | 23.96                | 23.64 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilmedi.

Tablo 5.4 Polipropilen numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama miktarları.

| Deney No | Akmada yüzde uzama (mm/mm) |         |         |  | Kopmada Yüzde Uzama<br>(mm/mm) |         |         |
|----------|----------------------------|---------|---------|--|--------------------------------|---------|---------|
|          | Al                         | St      | Epoksi  |  | Al                             | St      | Epoksi  |
| 1        | 0.03992                    | 0.04055 | 0.04131 |  | 0.10556                        | 0.10107 | 0.04879 |
| 2        | 0.03393                    | 0.04165 | 0.03769 |  | 0.04697                        | 0.05561 | 0.04062 |
| 3        | 0.04166                    | 0.04156 | 0.04045 |  | 0.12212                        | 0.09620 | 0.04730 |
| 4        | 0.04361                    | 0.03966 | 0.03193 |  | 0.12555                        | 0.09644 | 0.03732 |
| 5        | 0.04412                    | 0.04348 | 0.03168 |  | 0.09458                        | 0.11548 | 0.02592 |
| 6        | 0.04501                    | 0.04438 | 0.02991 |  | 0.04839                        | 0.07711 | 0.03162 |
| 7        | 0.04506                    | 0.04492 | *       |  | 0.10030                        | 0.09207 | *       |
| 8        | 0.04603                    | 0.04559 | *       |  | 0.08343                        | 0.09219 | *       |
| 9        | 0.04633                    | 0.04503 | *       |  | 0.10562                        | 0.07628 | *       |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilmedi.

Tablo 5.5 Polipropilen malzemenin 3 nokta eğilme deneyinde elde edilen sonuçları.

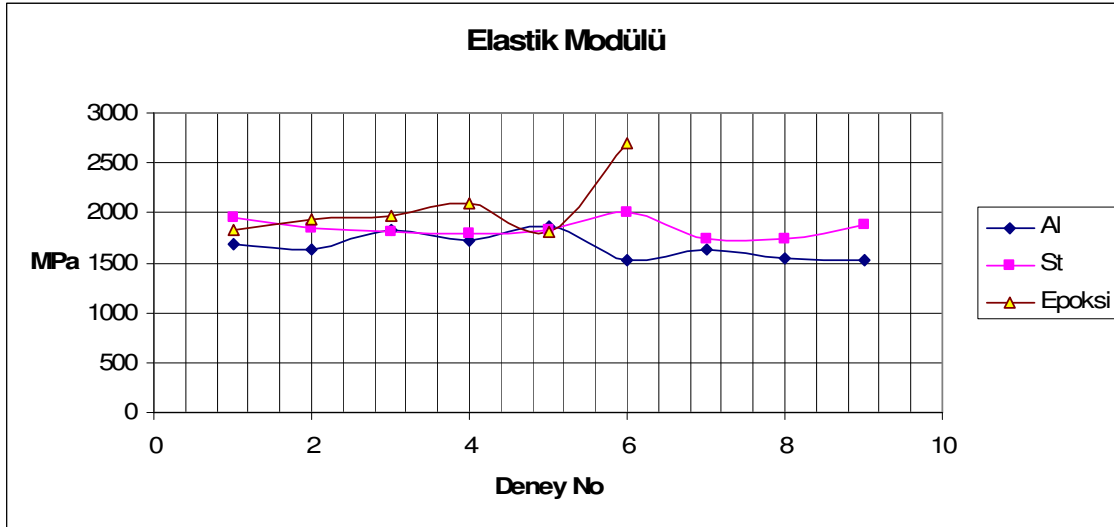
| Deney No | Eğme Modülü<br>(MPa) |     |        |  | Maksimum Eğilme Dayanımı<br>(MPa) |       |        |
|----------|----------------------|-----|--------|--|-----------------------------------|-------|--------|
|          | Al                   | St  | Epoksi |  | Al                                | St    | Epoksi |
| 1        | 888                  | 904 | 1300   |  | 28.41                             | 27.50 | 37.90  |
| 2        | 919                  | 908 | 1423   |  | 27.15                             | 27.09 | 36.07  |
| 3        | 965                  | 901 | 1475   |  | 27.58                             | 27.39 | 37.05  |
| 4        | 979                  | 899 | 1562   |  | 28.31                             | 26.68 | 33.88  |
| 5        | 947                  | 882 | 1372   |  | 27.73                             | 26.50 | 38.40  |
| 6        | 878                  | 888 | 1402   |  | 25.71                             | 26.81 | 34.53  |
| 7        | 989                  | 909 | *      |  | 28.00                             | 26.97 | *      |
| 8        | 975                  | 883 | *      |  | 28.61                             | 26.67 | *      |
| 9        | 917                  | 849 | *      |  | 26.71                             | 26.42 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilemedi.

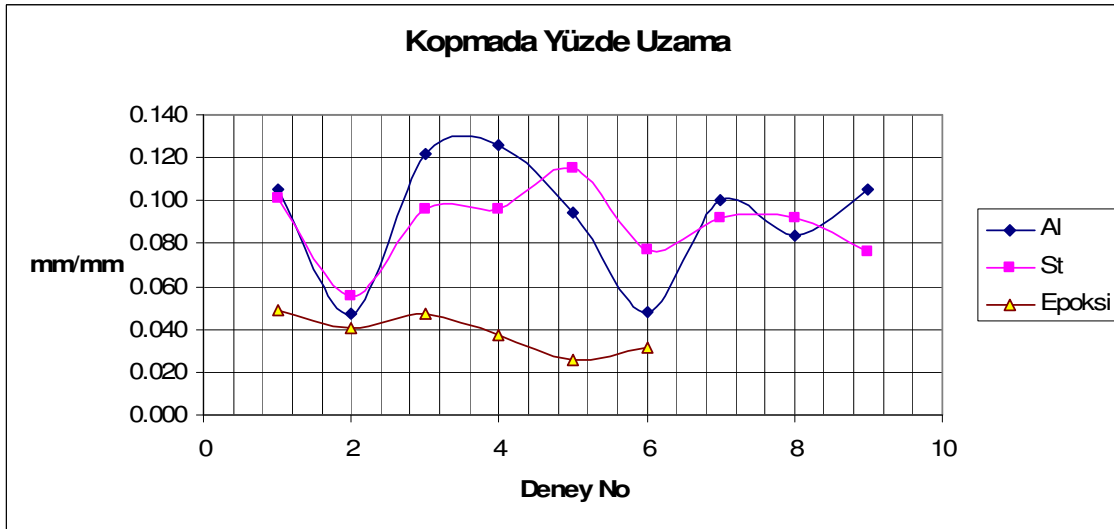
Tablo 5.6 Polipropilen malzemenin Izod darbe deneyinde elde edilen sonuçları.

| Deney No | Izod Çentik dayanımı<br>(J) |       |        |
|----------|-----------------------------|-------|--------|
|          | Al                          | St    | Epoksi |
| 1        | 0.191                       | 0.182 | 0.102  |
| 2        | 0.170                       | 0.164 | 0.104  |
| 3        | 0.232                       | 0.169 | 0.116  |
| 4        | 0.178                       | 0.175 | 0.105  |
| 5        | 0.188                       | 0.161 | 0.108  |
| 6        | 0.181                       | 0.158 | 0.101  |
| 7        | 0.215                       | 0.174 | *      |
| 8        | 0.204                       | 0.171 | *      |
| 9        | 0.241                       | 0.168 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilmedi.



Şekil 5.5 PP numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında elastik modüllerinde oluşan farklılıklar.

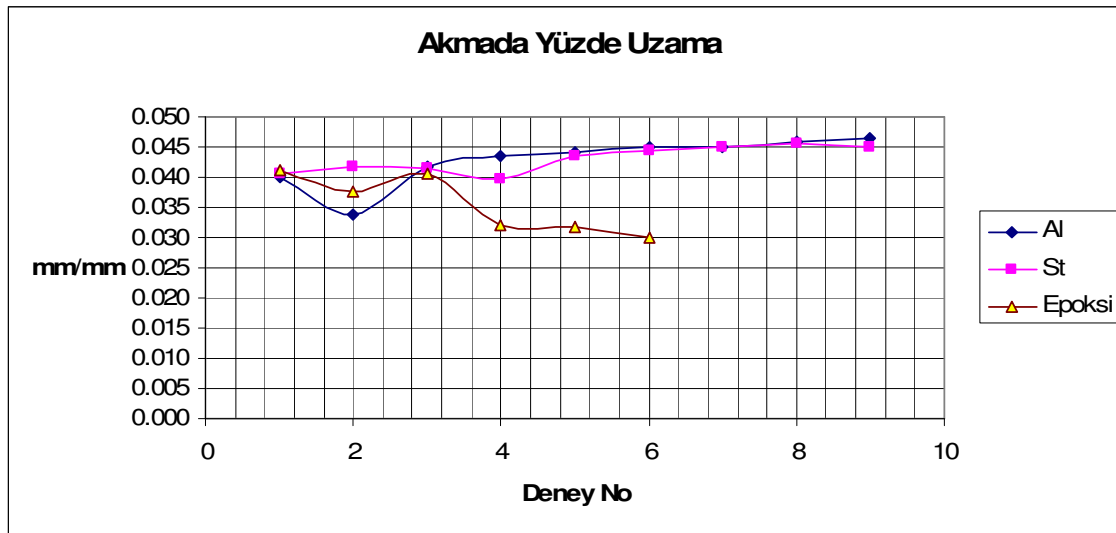


Şekil 5.6 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında kopmada yüzde uzama miktarlarında oluşan farklılıklar.

Şekil 5.5'e bakılınca görüleceği üzere en yüksek elastisite modülü hemen her şartta epoksi kalıpta elde edilmiştir. Genellikle elastisite modülü yükselince süneklik düşer malzeme gevrekleşir. Bu durum Şekil 5.6 kopmada yüzde uzama grafiği ile uyum göstermektedir. Bu durumda en gevrek numuneler epoksi kalıpta beşinci ortam'da elde edilen numunelerdir (yüzde kopma uzaması 0.02592). İlk beş ortamda alüminyum ve çelik kalıptan elde edilen numunelerin elastik modül sonuçları yaklaşık aynı değeri verdiği Şekil 5.5'te görülmektedir.

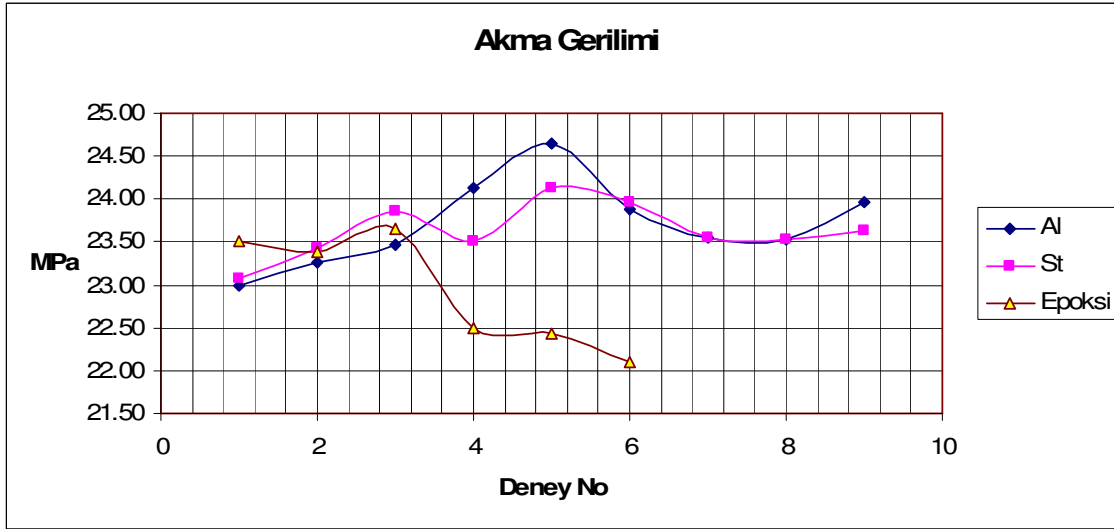
Altıncı, yedinci, sekizinci, dokuzuncu şartlarda ise çelik kalıptan elde edilen numunelerin elastik modülleri daha yüksektir. Kopma yüzde uzamaya baktığımızda ise üçüncü, dördüncü, dokuzuncu ortamlarda Al kalıptan elde edilen numuneler beşinci ve altıncıda ise çelik kalıptan elde edilen numunelerin daha yüksek süneklik gösterdiği görülmektedir. En sünek numuneler ise Alüminyum kalıpta dördüncü ortam şartlarında basılan numunelerdedir.

En gevrek ve en sünek numuneleri karşılaştırdığımızda en belirgin fark kalıp malzemelerinden ileri gelmektedir. Epoksi malzemenin ısı iletim katsayısı çok düşük olduğu için kalıp açıldığında mamul çok sıcaktır ve malzeme dışarıda kendini çekmeye devam etmektedir. Bundan dolayı tutma basıncı yüksek olsa bile numunenin kendini çekme miktarını sınırlı bir şekilde karşılayabilmektedir. Bütün malzemelerin yüzde kopma uzamaları deney no iki’de yaklaşık aynıdır.



Şekil 5.7 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akma sınırındaki yüzde uzama miktarlarında oluşan farklılıklar.

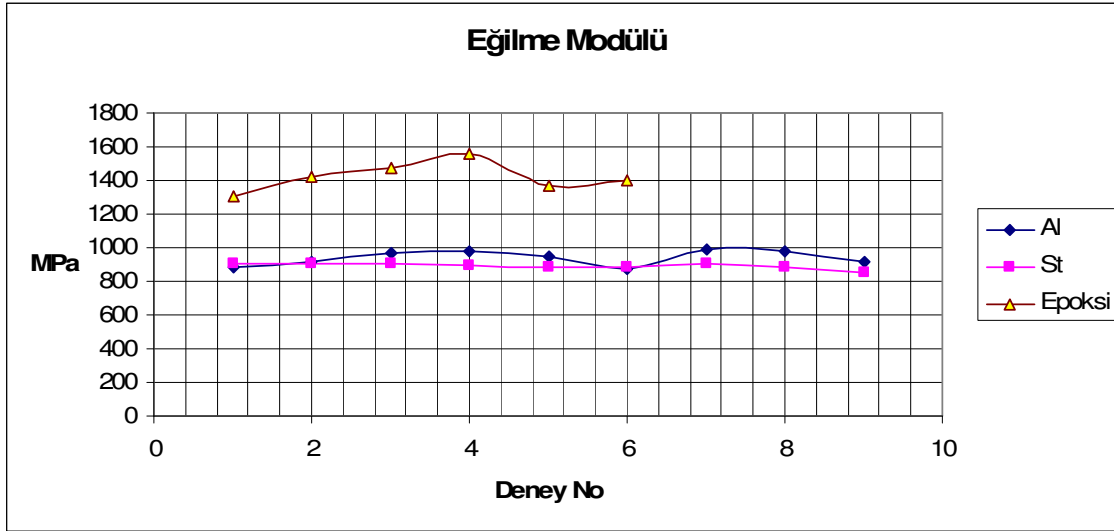
Şekil 5.7 akma yüzde uzama grafiğinden görüleceği üzere epoksi kalıp ile üretilen numuneler, akma sınırındaki uzama miktarı en düşük olanlarıdır. Beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci deney şartlarında alüminyum ve çelik kalıplardan elde edilen numunelerin akma yüzde uzamaları yaklaşık aynı değeri vermektedir.



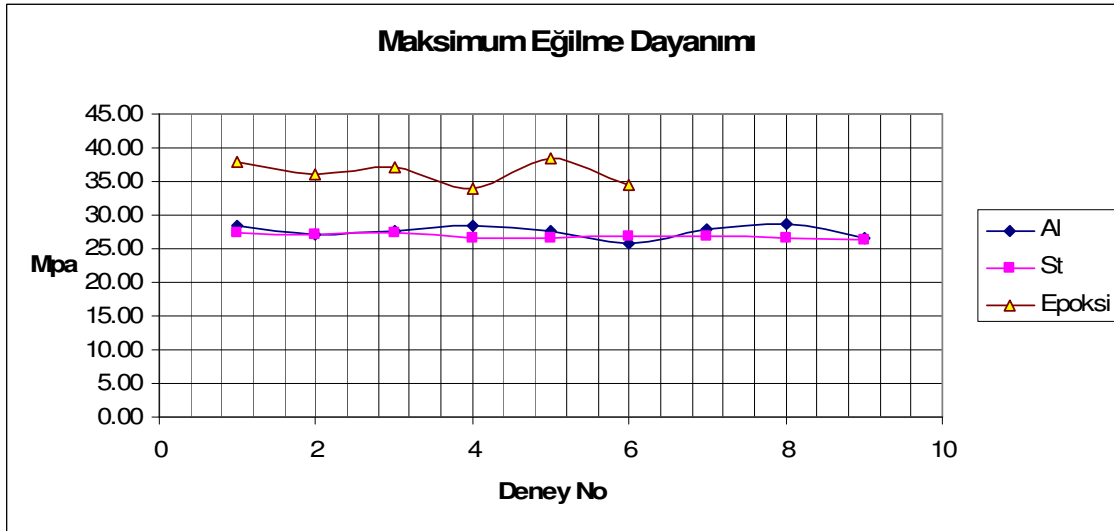
Şekil 5.8 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akma gerilmesinde oluşan farklılıklar.

Akma sınırı (Şekil 5.8) ilk üç deneyde yaklaşık bütün kalıplar için aynı olduğu görülmektedir. Dördüncü şarttan sonra ise epoksi kalıpta üretilen parçaların akma sınırı düşük olduğu görülmektedir.

Bu durumdan anlaşılacağı üzere numunelerin akmadan önceki toklukları kıyaslandırılsa en düşük olanlar epoksi kalıptan elde edilen numunelerden elde edilenlerdir. En yüksek tokluk ise alüminyum kalıpta beşinci deneyde elde edilen numunelerde görülmektedir.



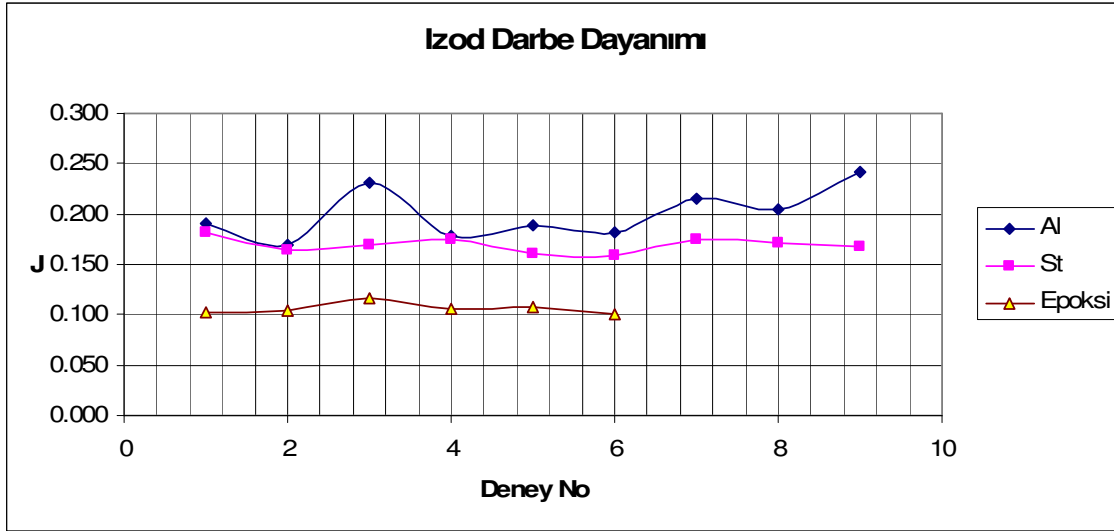
Şekil 5.9 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında eğilme modüllerinde oluşan farklılıklar.



Şekil 5.10 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında maksimum eğilme dayanımlarında oluşan farklılıklar.

Numunelerin eğilme dayanımına bakıldığında (Şekil 5.9, Şekil 5.11) her şartta epoksi kalıptan elde edilen numunelerin eğilme modülleri ile maksimum eğilme dayanımları çok daha yüksektir. (Eğilme modülü yaklaşık %54 , maksimum eğilme dayanımı yaklaşık %30 daha fazla). Fakat deney esnasında alüminyum ve çelik kalıptan elde edilen numuneler kırılmazken, epoksi kalıptan elde edilen numuneler kırılmaktadır. Bunun sebebi izod darbe

deneyinde de görüleceği üzere epoksi kalıptan elde edilen numunelerin enerji sönümleme kabiliyetinin düşük olmasıdır.



Şekil 5.11 PP Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında oluşan Darbe dayanımı farklılıkları.

Izod darbe deneyi darbeleri ani yüklemelerde malzemenin kırılmadan önce ne kadar enerji sönümleyebileceğinin bilgisini verir. İzod darbe deneyi grafiğinden (şekil 5.11) görüleceği üzere, epoksi kalıptan elde edilen numunelerin izod darbe dayanımı çok düşüktür. En düşük değer epoksi kalıpta altıncı ortamda enjekte edilen numunelerden elde edilmiştir. Diğer mekanik özellikler alüminyum ve çelik kalıptan elde edilen numunelerde hemen hemen aynı olmasına rağmen izod darbe deneyinde alüminyum kalıptan elde edilen numuneler her ortamda (özellikle ikinci ve dokuzuncu deneylerde) kırılmadan önce daha fazla enerji sönümleyebileceği görülmektedir. En yüksek izod darbe dayanımı alüminyum kalıpta dokuzuncu ortamda elde edilen numunelerden elde edilmiştir.

Deney grafiklerinden de anlaşılabacağı üzere epoksi kalıptan elde edilen numunelerde eğilme dayanımı hariç bütün mekanik özellikleri alüminyum ve çelik kalıplarda elde edilen numunelerin çok altında kalmıştır. Ne varki epoksi kalıbının yapımının hızlı ve kolay olması epoksi kalıbı tasarım ve deneme üretiminde kullanışlı kılmaktadır.

Enjeksiyon parametrelerinde yapılan değişikliklerden alüminyum, çelik ve epoksi kalıptan elde edilen numunelerde en fazla yüzde kopma uzaması, akma gerilimi etkilenmiştir. Diğer mekanik özellikler parametrelerdeki değişmelere çok fazla tepki vermemektedir.

Alüminyum ve çelik kalıplarda yaklaşık aynı değerlerde mekanik özellikler elde edilmesine kıyasla epoksi kalıptan elde edilen mekanik özellikler önemli derecede farklıdır. Ayrıca epoksi kalıpta elde edilen numuneler enjeksiyon parametrelerinin değişimine daha fazla tepki vermektedir.

### 5.3 PP Numunelerin S/N Oranı

“Taguchi Deney Tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder” (Savaşkan AKD,2004). Yaptığımız çalışmada hedef olarak en yüksek değere ulaşmak seçilmiştir (*larger is beter*). Bu yaklaşıma göre S/N oranını hesaplamak için kullanılan formül

$$S / N = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

Formüldeki;

- y= ölçüm değeri,
- n= deney sayısı

ifade etmektedir.

Tablolar 5.7 - 10’da her ortam için ilgili ölçüm değerinin sinyal gürültü faktörü verilmektedir.

Tablo 5.7 Elastik modül ve akma sınırı için S/N oranları.

| Ortam No | Elastisite Modülü (MPa) |      | S/N Oranı |    | Ortam No | Akma Sınırı (Mpa) |       | S/N Oranı |    |
|----------|-------------------------|------|-----------|----|----------|-------------------|-------|-----------|----|
|          | Al                      | St   | Al        | St |          | Al                | St    | Al        | St |
| 1        | 1683                    | 1946 | 65        | 66 | 1        | 22.99             | 23.08 | 27        | 27 |
| 2        | 1636                    | 1848 | 64        | 65 | 2        | 23.26             | 23.43 | 27        | 27 |
| 3        | 1829                    | 1803 | 65        | 65 | 3        | 23.46             | 23.85 | 27        | 28 |
| 4        | 1722                    | 1795 | 65        | 65 | 4        | 24.14             | 23.50 | 28        | 27 |
| 5        | 1860                    | 1830 | 65        | 65 | 5        | 24.65             | 24.14 | 28        | 28 |
| 6        | 1536                    | 2010 | 64        | 66 | 6        | 23.89             | 23.97 | 28        | 28 |
| 7        | 1636                    | 1736 | 64        | 65 | 7        | 23.55             | 23.56 | 27        | 27 |
| 8        | 1550                    | 1735 | 64        | 65 | 8        | 23.54             | 23.52 | 27        | 27 |
| 9        | 1533                    | 1879 | 64        | 65 | 9        | 23.96             | 23.64 | 28        | 27 |

Tablo 5.8 Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama için S/N oranları.

| Ortam No | Akmada yüzde uzama (mm/mm) |         | S/N Oranı |     | Ortam No | Kopmada Yüzde Uzama (mm/mm) |         | S/N Oranı |     |
|----------|----------------------------|---------|-----------|-----|----------|-----------------------------|---------|-----------|-----|
|          | Al                         | St      | Al        | St  |          | Al                          | St      | Al        | St  |
| 1        | 0.03992                    | 0.04055 | -28       | -28 | 1        | 0.10556                     | 0.10107 | -20       | -20 |
| 2        | 0.03393                    | 0.04165 | -29       | -28 | 2        | 0.04697                     | 0.05561 | -27       | -25 |
| 3        | 0.04166                    | 0.04156 | -28       | -28 | 3        | 0.12212                     | 0.09620 | -18       | -20 |
| 4        | 0.04361                    | 0.03966 | -27       | -28 | 4        | 0.12555                     | 0.09644 | -18       | -20 |
| 5        | 0.04412                    | 0.04348 | -27       | -27 | 5        | 0.09458                     | 0.11548 | -20       | -19 |
| 6        | 0.04501                    | 0.04438 | -27       | -27 | 6        | 0.04839                     | 0.07711 | -26       | -22 |
| 7        | 0.04506                    | 0.04492 | -27       | -27 | 7        | 0.10030                     | 0.09207 | -20       | -21 |
| 8        | 0.04603                    | 0.04559 | -27       | -27 | 8        | 0.08343                     | 0.09219 | -22       | -21 |
| 9        | 0.04633                    | 0.04503 | -27       | -27 | 9        | 0.10562                     | 0.07628 | -20       | -22 |

Tablo 5.9 Eğilme modül ve eğilme dayanımı için S/N oranları.

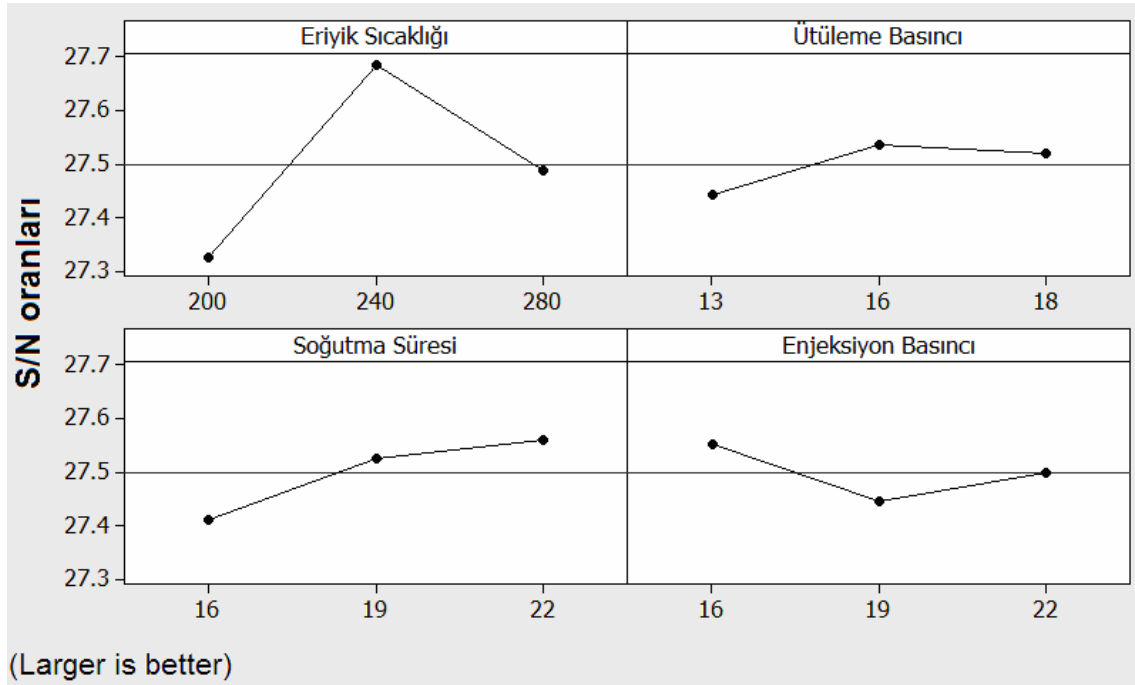
| Ortam No | Eğme Modülü (MPa) |     | S/N Oranı |    | Ortam No | Maksimum Eğilme Dayanımı (MPa) |       | S/N Oranı |    |
|----------|-------------------|-----|-----------|----|----------|--------------------------------|-------|-----------|----|
|          | Al                | St  | Al        | St |          | Al                             | St    | Al        | St |
| 1        | 888               | 904 | 59        | 59 | 1        | 28.41                          | 27.50 | 29        | 29 |
| 2        | 919               | 908 | 59        | 59 | 2        | 27.15                          | 27.09 | 29        | 29 |
| 3        | 965               | 901 | 60        | 59 | 3        | 27.58                          | 27.39 | 29        | 29 |
| 4        | 979               | 899 | 60        | 59 | 4        | 28.31                          | 26.68 | 29        | 29 |
| 5        | 947               | 882 | 60        | 59 | 5        | 27.73                          | 26.50 | 29        | 28 |
| 6        | 878               | 888 | 59        | 59 | 6        | 25.71                          | 26.81 | 28        | 29 |
| 7        | 989               | 909 | 60        | 59 | 7        | 28.00                          | 26.97 | 29        | 29 |
| 8        | 975               | 883 | 60        | 59 | 8        | 28.61                          | 26.67 | 29        | 29 |
| 9        | 917               | 849 | 59        | 59 | 9        | 26.71                          | 26.42 | 29        | 28 |

Tablo 5.10 Izod darbe dayanımı için S/N oranları.

| Ortam No | Izod Çentik dayanımı (J) |       | S/N Oranı |     |
|----------|--------------------------|-------|-----------|-----|
|          | Al                       | St    | Al        | St  |
| 1        | 0.191                    | 0.182 | -14       | -15 |
| 2        | 0.170                    | 0.164 | -15       | -16 |
| 3        | 0.232                    | 0.169 | -13       | -15 |
| 4        | 0.178                    | 0.175 | -15       | -15 |
| 5        | 0.188                    | 0.161 | -15       | -16 |
| 6        | 0.181                    | 0.158 | -15       | -16 |
| 7        | 0.215                    | 0.174 | -13       | -15 |
| 8        | 0.204                    | 0.171 | -14       | -15 |
| 9        | 0.241                    | 0.168 | -12       | -15 |

Bir sonraki aşamada ise her faktörün her seviyedeki etkisinin ayrıştırılması gerekir. Bunun için Tablo 5.7’den Tablo 5.10’a kadar hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı alınır. Mesela eriyik sıcaklığının 200 °C olduğu birinci seviye ve çelik kalıpta elastik modül için 1, 2, 3 deneylerin S/N değerinin ortalaması “(65.78 + 65.33 + 65.12)/3=65.41” şeklinde alınır. Bunlara ek olarak yapılan 9 deneyin ortalama gürültü oranı hesaplanır. En büyük sinyal gürültü oranı en iyi deney sonucunu verir.

Bu değerler grafik olarak da gösterilir. Örnek bir grafik Şekil 5.12 de verilmektedir.



Şekil 5.12 Alüminyum kalıp ve akma dayanımı için S/N Oranı.

#### 5.4 PP Numunelerin Varyans analizi (ANOVA)

Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, seçilen çıktı değerini (elastisitem modülü, akma sınırı vb.) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını bulabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir (Savaşkan AKD,2004). Bu amaçla öncelikle sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SST değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanır.

$$SST = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2$$

Burada;

- $\eta_i$  = ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranı,
- $\eta_m$  = ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranların ortalaması,
- n=toplam deney sayısı,

ifade etmektedir.

SST değeri dört faktörün ayrı ayrı karelerinin toplam değerleri (SSA, SSB, SSC ve SSD) ile hata payının karelerinin toplamı olan SSE değerinin toplamından oluşmaktadır. Her faktörün kareleri

$$SSA(SSB, SSC, \dots) = \sum_{i=1}^{k_a} [n_{a_i} x (\eta_{a_i} - \eta_m)^2]$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

- $k_a$ =a faktörünün seviye sayısı,
- $n_{a_i}$ =a faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,
- $\eta_m$ =ortalama S/N oranı

dır.

Her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerler Tablo 5.11'den Tablo 5.24'e kadar gösterilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda hesaplanan hata çok çok küçük çıktığı için F değeri,  $F_{0.05}$  tablosundaki kritik değeri ile karşılaştırmaya gerek görülmemiştir. Çünkü hata çok küçük olduğundan dolayı hesaplanan F değeri sonsuza gitmektedir.

Tablo 5.11 Taguchi  $L_9$  deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, elastiklik modülü).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | 64.41               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 64.68                  | 64.61    | 63.93    | 1.03              | 0.52                       | 32.95             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 64.51                  | 64.49    | 64.23    | 0.15              | 0.07                       | 4.74              |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 64.02                  | 64.23    | 64.97    | 1.50              | 0.75                       | 47.86             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 64.54                  | 64.09    | 64.59    | 0.45              | 0.23                       | 14.46             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 3.13              |                            | 100.00            |

Tablo 5.12 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, elastiklik modülü).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | 65.30               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 65.41                  | 65.46    | 65.02    | 0.36              | 0.18                       | 24.58             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 65.22                  | 65.12    | 65.55    | 0.31              | 0.15                       | 21.16             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 65.54                  | 65.30    | 65.05    | 0.36              | 0.18                       | 24.93             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 65.50                  | 65.39    | 65.00    | 0.43              | 0.21                       | 29.33             |
| Hata               | 83                  |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             |                     |                        |          |          | 1.45              |                            | 100.00            |

Tablo 5.11'e göre alüminyum kalıpta elastiklik modülünü en fazla etkileyen faktör soğutma süresidir(%47.86). ikinci önemli faktör ise eriyik sıcaklığıdır(%32.95). Fakat elastisite modülünü çelik kalıpta (Tablo 5.12) bütün faktörler yaklaşık aynı önemde etkilemektedir.

Benzer bir durum akma sınırı için de geçerlidir. Alüminyum kalıpta akma mukavemetinde belirleyici olan değişken eriyik sıcaklığı iken (%73.92) çelik kalıpta enjeksiyon basıncı hariç bütün parametrelerdir. Bunun nedeni alüminyum kalıbın ısı iletim katsayısının yüksek olmasından dolayı ısının ortamdaki hızla uzaklaştırılması olduğu düşünülmektedir. Kalıp açılınca numunenin sahip olduğu ısı daha düşük olmasından dolayı ani soğuma daha az oluşmakta ve böylece kristal yapı daha fazla büyümektedir bu da akma dayanımını yükseltmektedir [Altan, 2007].

Tablo 5.13 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, Akma Sınırı).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | 27.50               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 27.32                  | 27.68    | 27.49    | 0.20              | 0.10                       | 73.92             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 27.44                  | 27.53    | 27.52    | 0.01              | 0.01                       | 5.56              |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 27.41                  | 27.52    | 27.56    | 0.04              | 0.02                       | 14.13             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 27.55                  | 27.45    | 27.50    | 0.02              | 0.01                       | 6.39              |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.26              |                            | 100.00            |

Tablo 5.14 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, Akma Sınırı).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | 27.47               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 27.40                  | 27.56    | 27.45    | 0.04              | 0.02                       | 34.24             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 27.38                  | 27.49    | 27.54    | 0.04              | 0.02                       | 39.03             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 27.43                  | 27.43    | 27.55    | 0.03              | 0.01                       | 26.48             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 27.46                  | 27.48    | 27.47    | 0.00              | 0.00                       | 0.25              |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.11              |                            | 100.00            |

Tablo 5.15 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, akmada yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | -27.40              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -28.32                 | -27.08   | -26.78   | 4.00              | 2.00                       | 68.49             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -27.37                 | -27.75   | -27.07   | 0.68              | 0.34                       | 11.62             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -27.22                 | -27.76   | -27.21   | 0.60              | 0.30                       | 10.19             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -27.26                 | -27.75   | -27.18   | 0.57              | 0.28                       | 9.70              |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 5.84              |                            | 100.00            |

Tablo 5.16 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, akma yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | -27.34              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -27.69                 | -27.44   | -26.90   | 0.98              | 0.49                       | 62.66             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -27.61                 | -27.22   | -27.20   | 0.31              | 0.16                       | 20.00             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -27.24                 | -27.52   | -27.27   | 0.15              | 0.07                       | 9.33              |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -27.33                 | -27.21   | -27.49   | 0.13              | 0.06                       | 8.01              |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.56              |                            | 100.00            |

Numunelerde elde edilen akma yüzde uzama değerlerine alüminyum ve çelik kalıpta da en fazla eriyik sıcaklığı etkilemektedir. (%60'ın üzerinde)

Tablo 5.17 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, kopmada yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | -21.14              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -21.45                 | -21.60   | -20.36   | 2.78              | 1.39                       | 3.42              |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -19.18                 | -22.87   | -21.36   | 20.74             | 10.37                      | 25.52             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -22.47                 | -21.37   | -19.57   | 12.82             | 6.41                       | 15.78             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -19.85                 | -24.28   | -19.29   | 44.93             | 22.46                      | 55.28             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 81.27             |                            | 100.00            |

Tablo 5.18 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, kopmada yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | -21.16              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -21.78                 | -20.44   | -21.26   | 2.74              | 1.37                       | 10.02             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -20.31                 | -21.52   | -21.65   | 3.25              | 1.63                       | 11.91             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -20.96                 | -22.59   | -19.93   | 10.74             | 5.37                       | 39.36             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -20.34                 | -22.69   | -20.45   | 10.57             | 5.28                       | 38.71             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 27.30             |                            | 100.00            |

Görüleceği üzere kopmada yüzde uzama miktarına alüminyum kalıpta enjeksiyon basıncı (%55) ve tutma basıncı (%26) önemli rol oynamaktadır. Çelik kalıpta ise en önemli etkiyi soğutma süresi yapmaktadır(%39).

Eğilme modüllerinde ise eğilme dayanımını etkileyen en önemli faktör alüminyum kalıpta soğutma süresi (%33) ve enjeksiyon basıncı (%38) iken çelik kalıpta eriyik sıcaklığı (%30) ve tutma basıncıdır (%32).

Tablo 5.19 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, eğilme modülü).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Ortalama S/N       | 59.45               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 59.31                  | 59.40    | 59.64    | 0.18              | 0.09                       | 15.54             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 59.56                  | 59.52    | 59.27    | 0.15              | 0.08                       | 13.25             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 59.20                  | 59.44    | 59.71    | 0.38              | 0.19                       | 32.81             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 59.25                  | 59.35    | 59.76    | 0.45              | 0.22                       | 38.41             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.16              |                            | 100.00            |

Tablo 5.20 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, eğilme modülü).

| Ortalama S/N       | 59.00               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 59.13                  | 58.98    | 58.89    | 0.08              | 0.04                       | 30.32             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 59.12                  | 59.00    | 58.88    | 0.09              | 0.04                       | 31.63             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 59.00                  | 58.94    | 59.06    | 0.02              | 0.01                       | 8.11              |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 58.87                  | 59.10    | 59.03    | 0.08              | 0.04                       | 29.94             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.28              |                            | 100.00            |

Tablo 5.21 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Maksimum eğilme dayanımı).

| Ortalama S/N       | 28.81               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 28.85                  | 28.70    | 28.87    | 0.05              | 0.03                       | 7.39              |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 29.02                  | 28.89    | 28.52    | 0.41              | 0.20                       | 57.48             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 28.80                  | 28.75    | 28.87    | 0.02              | 0.01                       | 3.17              |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 28.82                  | 28.61    | 28.99    | 0.23              | 0.11                       | 31.96             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.70              |                            | 100.00            |

Tablo 5.22 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, maksimum eğilme dayanımı).

| Ortalama S/N       | 28.59               |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 28.73                  | 28.52    | 28.52    | 0.09              | 0.04                       | 74.28             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 28.64                  | 28.55    | 28.58    | 0.01              | 0.01                       | 11.63             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 28.62                  | 28.54    | 28.61    | 0.01              | 0.01                       | 10.70             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 28.56                  | 28.61    | 28.60    | 0.00              | 0.00                       | 3.39              |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.12              |                            | 100.00            |

Tablo 5.23 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, Izod darbe dayanımı).

| Ortalama S/N       | -14.03              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -14.15                 | -14.78   | -13.17   | 3.93              | 1.97                       | 44.38             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -14.24                 | -14.57   | -13.29   | 2.63              | 1.32                       | 29.73             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -14.33                 | -14.25   | -13.52   | 1.20              | 0.60                       | 13.55             |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -13.75                 | -14.52   | -13.83   | 1.09              | 0.55                       | 12.34             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 8.86              |                            | 100.00            |

Tablo 5.24 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, izod darbe dayanımı).

| Ortalama S/N       | -15.44              |                        |          |          |                   |                            |                   |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi (%) |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |                   |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -15.31                 | -15.68   | -15.34   | 0.26              | 0.13                       | 21.54             |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -15.04                 | -15.64   | -15.65   | 0.73              | 0.36                       | 61.13             |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -15.38                 | -15.45   | -15.50   | 0.02              | 0.01                       | 1.86              |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -15.39                 | -15.64   | -15.30   | 0.18              | 0.09                       | 15.47             |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00              |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.19              |                            | 100.00            |

Izod darbe dayanımında etkileyen faktörlerde kalıp malzemesine göre farklılık görülmektedir. Alüminyum kalıpta darbe dayanımını en fazla eriyik sıcaklığı etkilerken (%44) çelik kalıpta tutma basıncı etkilemektedir (%61).

Anova analizi sonuçlarının toplu österimi Ek 2’de verilmektedir.

## 5.5 ABS Numunelerinin Sonuçları

Enjeksiyon işlemi esnasında ABS için soğuma suyu sıcaklığı 27+/- 3 °C sabit olarak alınmıştır. Epoksi kalıbın soğutma sistemi olmadığından dolayı epoksi kalıp soğuma suyu ile soğutulamamıştır.

PP enjeksiyonu işleminde yapıldığı gibi çelik ve alüminyum kalıplarda basılan numuneler hemen kalıptan çıkarılmasına rağmen epoksi kalıbın itici pimleri kalıp açıldıktan yetmiş saniye sonra devreye alınmıştır. Böylece macun kıvamında çıkan numunenin donması sağlanmıştır.

Alüminyum ve çelik kalıplarda numuneler bütün ortam şartlarında önemli problemlerle karşılaşmadan üretilmiştir. Ne var ki epoksi kalıbın ısı iletimi düşük olduğundan dolayı 240 ve 280 °C'de yapılan üretimlerde kalıp açılınca ABS yeteri derecede soğumadığından dolayı istenilen nitelikte numune üretilemedi. Bundan dolayı epoksi kalıpta ortam dörtten dokuza kadar iptal edilmiştir. Epoksi numuneler boyut hassasiyeti iyi olmadığından dolayı çentik darbe deneyi uygulanamamıştır

Ayrıca epoksi kalıbın bir sonraki baskıya geçmesi için yüzey sıcaklığının 40 – 50 °C'a düşmesi beklenmiştir.

Deney esnasında dördüncü ve yedinci adımlarda eriyik sıcaklıkları artmıştır. Enjeksiyon sistemi bu ani sıcaklık artışını hemen sağlayamadığından, yaklaşık 15 – 20 dakika sıcaklığın istenilen dereceye ulaşması beklenmiştir. Bundan dolayı enjeksiyon nozulunda kalan malzemenin özelliğini kaybetme ihtimaline karşın üretilen ilk dört numune kullanılmamıştır. Dördüncü baskıdan sonra alınan numuneler değerlendirilmiştir.

Alüminyum ve çelik kalıptan üretilen numunelerin yüzeyleri iyi çıkmasına rağmen epoksi kalıptan üretilen numunelerin yüzeyleri daha pürüzlüdür. Bunun ana nedeni epoksi kalıbın talaşlı imalatında elde edilen yüzeyinin pürüzlülük değerinin yüksek olmasıdır.

Aşağıdaki Tablo5. 25'ten Tablo 5.28'e kadar ABS numunelerinin 3 farklı kalıpta ve 9 deney şartı için elde edilen deney sonuçları düzenlenmiş halde verilmektedir.

Tablo 5.25 ABS numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Elastisite modülü ve Akma Sınırları.

| Deney No | Elastisite Modülü<br>(MPa) |      |        |  | Akma Sınırı<br>(Mpa) |       |        |
|----------|----------------------------|------|--------|--|----------------------|-------|--------|
|          | Al                         | St   | Epoksi |  | Al                   | St    | Epoksi |
| 1        | 2746                       | 2782 | 1860   |  | 34.38                | 39.09 | 37.46  |
| 2        | 2595                       | 2679 | 2464   |  | 41.02                | 40.00 | 38.31  |
| 3        | 2548                       | 2621 | 2503   |  | 41.03                | 39.24 | 38.83  |
| 4        | 2620                       | 2458 | *      |  | 40.42                | 39.64 | *      |
| 5        | 2772                       | 2502 | *      |  | 40.27                | 38.12 | *      |
| 6        | 2564                       | 2368 | *      |  | 40.08                | 38.06 | *      |
| 7        | 2411                       | 1870 | *      |  | 39.59                | 36.75 | *      |
| 8        | 2831                       | 2217 | *      |  | 38.99                | 36.37 | *      |
| 9        | 2621                       | 2128 | *      |  | 38.58                | 36.48 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilemedi.

Tablo 5.26 ABS numunelerinin çekme deneyi sayesinde elde edilen Akmada yüzde uzama ve kopmada yüzde uzama miktarları.

| Deney No | Akmada yüzde uzama<br>(mm/mm) |         |         |  | Kopmada Yüzde Uzama<br>(mm/mm) |         |         |
|----------|-------------------------------|---------|---------|--|--------------------------------|---------|---------|
|          | Al                            | St      | Epoksi  |  | Al                             | St      | Epoksi  |
| 1        | 0.03445                       | 0.02963 | 0.03003 |  | 0.15599                        | 0.03016 | 0.05151 |
| 2        | 0.03434                       | 0.03132 | 0.02875 |  | 0.17153                        | 0.04258 | 0.08874 |
| 3        | 0.03380                       | 0.03012 | 0.03261 |  | 0.19370                        | 0.05846 | 0.05923 |
| 4        | 0.03094                       | 0.03155 | *       |  | 0.07041                        | 0.09336 | *       |
| 5        | 0.03088                       | 0.03171 | *       |  | 0.07538                        | 0.06136 | *       |
| 6        | 0.03203                       | 0.03160 | *       |  | 0.18574                        | 0.07799 | *       |
| 7        | 0.03235                       | 0.03167 | *       |  | 0.09773                        | 0.31779 | *       |
| 8        | 0.03187                       | 0.03037 | *       |  | 0.09520                        | 0.06472 | *       |
| 9        | 0.03132                       | 0.03110 | *       |  | 0.20044                        | 0.06875 | *       |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilmedi.

Tablo 5.27 ABS malzemenin 3 nokta eğilme deneyinde elde edilen eğilme modülü ve maksimum eğilme dayanımı sonuçları.

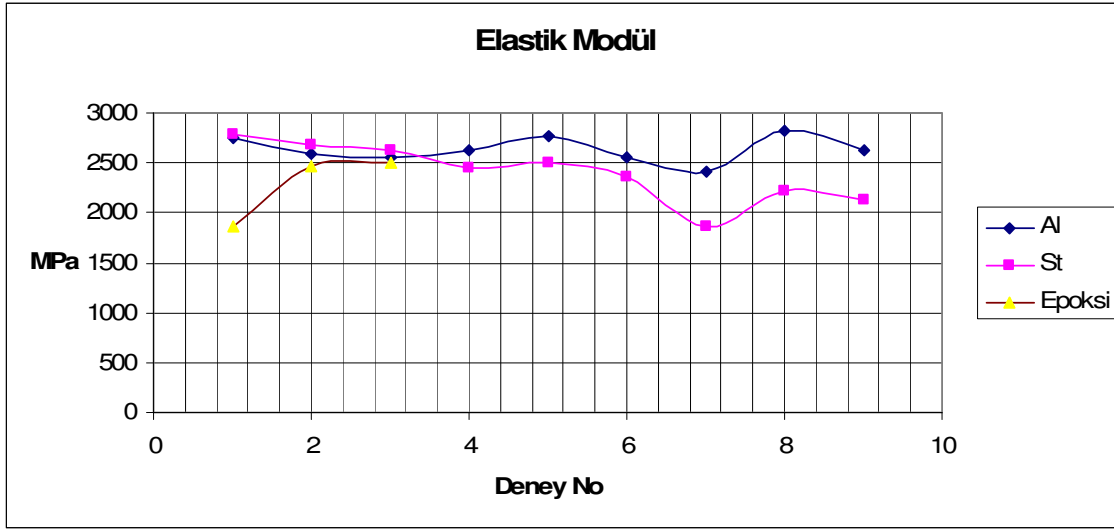
| Deney No | Eğme Modülü<br>(MPa) |      |        |  | Maksimum Eğilme Dayanımı<br>(MPa) |       |        |
|----------|----------------------|------|--------|--|-----------------------------------|-------|--------|
|          | Al                   | St   | Epoksi |  | Al                                | St    | Epoksi |
| 1        | 2252                 | 1823 | 1859   |  | 64.50                             | 49.95 | 60.11  |
| 2        | 2276                 | 1885 | 1896   |  | 61.77                             | 50.76 | 53.17  |
| 3        | 2273                 | 2098 | 1936   |  | 58.74                             | 54.71 | 54.76  |
| 4        | 2141                 | 2158 | *      |  | 54.59                             | 57.16 | *      |
| 5        | 2154                 | 1903 | *      |  | 53.46                             | 52.63 | *      |
| 6        | 2160                 | 1970 | *      |  | 53.24                             | 53.00 | *      |
| 7        | 1984                 | 2122 | *      |  | 49.20                             | 53.58 | *      |
| 8        | 1926                 | 2375 | *      |  | 52.10                             | 59.60 | *      |
| 9        | 1935                 | 1844 | *      |  | 53.38                             | 51.68 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilemedi.

Tablo 5.28 ABS malzemenin Izod darbe deneyinde elde edilen sonuçları.

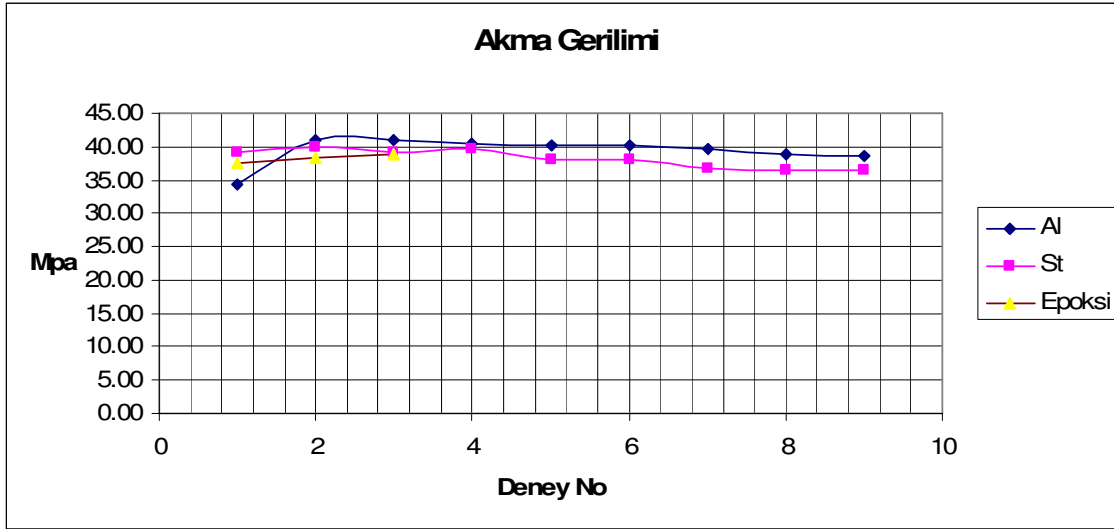
| Ortam<br>No | Izod Çentik dayanımı (J) |       |        |
|-------------|--------------------------|-------|--------|
|             | Al                       | St    | Epoksi |
| 1           | 0.683                    | 0.564 | 0.000  |
| 2           | 0.640                    | 0.571 | 0.000  |
| 3           | 0.698                    | 0.593 | 0.000  |
| 4           | 0.677                    | 0.641 | *      |
| 5           | 0.654                    | 0.586 | *      |
| 6           | 0.651                    | 0.601 | *      |
| 7           | 0.643                    | 0.720 | *      |
| 8           | 0.643                    | 0.710 | *      |
| 9           | 0.659                    | 0.592 | *      |

\* Yeteri derecede soğuyamadığından istenilen nitelikte numune üretilemedi.

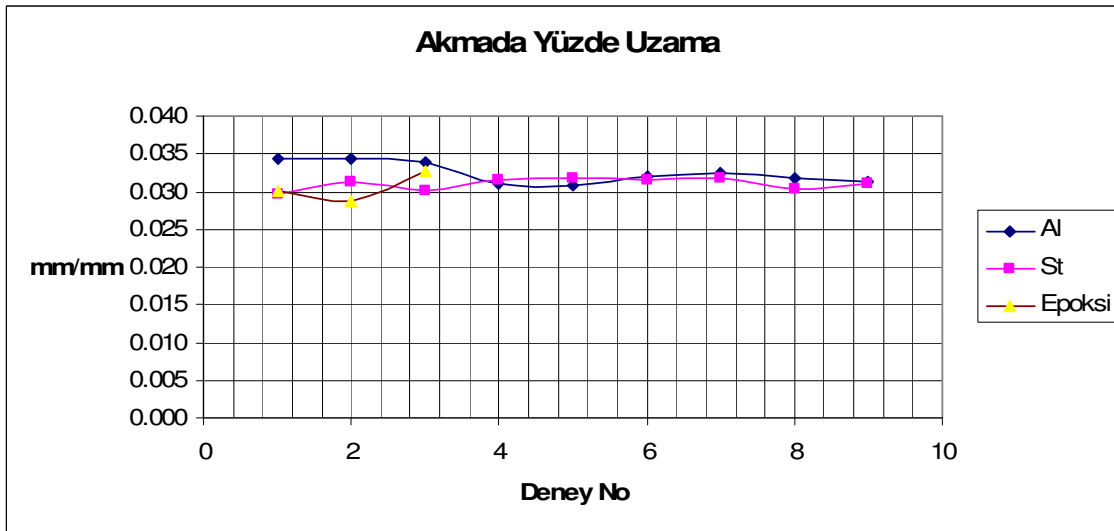


Şekil 5.13 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında elastik modüllerinde oluşan farklılıklar.

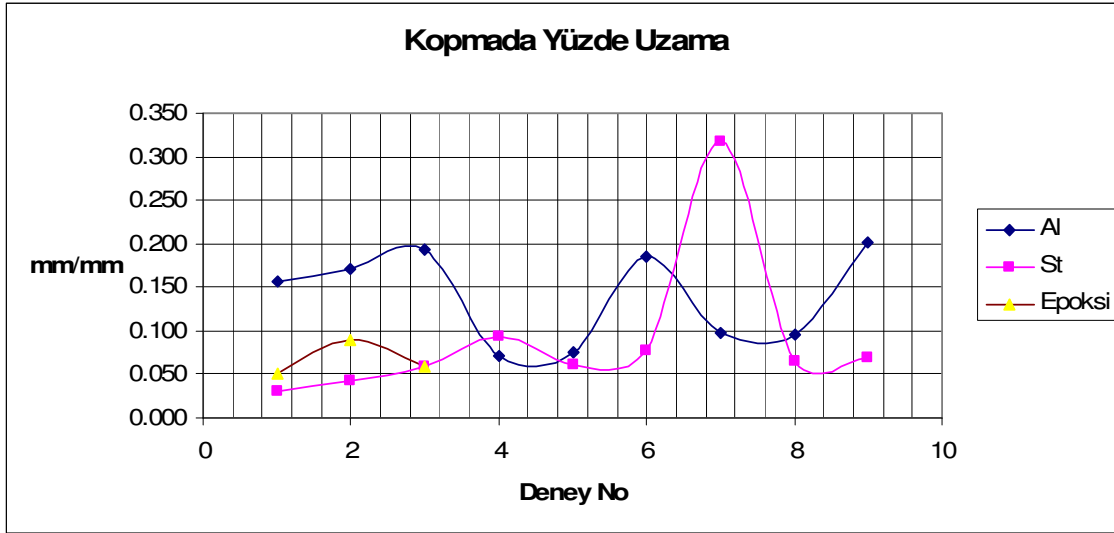
Şekil 5.13'te görüleceği üzere en düşük elastik modül birinci ortamda epoksi kalıpta üretilen numunelerdedir (1860MPa). En yüksek elastik modül ise sekizinci ortamda alüminyum kalıpta üretilen numunelerdedir (2831MPa). Grafikten görüleceği üzere alüminyum ve çelik kalıpta üretilen numuneler enjeksiyon şartlarının değişimlerine aynı tepkiyi vermektedir. Bu durum birinci ortam hariç akma gerilmesi (Şekil 5.14) ve akmada yüzde uzama (şekil 5.15) içinde geçerlidir. Şekil 4.15'e bakılınca en düşük akma dayanımı birinci ortamda alüminyum kalıpta üretilen numunelerdedir (34.38MPa) en yüksek akma dayanımı da yine alüminyum kalıptan elde edilmiştir (üçüncü ortam,41.03MPa). akmada yüzde uzama grafiklerinde görüleceği üzere ilk üç ortamda alüminyum kalıptan elde edilen numuneler akmadan önce daha fazla uzamaktadır. Üçüncü ortamdan sonra çelik ve alüminyum kalıplardan elde edilen numuneler hemen hemen aynı miktarda uzamaktadır. Bu durumda akmadan önce en fazla tokluğa sahip olan numuneler alüminyum kalıpta ikinci ortamda (eriyik sıcaklığı 200 °C, tutma basıncı 34MPa, Soğuma süresi 19Sn, enjeksiyon basıncı 43MPa) üretilen numuneler sahiptir. En düşük akma yüzde uzama miktarı ikinci ortamda epoksi kalıptan elde edilmiştir (%2.8).



Şekil 5.14 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında Akma dayanımında oluşan farklılıklar.



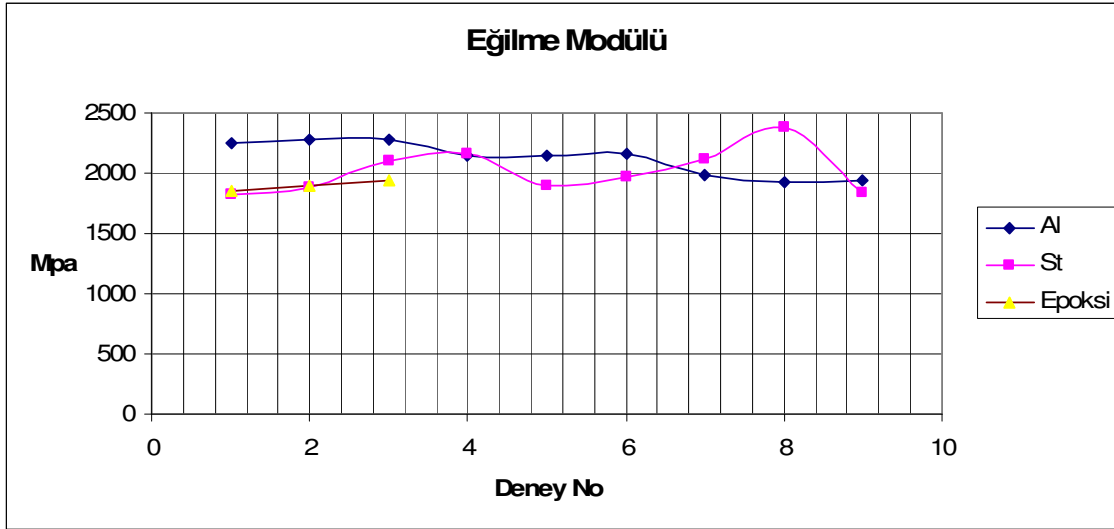
Şekil 5.15 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında akmada yüzde uzamada oluşan farklılıklar.



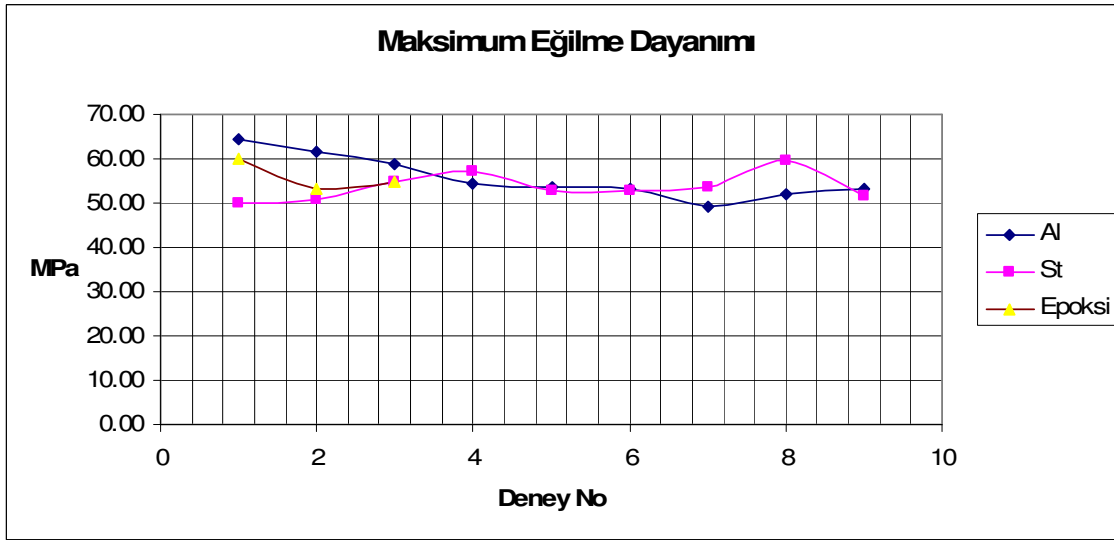
Şekil 5.16 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında kopmada yüzde uzamada oluşan farklılıklar.

Şekil 5.16 kopmada yüzde uzama grafiğinden görüleceği üzere en sünek numuneler 7. ortamda çelik kalıptan elde edilmektedir (%31.78). epoksi kalıpta en yüksek yüzde uzama ikinci ortamda(%8.87), alüminyum kalıpta ise 3. ortamda (%19.37) elde edilmektedir.

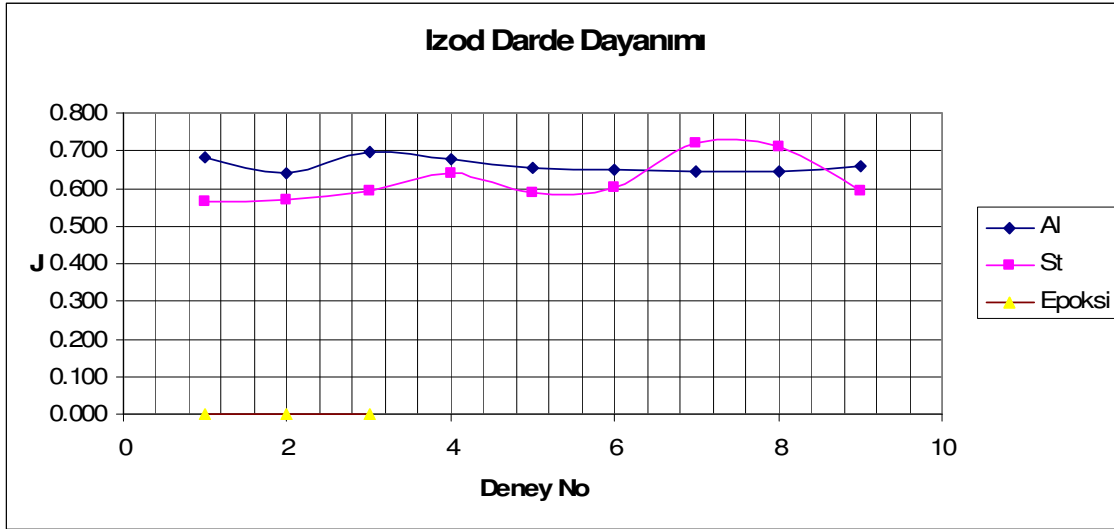
Şekil 5.17 eğilme modülü ve şekil 5.18 maksimum eğilme dayanımı grafiklerine bakılınca çelik ve alüminyum kalıplardan üretilen numuneler içinde ortam değişikçe eğilme modülündeki değişim ile maksimum eğilme dayanımı arasındaki değişiklik uyusmaktadır. Fakat epoksi kalıpta elde edilen numunelerin eğilme modülü ile maksimum eğilme dayanımı aynı şekilde değişmemektedir. En yüksek eğilme modülü ve maksimum eğilme dayanımı çelik kalıpta sekizinci ortamda (eğilme modülü 2375MPa, maksimum eğilme dayanımı 59.595) elde edilmektedir. En düşük eğilme modülü ve en düşük maksimum eğilme dayanımı çelik kalıpta birinci ortamda (eğilme modülü 1823MPa, maksimum eğilme dayanımı 49.95MPa), elde edilmiştir



Şekil 5.17 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında eğilme modüllerinde oluşan farklılıklar.



Şekil 5.18 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında maksimum eğilme dayanımlarında oluşan farklılıklar.



Şekil 5.19 ABS Numunelerin değişik kalıp ve parametreler altında izod darbe dayanımlarında oluşan farklılıklar.

Şekil 5.19 Izod darbe dayanımına göre en yüksek darbe dayanımı Çelik kalıpta altıncı ortamda (0.64J), en düşük darbe dayanımı ise çelik kalıpta birinci ortamda (0.56J) elde edilmektedir.

## 5.6 ABS Numuneler İçin S/N Oranı

Sinyal / Gürültü oranlarını hesaplama yöntemini PP numuneler için anlatılmıştı. ABS numuneler içinde aynı hesaplamalar kullanılmıştır.

Tablo 5.29'dan Tablo 5.32'ye kadar her ortam için ilgili ölçüm değerinin sinyal gürültü faktörü verilmektedir.

Tablo 5.29 ABS numunelerin Elastik modül ve Akma sınırı için S/N oranları.

| Deney No | Elastisite Modülü(MPa) |      | S/N Oranı |    |  |   | Akma Sınırı(Mpa) |       | S/N Oranı |    |
|----------|------------------------|------|-----------|----|--|---|------------------|-------|-----------|----|
|          | Al                     | St   | Al        | St |  |   | Al               | St    | Al        | St |
| 1        | 2746                   | 2782 | 69        | 69 |  | 1 | 34.38            | 39.09 | 31        | 32 |
| 2        | 2595                   | 2679 | 68        | 69 |  | 2 | 41.02            | 40.00 | 32        | 32 |
| 3        | 2548                   | 2621 | 68        | 68 |  | 3 | 41.03            | 39.24 | 32        | 32 |
| 4        | 2620                   | 2458 | 68        | 68 |  | 4 | 40.42            | 39.64 | 32        | 32 |
| 5        | 2772                   | 2502 | 69        | 68 |  | 5 | 40.27            | 38.12 | 32        | 32 |
| 6        | 2564                   | 2368 | 68        | 67 |  | 6 | 40.08            | 38.06 | 32        | 32 |
| 7        | 2411                   | 1870 | 68        | 65 |  | 7 | 39.59            | 36.75 | 32        | 31 |
| 8        | 2831                   | 2217 | 69        | 67 |  | 8 | 38.99            | 36.37 | 32        | 31 |
| 9        | 2621                   | 2128 | 68        | 67 |  | 9 | 38.58            | 36.48 | 32        | 31 |

Tablo 5.30 ABS numunelerin akmada yüzde uzama ve kopmada yüzdeuzama için S/N oranları.

| Deney No | Akmada yüzde uzama (mm/mm) |         | S/N Oranı |     |  |   | Kopmada Yüzde Uzama (mm/mm) |         | S/N Oranı |     |
|----------|----------------------------|---------|-----------|-----|--|---|-----------------------------|---------|-----------|-----|
|          | Al                         | St      | Al        | St  |  |   | Al                          | St      | Al        | St  |
| 1        | 0.03445                    | 0.02963 | -29       | -31 |  | 1 | 0.15599                     | 0.03016 | -16       | -30 |
| 2        | 0.03434                    | 0.03132 | -29       | -30 |  | 2 | 0.17153                     | 0.04258 | -15       | -27 |
| 3        | 0.03380                    | 0.03012 | -29       | -30 |  | 3 | 0.19370                     | 0.05846 | -14       | -25 |
| 4        | 0.03094                    | 0.03155 | -30       | -30 |  | 4 | 0.07041                     | 0.09336 | -23       | -21 |
| 5        | 0.03088                    | 0.03171 | -30       | -30 |  | 5 | 0.07538                     | 0.06136 | -22       | -24 |
| 6        | 0.03203                    | 0.03160 | -30       | -30 |  | 6 | 0.18574                     | 0.07799 | -15       | -22 |
| 7        | 0.03235                    | 0.03167 | -30       | -30 |  | 7 | 0.09773                     | 0.31779 | -20       | -10 |
| 8        | 0.03187                    | 0.03037 | -30       | -30 |  | 8 | 0.09520                     | 0.06472 | -20       | -24 |
| 9        | 0.03132                    | 0.03110 | -30       | -30 |  | 9 | 0.20044                     | 0.06875 | -14       | -23 |

Tablo 5.31 ABS numunelerin eğme modülü ve maksimum eğilme dayanımı için S/N oranları.

| Deney No | Eğme Modülü (MPa) |      | S/N Oranı |    |  |   | Maksimum Eğilme Dayanımı (MPa) |       | S/N Oranı |    |
|----------|-------------------|------|-----------|----|--|---|--------------------------------|-------|-----------|----|
|          | Al                | St   | Al        | St |  |   | Al                             | St    | Al        | St |
| 1        | 2252              | 1823 | 67        | 65 |  | 1 | 64.50                          | 49.95 | 36        | 34 |
| 2        | 2276              | 1885 | 67        | 66 |  | 2 | 61.77                          | 50.76 | 36        | 34 |
| 3        | 2273              | 2098 | 67        | 66 |  | 3 | 58.74                          | 54.71 | 35        | 35 |
| 4        | 2141              | 2158 | 67        | 67 |  | 4 | 54.59                          | 57.16 | 35        | 35 |
| 5        | 2154              | 1903 | 67        | 66 |  | 5 | 53.46                          | 52.63 | 35        | 34 |
| 6        | 2160              | 1970 | 67        | 66 |  | 6 | 53.24                          | 53.00 | 35        | 34 |
| 7        | 1984              | 2122 | 66        | 67 |  | 7 | 49.20                          | 53.58 | 34        | 35 |
| 8        | 1926              | 2375 | 66        | 68 |  | 8 | 52.10                          | 59.60 | 34        | 36 |
| 9        | 1935              | 1844 | 66        | 65 |  | 9 | 53.38                          | 51.68 | 35        | 34 |

Tablo 5.32 ABS numunelerin Izod çentik dayanımı için S/N oranları.

| Deney No | Izod Çentik dayanımı (J) |       | S/N Oranı |    |
|----------|--------------------------|-------|-----------|----|
|          | Al                       | St    | Al        | St |
| 1        | 0.683                    | 0.564 | -3        | -5 |
| 2        | 0.640                    | 0.571 | -4        | -5 |
| 3        | 0.698                    | 0.593 | -3        | -5 |
| 4        | 0.677                    | 0.641 | -3        | -4 |
| 5        | 0.654                    | 0.586 | -4        | -5 |
| 6        | 0.651                    | 0.601 | -4        | -4 |
| 7        | 0.643                    | 0.720 | -4        | -3 |
| 8        | 0.643                    | 0.710 | -4        | -3 |
| 9        | 0.659                    | 0.592 | -4        | -5 |

Bir sonraki aşamada ise her faktörün her seviyedeki etkisinin ayrıştırılması gerekir. Bunun için Tablolar 5.29 - 32'de hesaplanan sinyal/gürültü oranlarının ortalaması her faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı alınır.

En büyük sinyal gürültü oranı en iyi faktör seviyesini verdiği daha önce vurgulanmıştı

## 5.7 ABS Numuneler İçin Varyans Analizi (ANOVA)

Tablo 5.33'te görüleceği üzere alüminyum kalıpta elastik modülü eriyik sıcaklığı hariç diğer faktörler etkilemektedir. Çelik kalıpta ise eriyik sıcaklığı elastik modülü %85 etkilemektedir.

Tablo 5.33 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, elastiklik modülü).

| Ortalama S/N       | 68.40               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 68.39                  | 68.47    | 68.35    | 0.02              | 0.01                       | 1.40          |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 68.26                  | 68.72    | 68.22    | 0.47              | 0.23                       | 31.88         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 68.66                  | 68.34    | 68.21    | 0.33              | 0.16                       | 22.50         |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 68.67                  | 68.04    | 68.51    | 0.65              | 0.32                       | 44.21         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.46              |                            | 100.00        |

Tablo 5.34 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, elastiklik modülü).

| Ortalama S/N       | 67.55               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 68.60                  | 67.76    | 66.30    | 8.13              | 4.07                       | 84.90         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 67.38                  | 67.81    | 67.47    | 0.31              | 0.16                       | 3.28          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 67.76                  | 67.64    | 67.26    | 0.42              | 0.21                       | 4.37          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 67.80                  | 67.16    | 67.70    | 0.71              | 0.36                       | 7.45          |
| Hata               | 83                  |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             |                     |                        |          |          | 9.58              |                            | 100.00        |

Çelik kalıpta üretilen numunelerin diğer mekanik özelliklerini de en fazla eriyik sıcaklığı etkilemektedir.Çelik kalıpta eriyik sıcaklığı Akma sınırını %87 (tablo 4.36), akmada

yüzde uzamasını %50 (Tablo 5.38), kopmada yüzde uzamasını %43 (tablo 5.40), darbe dayanımını %55 (tablo 5.46) etkilemektedir.

Eğilme modülünü ve maksimum eğilme dayanımı özelliklerinde ise eriyik sıcaklığı baskın rol oynamamakta. Eğilme modülü ve maksimum eğilme dayanımında tutma basıncı (eğilme modülünü %73, Tablo 5.42, maksimum eğilme dayanımını %74, tablo 5.44) belirleyici değişkendir.

Alüminyum kalıptan elde edilen numunelerde ise tüm faktörler akma sınırını etkilemektedir (Tablo 5.35). Akmada yüzde uzama miktarını ise en fazla %89 ile eriyik sıcaklığı etkilemektedir (Tablo 5.37).

Tablo 5.35 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, Akma Sınırı).

| Ortalama S/N       | 31.89               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 31.75                  | 32.10    | 31.83    | 0.20              | 0.10                       | 11.00         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 31.60                  | 32.06    | 32.02    | 0.38              | 0.19                       | 21.15         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 31.53                  | 32.04    | 32.10    | 0.58              | 0.29                       | 32.53         |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 31.52                  | 32.09    | 32.07    | 0.63              | 0.32                       | 35.32         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.80              |                            | 100.00        |

Tablo 5.36 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, Akma Sınırı).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Ortalama S/N       | 31.64               |                        |          |          |                   |                            |               |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 31.92                  | 31.73    | 31.25    | 0.71              | 0.35                       | 86.78         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 31.70                  | 31.63    | 31.58    | 0.02              | 0.01                       | 3.06          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 31.56                  | 31.75    | 31.60    | 0.06              | 0.03                       | 7.53          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 31.57                  | 31.65    | 31.68    | 0.02              | 0.01                       | 2.64          |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.81              |                            | 100.00        |

Tablo 5.37 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, akmada yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Ortalama S/N       | -29.78              |                        |          |          |                   |                            |               |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -29.32                 | -30.09   | -29.94   | 1.01              | 0.50                       | 89.39         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -29.75                 | -29.81   | -29.80   | 0.01              | 0.00                       | 0.53          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -29.69                 | -29.85   | -29.81   | 0.04              | 0.02                       | 3.65          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -29.85                 | -29.66   | -29.85   | 0.07              | 0.04                       | 6.43          |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.13              |                            | 100.00        |

Tablo 5.38 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, akmada yüzde uzama).

|                    |                     |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Ortalama S/N       | -30.17              |                        |          |          |                   |                            |               |
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -30.36                 | -30.00   | -30.16   | 0.19              | 0.10                       | 50.05         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -30.19                 | -30.14   | -30.19   | 0.01              | 0.00                       | 1.51          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -30.31                 | -30.08   | -30.13   | 0.08              | 0.04                       | 22.08         |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -30.23                 | -30.03   | -30.27   | 0.10              | 0.05                       | 26.35         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.38              |                            | 100.00        |

Alüminyum kalıptan elde edilen numunelerin sünekliğin de belirleyici rol oynayan parametreler eriyik sıcaklığı (%33, Tablo 5.39) ve tutma basıncıdır (%52, Tablo 5.39). Çelik kalıpta kopmada yüzde uzamaya eriyik sıcaklığı (%43, Tablo 5.40), soğutma süresi (%21, Tablo 5.40) ve enjeksiyon basıncı(%22, Tablo 5.40) etkileyen parametrelerdir.

Tablo 5.39 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, kopmada yüzde uzama).

| Ortalama S/N       | -17.82              |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -15.24                 | -20.04   | -18.20   | 35.25             | 17.62                      | 32.58         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -19.79                 | -19.40   | -14.28   | 56.77             | 28.39                      | 52.48         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -17.06                 | -17.44   | -18.97   | 6.13              | 3.06                       | 5.66          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -17.52                 | -16.71   | -19.24   | 10.04             | 5.02                       | 9.28          |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 108.19            |                            | 100.00        |

Tablo 5.40 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik Kalıp, kopmada yüzde uzama).

| Ortalama S/N       | -22.94              |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -27.50                 | -22.33   | -19.00   | 110.05            | 55.02                      | 42.99         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -20.32                 | -25.15   | -23.36   | 35.68             | 17.84                      | 13.94         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -25.45                 | -23.76   | -19.62   | 53.95             | 26.98                      | 21.08         |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -25.97                 | -19.84   | -23.01   | 56.31             | 28.15                      | 22.00         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 255.99            |                            | 100.00        |

Anova analizine göre alüminyum kalıptan elde edilen numunelerin eğilme dayanımına sadece eriyik sıcaklığı etki etmektedir (%98, Tablo 5.41). Aynı durum maksimum eğilme dayanımı içinde geçerlidir(%86, Tablo 5.43). Çelik kalıpta elde edilen numunelerin eğilme modüllerine en fazla etkileyen parametre %73 ile enjeksiyon basıncıdır. Maksimum eğilme dayanımını da en fazla enjeksiyon basıncı etkilemektedir (%74).

Tablo 5.41 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum kalıp, eğilme modülü).

| Ortalama S/N       | 66.52               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 67.11                  | 66.66    | 65.79    | 2.68              | 1.34                       | 98.29         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 66.54                  | 66.50    | 66.52    | 0.00              | 0.00                       | 0.08          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 66.48                  | 66.50    | 66.58    | 0.02              | 0.01                       | 0.69          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 66.48                  | 66.60    | 66.48    | 0.03              | 0.01                       | 0.95          |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 2.73              |                            | 100.00        |

Tablo 5.42 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, eğilme modülü).

| Ortalama S/N       | 66.08               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 65.72                  | 66.05    | 66.46    | 0.82              | 0.41                       | 17.41         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 66.14                  | 66.20    | 65.88    | 0.18              | 0.09                       | 3.76          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 66.21                  | 65.84    | 66.19    | 0.26              | 0.13                       | 5.57          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 65.37                  | 65.98    | 66.88    | 3.44              | 1.72                       | 73.26         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 4.69              |                            | 100.00        |

Tablo 5.43 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Maksimum eğilme dayanımı).

| Ortalama S/N       | 34.88               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 35.79                  | 34.61    | 34.24    | 3.96              | 1.98                       | 86.39         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 34.92                  | 34.90    | 34.82    | 0.02              | 0.01                       | 0.43          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 35.02                  | 35.03    | 34.59    | 0.38              | 0.19                       | 8.22          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 35.10                  | 34.73    | 34.82    | 0.23              | 0.11                       | 4.96          |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 4.58              |                            | 100.00        |

Tablo 5.44 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, maksimum eğilme dayanımı).

| Ortalama S/N       | 34.58               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | 34.28                  | 34.68    | 34.78    | 0.42              | 0.21                       | 22.06         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | 34.56                  | 34.68    | 34.50    | 0.05              | 0.02                       | 2.47          |
| Soğutma Süresi     | 2                   | 34.65                  | 34.51    | 34.59    | 0.03              | 0.02                       | 1.70          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | 34.22                  | 34.39    | 35.14    | 1.42              | 0.71                       | 73.77         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 1.93              |                            | 100.00        |

Tablo 5.45 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Alüminyum Kalıp, Izod darbe dayanımı).

| Ortalama S/N       | -3.60               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -3.44                  | -3.60    | -3.77    | 0.16              | 0.08                       | 28.74         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -3.51                  | -3.80    | -3.49    | 0.18              | 0.09                       | 32.00         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -3.63                  | -3.63    | -3.55    | 0.01              | 0.01                       | 2.33          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -3.54                  | -3.81    | -3.45    | 0.21              | 0.10                       | 36.93         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| Toplam             | 9                   |                        |          |          | 0.57              |                            | 100.00        |

Tablo 5.46 Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımına göre ANOVA tablosu (Çelik kalıp, izod darbe dayanımı).

| Ortalama S/N       | -4.19               |                        |          |          |                   |                            |               |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
|                    | Serbestlik Derecesi | Ortalama S/N Değerleri |          |          | Karelerin Toplamı | Ortalama Karelerin Toplamı | Faktör Etkisi |
|                    |                     | Seviye 1               | Seviye 2 | Seviye 3 |                   |                            |               |
| Eriyik Sıcaklığı   | 2                   | -4.79                  | -4.31    | -3.46    | 2.73              | 1.37                       | 55.13         |
| Tutma Basıncı      | 2                   | -3.90                  | -4.16    | -4.50    | 0.55              | 0.28                       | 11.19         |
| Soğutma Süresi     | 2                   | -4.13                  | -4.43    | -4.01    | 0.28              | 0.14                       | 5.73          |
| Enjeksiyon Basıncı | 2                   | -4.72                  | -4.05    | -3.79    | 1.39              | 0.69                       | 27.95         |
| Hata               | 1                   |                        |          |          | 0.00              | 0.00                       | 0.00          |
| T Toplam           | 9                   |                        |          |          | 4.96              |                            | 100.00        |

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; Taguchi yöntemi kullanarak farklı kalıp malzemelerinin ve belirlenen enjeksiyon parametrelerinin, kristal ve amorf polimerlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırmak amacıyla deney setleri oluşturuldu.

Çelik, alüminyum ve epoksiden üretilen üç kalıp, PP, ABS olmak üzere 2 plastik malzeme kullanılmıştır. Enjeksiyon parametreleri olarak; eriyik sıcaklığı, tutma basıncı, soğutma süresi, enjeksiyon basıncı seçilmiştir.

Çalışmada mekanik özellikler olarak; elastisite modülü, akma sınırı, akmada yüzde uzama, kopmada yüzde uzama, eğilme modülü, eğilme dayanımı, darbe dayanımı incelendi.

Deneylerden elde edilen sonuçları yorumlamak üzere S/N oranları hesaplandı. S/N değerleri kullanılarak ANOVA analizi yapıldı.

Farklı polimerler ve kalıp malzemelerinden üretilen plastik ürünlerin mekanik özellikleri üstüne farklı enjeksiyon parametrelerinin etkileri olduğu görüldü. Plastik üründen istenilen özelliklere göre enjeksiyon parametreleri ve kalıp malzemesi belirlenmelidir.

Bölüm 5'te S/N oranları ve ANOVA analizi sonuçları her tablonun altında detaylı olarak açıklandı. Farklı polimerler ve kalıp malzemelerinden üretilen plastik ürünlerin mekanik özellikleri üstüne farklı enjeksiyon parametrelerinin etkileri olduğu görüldü. Plastik üründen istenilen özelliklere göre enjeksiyon parametreleri ve kalıp malzemesi seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

ANOVA analizinden elde edilen sonuçlardan bazıları aşağıdaki gibidir;

PP bir parçadan elde edilecek akma gerilmesinin mümkün olduğunca yüksek olması isteniyorsa alüminyum kalıp kullanılmalıdır (Şekil 5.8). Dikkat edilmesi gereken en önemli

parametre eriyik sıcaklığıdır (%74). Diğer parametrelerin etkisi minimum seviyededir. Bu durumda eriyik sıcaklığı 240 °C olmalıdır. Diğer parametrelerin değerleri akma mukavemetini sadece %36 etkilemektedir. Diğer parametreleri de göz önüne alırsak;

- Soğuma süresi %14 etkilemektedir, değeri 22 saniye,
- Enjeksiyon basıncı %6 etki etmektedir, değeri 16 MPa,
- Tutma basıncı %6 etki etmektedir, değeri 16 MPa

olarak belirlenir.

ABS malzeme kullanacak ve en önemli mekanik özellik süneklik ise kullanacağımız kalıp malzeme çelik olmalıdır. Parametrelerimizin etkisi;

- Eriyik sıcaklığı %55,
- Tutma basıncı %18,
- Soğutma süresi %27,
- Enjeksiyon basıncı %28

düzeyindedir. Görüleceği üzere kopmada yüzde uzama değerine üzerinde eriyik sıcaklığı en önemli rol oynamaktadır. Soğutma süresi ile enjeksiyon basıncıda önemli parametrelerden sayılabilir. Optimum ortam şartı ise

- eriyik sıcaklığı 200 °C.
- tutma basıncı 34MPa.
- soğutma süresi 16Sn
- enjeksiyon basıncı 36 MPa

olarak belirlenir.

## 6.2 Öneriler

Yapılan çalışmada epoksi kalıp ile üretilen numunelerin Taguchi ve ANOVA analizi yapılamamıştır. Bunun sebebi epoksi kalıbının soğutma kabiliyetinin iyi sağlanamamasıdır. PP'in 280 °C eriyik sıcaklığındaki numuneleri, ABS'nin 240 ve 280 °C'daki numuneleri üretilmedi. İleride yapılacak bir çalışmanın konusu, epoksi kalıbın soğutma kabiliyetinin iyileştirilmesi üzerine olabilir.

Ayrıca epoksi kalıptan elde edilen numunelerin yüzey kalitesi iyi değildir. Kalıbın işlenmesi esnasındaki kesme hızı, devir sayısı, kesici uç vb. parametreleri incelenip epoksi kalıbın işlenmesi için optimum parametreler belirlenmesi ile ilgili çalışma yapılabilir.

## EK 1 Çalışmada kullanılan Polimerlerin Özellikleri

### PP (Dow 705c)\*

| Properties                                | Units             | Test Method   | Value |
|-------------------------------------------|-------------------|---------------|-------|
| <b>Physical <sup>(1)</sup></b>            |                   |               |       |
| Melt Flow Rate (230 °C, 2.16 kg)          | g/10min           | ISO 1133      | 44    |
| Density                                   | g/cm <sup>3</sup> | ISO 1183      | 0.9   |
| <b>Mechanical <sup>(1,2)</sup></b>        |                   |               |       |
| Flexural Modulus                          | MPa               | ISO 178       | 1450  |
| Tensile Strength at Yield                 | MPa               | ISO 527-2     | 28    |
| Tensile Elongation at Yield               | %                 | ISO 527-2     | 7     |
| <b>Thermal <sup>(1,2)</sup></b>           |                   |               |       |
| HDT B (0.45 MPa)                          | °C                | ISO 75/B      | 100   |
| Vicat Softening Point A (10 N)            | °C                | ISO 306/A     | 152   |
| <b>Impact <sup>(1,2)</sup></b>            |                   |               |       |
| CHARPY (notched) Impact Strength (23 °C)  | kJ/m <sup>2</sup> | ISO 179-1/1eA | 7.0   |
| CHARPY (notched) Impact Strength (0 °C)   | kJ/m <sup>2</sup> | ISO 179-1/1eA | 5.0   |
| CHARPY (notched) Impact Strength (-20 °C) | kJ/m <sup>2</sup> | ISO 179-1/1eA | 4.0   |

### ABS (Strarex ABS-SD-0150)\*

|                                                |            |                 |            |      |
|------------------------------------------------|------------|-----------------|------------|------|
| Physical Properties                            |            |                 |            |      |
| Specific Gravity                               | ASTM D792  | Natural Color   | -          | 1.04 |
| Melt Flow Index                                | ASTM D1238 | 200 C/5Kg       | g/10 min   | 1.8  |
| Mechanical Properties                          |            |                 |            |      |
| Tensile Strength                               | ASTM D638  | 5 mm/min        | Mpa        | 47   |
| Flexural Strength                              | ASTM D790  | 2.8 mm/min      | MPa        | 66   |
| Flexural Modules                               | ASTM D790  | 2.8 mm/min      | MPa        | 2200 |
| Izod Impact Strength                           | ASTM D256  | 1/4 inch        | J/m        | 235  |
|                                                |            | 1/8 inch        | J/m        | 294  |
| Rockwell Hardness                              | ASTM D785  | R - Scale       |            | 107  |
| Thermal Properties                             |            |                 |            |      |
| Heat Deflection Temperature (unannealed), 1/4" | ASTM D648  | 1.8 Mpa         | C          | 190  |
| Vicat Softening Temperature (unanealed)        | ISO R 306  | 8/50            | C          | 212  |
| Flammability                                   |            |                 |            |      |
| UL 94 Classification                           | UL 94      | 1.5 mm specimen | Recognized | HB   |

## EK 2 ÖRNEK ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

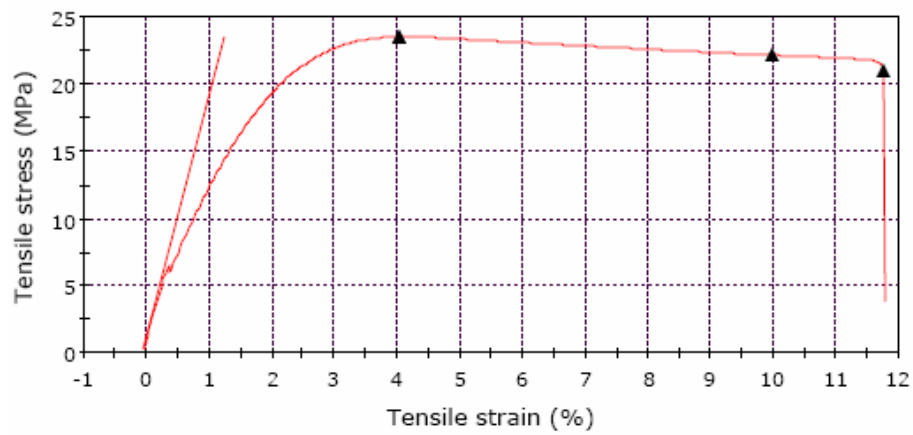
|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Hammadde             | PP        |
| Kalıp Malzemesi      | Alüminyum |
| Eriyik sıcaklığı     | 200 °C    |
| Tutma basıncı        | 18 MPa    |
| Soğutma süresi       | 22 Sn     |
| Enjeksiyon sıcaklığı | 22 MPa    |

|   | Modulus (Young's<br>Tensile stress 0.0005<br>mm/mm - 0.0025<br>mm/mm)<br>(MPa) | Tensile stress at Preset<br>Point (Average strain<br>10 %)<br>(MPa) | Tensile stress at Yield<br>(Zero Slope)<br>(MPa) | Tensile strain at Yield<br>(Zero Slope)<br>(mm/mm) |
|---|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | > 1836.39852                                                                   | 22.20308                                                            | 23.55700                                         | 0.04047                                            |
| 2 | > 1714.10636                                                                   | 21.98650                                                            | 23.32200                                         | 0.04247                                            |
| 3 | > 1938.87318                                                                   | 22.15770                                                            | 23.51000                                         | 0.04204                                            |

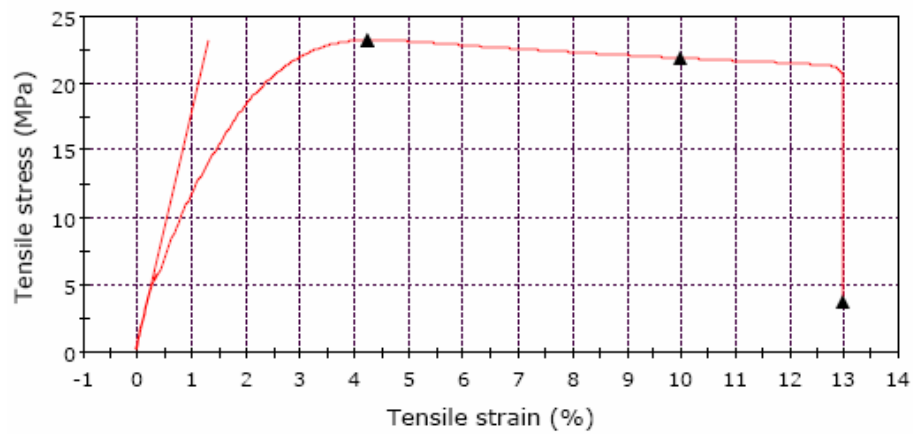
|   | Load at Yield (Zero<br>Slope)<br>(N) | Maximum Tensile stress<br>(MPa) | Tensile strain at<br>Maximum Tensile stress<br>(mm/mm) | Load at Maximum<br>Tensile stress<br>(N) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 942.27999                            | 23.55700                        | 0.04047                                                | 942.27999                                |
| 2 | 932.87997                            | 23.32200                        | 0.04247                                                | 932.87997                                |
| 3 | 940.39999                            | 23.51000                        | 0.04204                                                | 940.39999                                |

|   | Tensile stress at Break<br>(Standard)<br>(MPa) | Load at Break<br>(Standard)<br>(N) | Tensile strain at Break<br>(Standard)<br>(mm/mm) |
|---|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | 21.08050                                       | 843.21998                          | 0.11788                                          |
| 2 | 3.75825                                        | 150.33000                          | 0.13015                                          |
| 3 | 18.62400                                       | 744.96001                          | 0.11834                                          |

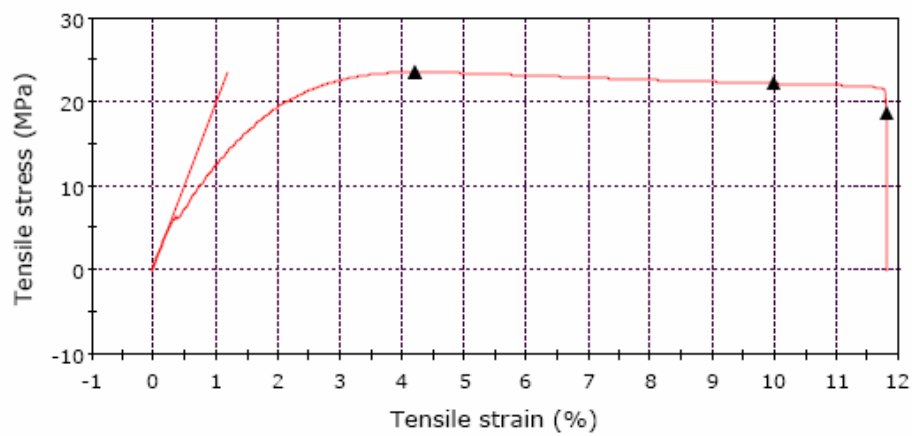
Specimen 1 to 1



Specimen 2 to 2



Specimen 3 to 3



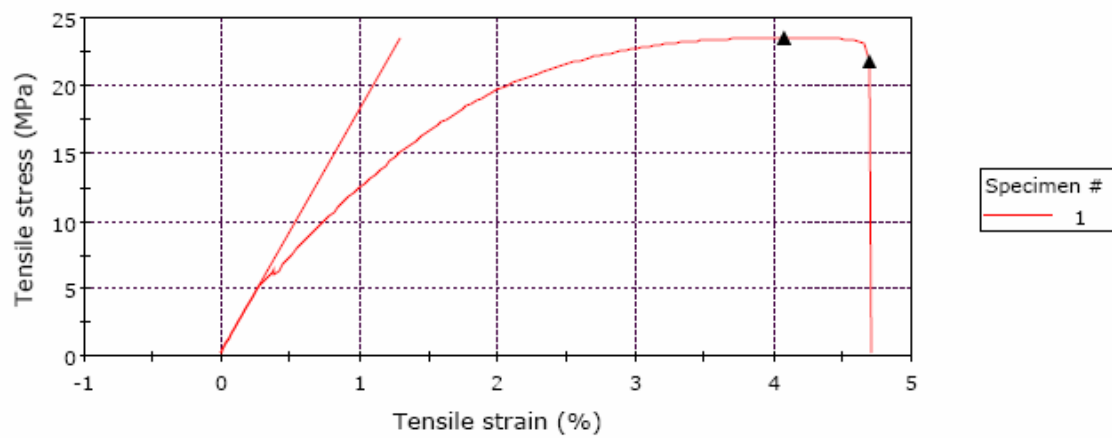
Hammadde PP  
 Kalıp Malzemesi Çelik  
 Eriyik sıcaklığı 200 °C  
 Tutma basıncı 18 MPa  
 Soğutma süresi 22 Sn  
 Enjeksiyon sıcaklığı 22 MPa

|   | Modulus (Young's<br>Tensile stress 0.0005<br>mm/mm - 0.0025<br>mm/mm)<br>(MPa) | Tensile stress at Preset<br>Point (Average strain<br>10 %)<br>(MPa) | Tensile stress at Yield<br>(Zero Slope)<br>(MPa) | Tensile strain at Yield<br>(Zero Slope)<br>(mm/mm) |
|---|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | > 1788.07176                                                                   | -----                                                               | 23.61725                                         | 0.04079                                            |
| 2 | > 1817.60424                                                                   | -----                                                               | 23.95950                                         | 0.04211                                            |
| 3 | > 2279.57216                                                                   | -----                                                               | 23.97650                                         | 0.04178                                            |

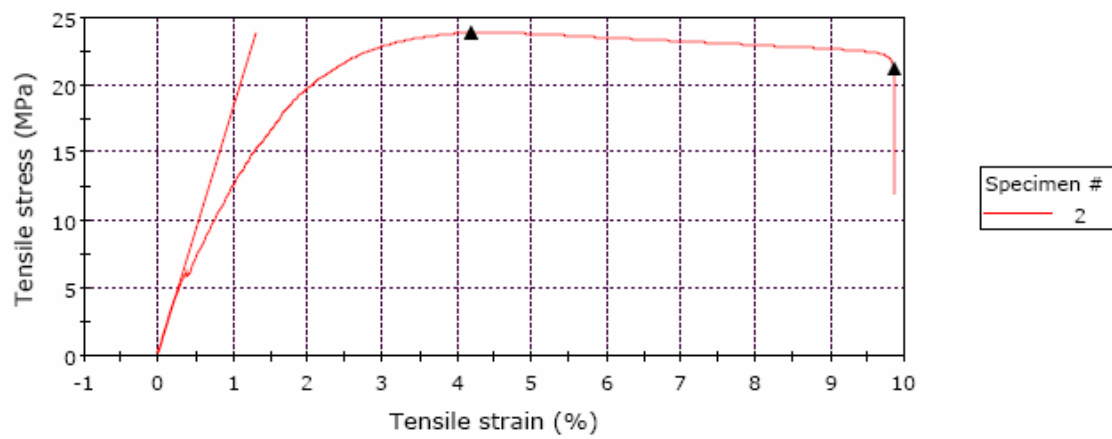
|   | Load at Yield (Zero<br>Slope)<br>(N) | Maximum Tensile stress<br>(MPa) | Tensile strain at<br>Maximum Tensile stress<br>(mm/mm) | Load at Maximum<br>Tensile stress<br>(N) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 944.69003                            | 23.61725                        | 0.04079                                                | 944.69003                                |
| 2 | 958.38003                            | 23.95950                        | 0.04211                                                | 958.38003                                |
| 3 | 959.05997                            | 23.97650                        | 0.04178                                                | 959.05997                                |

|   | Tensile stress at Break<br>(Standard)<br>(MPa) | Load at Break<br>(Standard)<br>(N) | Tensile strain at Break<br>(Standard)<br>(mm/mm) |
|---|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | 21.89925                                       | 875.96998                          | 0.04708                                          |
| 2 | 21.38925                                       | 855.56999                          | 0.09877                                          |
| 3 | 19.11400                                       | 764.56003                          | 0.09362                                          |

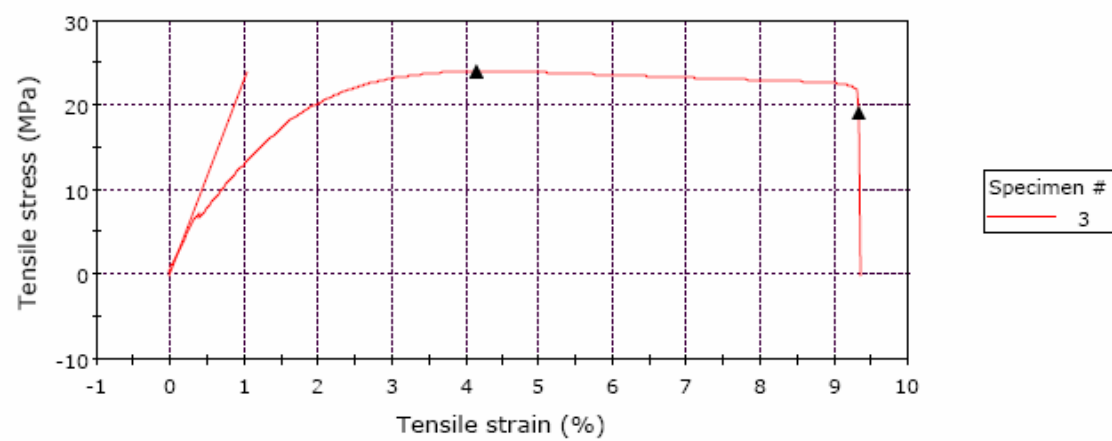
Specimen 1 to 1



Specimen 2 to 2



Specimen 3 to 3



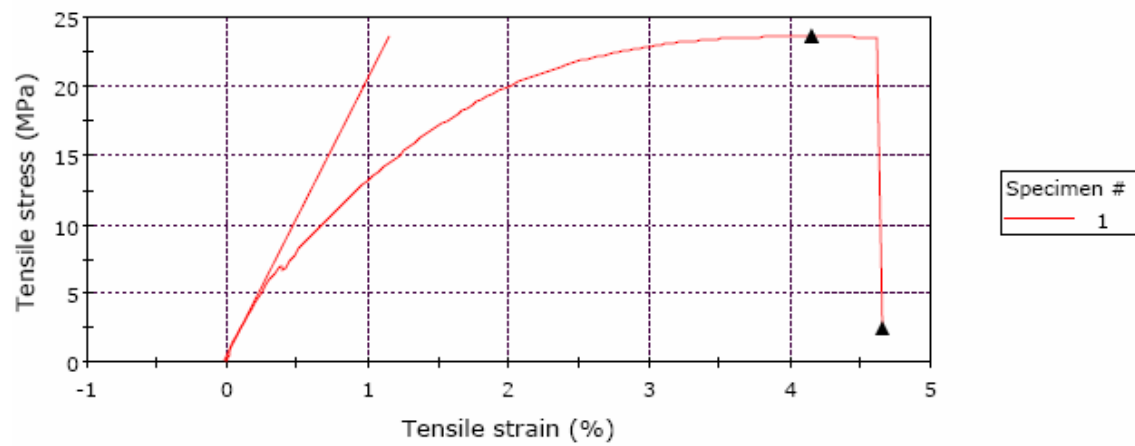
Hammadde PP  
 Kalıp Malzemesi Epoksi  
 Eriyik sıcaklığı 200 °C  
 Tutma basıncı 18 MPa  
 Soğutma süresi 22 Sn  
 Enjeksiyon sıcaklığı 22 MPa

|   | Modulus (Young's<br>Tensile stress 0.0005<br>mm/mm - 0.0025<br>mm/mm)<br>(MPa) | Tensile stress at Preset<br>Point (Average strain<br>10 %)<br>(MPa) | Tensile stress at Yield<br>(Zero Slope)<br>(MPa) | Tensile strain at Yield<br>(Zero Slope)<br>(mm/mm) |
|---|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | > 2003.34246                                                                   | -----                                                               | 23.67775                                         | 0.04155                                            |
| 2 | > 2033.21421                                                                   | -----                                                               | 23.66425                                         | 0.04013                                            |
| 3 | > 1854.33250                                                                   | -----                                                               | 23.62400                                         | 0.03966                                            |

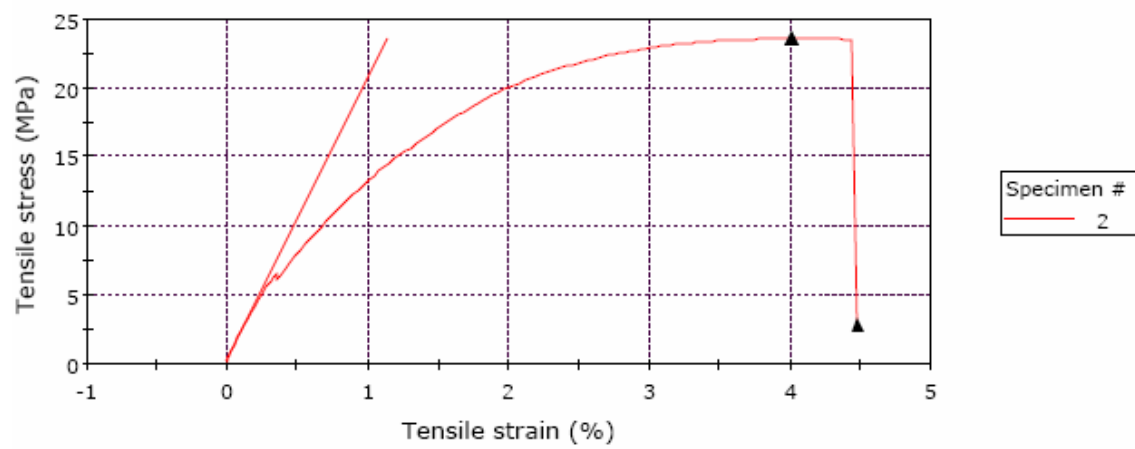
|   | Load at Yield (Zero<br>Slope)<br>(N) | Maximum Tensile stress<br>(MPa) | Tensile strain at<br>Maximum Tensile stress<br>(mm/mm) | Load at Maximum<br>Tensile stress<br>(N) |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 947.10998                            | 23.67775                        | 0.04155                                                | 947.10998                                |
| 2 | 946.56996                            | 23.66425                        | 0.04013                                                | 946.56996                                |
| 3 | 944.95997                            | 23.62400                        | 0.03966                                                | 944.95997                                |

|   | Tensile stress at Break<br>(Standard)<br>(MPa) | Load at Break<br>(Standard)<br>(N) | Tensile strain at Break<br>(Standard)<br>(mm/mm) |
|---|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | 2.48975                                        | 99.59000                           | 0.04664                                          |
| 2 | 2.85225                                        | 114.09000                          | 0.04485                                          |
| 3 | 23.24150                                       | 929.65998                          | 0.05040                                          |

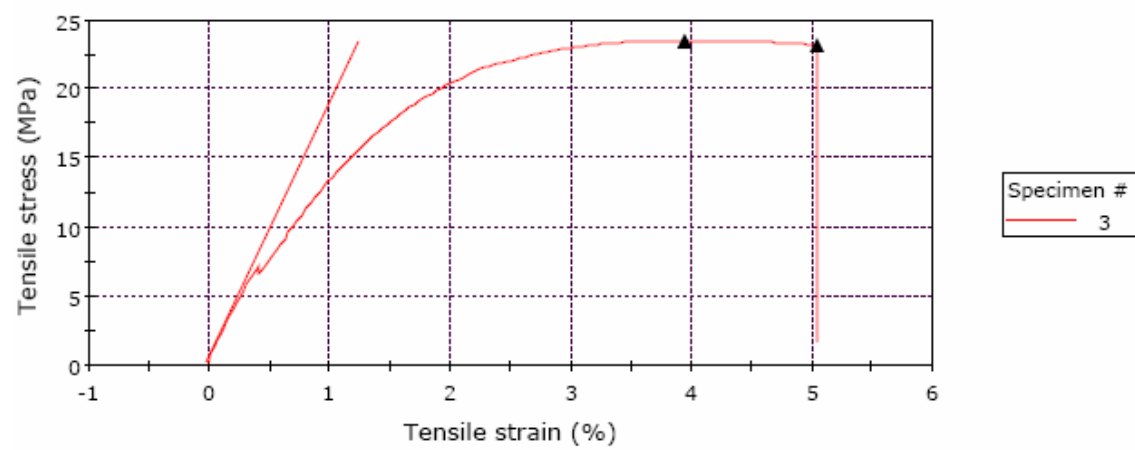
Specimen 1 to 1



Specimen 2 to 2



Specimen 3 to 3



### EK 3: MIR Enjeksiyon Makinesinin Teknik Verileri

|                                                                                     | MACHINE TYPE                            |                      | RMP 60           |                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                     | EUROMAP CLASSIFICATIONS                 |                      | 637              | H/                                                                                    | 350        |
|                                                                                     |                                         |                      |                  |                                                                                       |            |
| INJECTION UNIT                                                                      | Screw diameter                          | mm                   | 38               | 45                                                                                    | 50         |
|                                                                                     | L/D ratio                               | n                    | 21               | 18,5                                                                                  | 17         |
|                                                                                     | Theoretical injection capacity          | cm <sup>3</sup>      | 170              | 238                                                                                   | 294        |
|                                                                                     | Max polystyrene shot volume             | gr                   | 150              | 210                                                                                   | 255        |
|                                                                                     | Injection rate                          | cm <sup>3</sup> /sec | 110              | 150                                                                                   | 185        |
|                                                                                     | Injection rate with accumulator         | cm <sup>3</sup> /sec | ---              | ---                                                                                   | ---        |
|                                                                                     | Specific injection pressure             | bar                  | 2070             | 1480                                                                                  | 1200       |
|                                                                                     | Plasticating rate per hour              | kg/h                 | 70               | 80                                                                                    | 100        |
|                                                                                     | Screw stroke                            | mm                   | 150              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Screw RPM                               | n/1'                 | 300              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Motor power screw                       | HP                   | 20               |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Electric motor power screw              | KW                   | ---              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Torque                                  | Nm                   | 620              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Cylinder heating power                  | KW                   | 10,5             |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Max nozzle heating power                | KW                   | 0,3              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Temperature control zones               | n                    | 3+1              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Approaching carriage force              | KN                   | 46               |                                                                                       |            |
| CLAMP UNIT                                                                          | Hopper capacity                         | dm <sup>3</sup>      | 45               |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Mould closing force                     | KN                   | 637              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Mould opening force                     | KN                   | 38               |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Moving platen stroke                    | mm                   | 320              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Max daylight between platens            | mm                   | 640              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Mould height min-max                    | mm                   | 100              | -                                                                                     | 320        |
|                                                                                     | Platen dimensions                       | mm                   | 495              | x                                                                                     | 495        |
|                                                                                     | Distance between strain                 | mm                   | 320              | x                                                                                     | 320        |
|                                                                                     | Tie rod diameter                        | mm                   | 55               |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Hydraulic ejection power                | KN                   | 27,8             |                                                                                       |            |
|                                                                                     | hydraulic ejection stroke               | mm                   | 115              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Max moulding surface                    | cm <sup>2</sup>      | 240              |                                                                                       |            |
| GENERAL DATA                                                                        | Pump motor power                        | KW                   | 15               |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Max power                               | KW                   | 22,5             |                                                                                       |            |
|                                                                                     | AVERAGE ABSORBED POWER                  | KW/h                 | 12 (7.8)         |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Hydraulic system pressure               | bar                  | 140              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Water consump. Water temp. At 20°C      | m <sup>3</sup> /h    | 0,5              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | oling Requir. For mac And mould cooling | Frig./h              | 6400/2200        |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Total weight                            | kg                   | 3600             |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Oil tank capacity                       | dm <sup>3</sup>      | 200              |                                                                                       |            |
|                                                                                     | Machine size                            | mt                   | 4,483x1,097x1,79 |                                                                                       |            |
|                                                                                     |                                         |                      |                  |                                                                                       |            |
|  | DENOMINAZIONE:<br>Specifications        | Dis.N.:              | 00001-1514       | DATA:                                                                                 | 06/08/2002 |
|                                                                                     | FIRMA:                                  | FIRMA CLIENTE:       |                  | Disegnato:                                                                            | LENI       |
|                                                                                     |                                         |                      |                  |  |            |

## EK 4 Anova Analizi Toplu Gösterimi

|     |                          |    | Faktörlerin % Etkisi |               |                |                    |
|-----|--------------------------|----|----------------------|---------------|----------------|--------------------|
|     |                          |    | Eriyik Sıcaklığı     | Tutma Basıncı | Soğutma Süresi | Enjeksiyon Basıncı |
| PP  | Elastik Modül            | Al | 32.95                | 4.74          | 47.86          | 14.46              |
|     |                          | St | 24.58                | 21.16         | 24.93          | 29.33              |
|     | Akma Sınırı              | Al | 73.92                | 5.56          | 14.13          | 6.39               |
|     |                          | St | 34.24                | 39.03         | 26.48          | 0.25               |
|     | Akmada Yüzde Uzama       | Al | 68.49                | 11.62         | 10.19          | 9.7                |
|     |                          | St | 62.66                | 20            | 9.33           | 8.01               |
|     | Kopmada Yüzde Uzama      | Al | 3.42                 | 25.52         | 15.78          | 55.28              |
|     |                          | St | 10.02                | 11.91         | 39.36          | 38.71              |
|     | Eğilme Modülü            | Al | 15.54                | 13.25         | 32.81          | 38.41              |
|     |                          | St | 30.32                | 31.63         | 8.11           | 29.94              |
|     | Maksimum Eğilme Dayanımı | Al | 7.39                 | 57.48         | 3.17           | 31.96              |
|     |                          | St | 74.28                | 11.63         | 10.7           | 3.39               |
|     | İzod Darbe Dayanımı      | Al | 44.38                | 29.73         | 13.55          | 12.34              |
|     |                          | St | 21.54                | 61.13         | 1.86           | 15.54              |
| ABS | Elastik Modül            | Al | 1.4                  | 31.88         | 22.5           | 44.21              |
|     |                          | St | 84.9                 | 3.28          | 3.37           | 7.45               |
|     | Akma Sınırı              | Al | 11                   | 21.15         | 32.53          | 35.32              |
|     |                          | St | 86.78                | 3.06          | 7.53           | 2.64               |
|     | Akmada Yüzde Uzama       | Al | 89.39                | 0.53          | 3.65           | 6.43               |
|     |                          | St | 50.05                | 1.51          | 22.08          | 26.35              |
|     | Kopmada Yüzde Uzama      | Al | 32.58                | 52.48         | 5.66           | 9.28               |
|     |                          | St | 42.99                | 13.94         | 21.08          | 22                 |
|     | Eğilme Modülü            | Al | 98.29                | 0.08          | 0.69           | 0.95               |
|     |                          | St | 17.41                | 3.76          | 5.57           | 73.26              |
|     | Maksimum Eğilme Dayanımı | Al | 86.39                | 0.43          | 8.22           | 4.96               |
|     |                          | St | 22.06                | 2.47          | 1.7            | 73.77              |
|     | İzod Darbe Dayanımı      | Al | 28.74                | 32            | 2.33           | 36.93              |
|     |                          | St | 55.13                | 11.19         | 5.73           | 27.95              |

## KAYNAKLAR

1. Altan, M., 2007, “Plastik enjeksiyonda geri dönüşümlü malzeme katkısı ile işlem parametrelerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
2. Akkurt., S., 1991, “Plastik Malzeme Bilgisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
3. Avelar-Batista, J.C., Spain, E., Letch, M., Housden, J., Beechey, R., 2006, “Improvements on the wear resistance of high thermal conductivity Cu alloys using an electroless Ni-P coating prior to PVD deposition”, Surface & Coatings Technology 201 (2006) 4052–4057.
4. Au, K.M., Yu, K.M., 2006, “A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding”, , Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-006-0628-x.
5. Çapan, L., 2003, “Metallere plastik şekil verme”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
6. Dimla, D.E., Camilotto, M., Miani, F., 2005, “Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools”, Journal of Materials Processing Technology, 164–165 (2005) 1294–1300.
7. Erzurumlu, T., Özçelik, B., 2005, “Minimization of warpage and sink index in injection molding thermoplastic part using taguchi optimization method”, materials and design, 27 (2006) 853-861.
8. Ferreira, J.C., Mateus, A., 2003, “Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding”, , Journal of Materials Processing Technology 142 (2003) 508–516.
9. Kovacs, J.G., 2006, “Construction of Pre-Deformed Shapes for Rapid Tooling in Injection Molding”, Macromol. Symp. 2006, 239, 259–265.
10. Kaluç E., 1996, “Plastik teknolojisi ders notları”.
11. Kenig, S., Ben-David, A., Omer, M., Sadeh, A., 2002, “Control of properties in injection molding by neural Networks”, Engineering Applications of Artificial Intelligence 14 (2001) 819–823.

12. Kurt, Ü., Önbilgin, G., “Eksenel akıllı sürekli mıknatıslı senkron makine tasarımında taguchi yönteminin kullanılması”, On dokuz Mayıs üniversitesi, 55159.
13. Li, C.L., Li, C.G., Mok, A.C.K., 2004, “Automatic layout design of plastic injection mould cooling system”, *Computer Aided Design* 37 (2005) 645–662.
14. Li, Z., Narh, K.A., 2000, “Experimental determination and numerical prediction of mechanical properties of injection molded self-reinforcing polymer composites”, *Composites Part B: Engineering, Part B* 32 (2001) 103–109.
15. Malloy, A, 1994 “Plastic part design for injection molding”, Hanser, New York
16. Nagaoka, T., Ishiaku, U.S., Tomari, T., Hamada, H., Takashima, S., 2005, “Effect of molding parameters on the properties of PP/PP sandwich injection moldings”, *Polymer Testing* 24 (2005) 1062–1070.
17. Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, İ., 2006, “Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part”, *Materials and design*, 28 (2007) 1271–1278.
18. Qiao, H., 2004, “Transient mold cooling analysis using BEM with the time-dependent fundamental solution”, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32 (2005) 315–322.
19. Rahmati, S., Dickens, P., 2006 “Rapid tooling analysis of Stereolithography injection mould tooling”, *international Journal of Machine Tools & Manufacture*.
20. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, m., 2004, “Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans Optimizasyonu”, *İTÜ dergisi, Cilt:3 Sayı:6* 117-128.
21. Sun, Y.F., Lee, K.S., Nee, A.Y.C., 2004, “Design and FEM analysis of the milled groove insert method for cooling of plastic injection moulds”, *Int J Adv Manuf Technol* (2004) 24: 715–726.
22. 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.
23. Tang, S.H., Tan, Y.J., Sapuan, S.M., Sulaiman, S., Ismail, N., Samin, R., 2006, “The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage”, *Journal of Materials Processing Technology* xxx (2006) xxx–xxx.
24. Tomori, T., Melkote, S., Kotnis, M., 2003, “Injection mold performance of machined ceramic filled epoksi tooling boards”, *Journal of Materials Processing Technology* 145 (2004) 126–133.

25. Xu, X., Sachs, E., Allep, S., 2001, "The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling", *Polymer Engineering and Science*, 2001, Yo/. 41, No. 7.
26. Remond, Y., Vedrines, M., 2003, "Measurement of local elastic properties of injection moulded polymer structures by analysis of flexural resonant frequencies. Applications in POM, PA66, filled PA 66", *Polymer Testing* 23 (2004) 267–274.
27. Zdanski, P.S.B., Vaz, M., 2006, "Polymer melt flow in plane channels: Hydrodynamic and thermal boundary layers", *Journal of Materials Processing Technology* 179 (2006) 207–211.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kocaeli İzmit'te doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi İzmit'te bitirdi. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi'nde çift ana dal programına kabul edildi ve Endüstri Mühendisliği Bölümüne başladı. 2005 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı sene Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans programına kabul edildi. 2007 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2005 yılından bu yana Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans çalışması yapmakta ve 2007 yılından bugüne Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.