

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

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA
ÜRÜNDEKİ KAYNAK YERİ HATALARININ
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

MUHAMMET MUSTAFA TOPAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2010

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

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA
ÜRÜNDEKİ KAYNAK YERİ HATALARININ
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

MUHAMMET MUSTAFA TOPAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE

2010



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY FORMU**

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) : DOÇ. DR. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

:

ÜYE

:

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06/03/2009 tarih ve 2009/07 sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen .../.../2010 tarihli Tez Savunma Sınavı neticesinde Yüksek Lisans öğrencisi M. Mustafa TOPAL'ın çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve/...../..... sayılı kararıyla Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA ÜRÜNDEKİ KAYNAK YERİ HATALARININ MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YAZAR ADI: M. MUSTAFA TOPAL

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen parçalarda genellikle karşılaşılan kaynak hattı hatası, kaynak hattında oluşan birleşme açısı ve kaynak hattı uzunluğu yönünden incelenmiştir. Kaynak hattı oluşan bölgede mukavemette bir azalma görülür. Bu hata çeşitli önlemlerle giderilebilir veya etkisi minimize edilebilir.

Mukavemete olan etkilerini araştırmak için kaynak hattı bölgesi, geometride yapılan değişikliklerle farklı açılarla oluşturulmuş ve her farklı açı için farklı enjeksiyon parametreleri denenerek mukavemetteki değişim incelenmiştir.

Kalıptan çıkan ürünler çekme ve darbe deneylerinde kullanılacak standart geometrik ölçülerde su jeti ile kesilmiştir. Böylece ürün üzerinde oluşabilecek ısıl gerilmeler ve yanmalar önlenmiştir.

Elde edilen deney numuneleri, çekme ve darbe test cihazları ile deneye tabi tutularak, elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca Moldflow Insight programında akış analizleri farklı enjeksiyon şartlarında yapılarak kaynak yeri hatası; kaynak ve karışma hattı açıları yönünden de incelenmiştir.

Üç boyutlu tasarım programı olarak NX I-deas 6, analiz programı olarak Moldflow Insight 6.1 kullanılmıştır.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: THE EFFECTS OF WELDLINE ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF PRODUCT IN PLASTIC INJECTION MOLDINGS

AUTHOR: M. MUSTAFA TOPAL

In this study, welding line defects encountered on plastic injection molding parts are investigated with respect to connection angle at weldline region and weldline length. A decrease in the strength of material is observed in the welding line region. These defects can be completely eliminated or their effects can be minimized.

To investigate its effects on strength, weldline region with changes made to geometry is created with different angles and the change in strength with respect to different angles is investigated by applying various injection parameters.

Products extracted from molds are cut by water-jet in standard geometries that can be used in tensile and impact tests. Thus, thermal stresses and burns that may occur on products are prevented.

The specimens are subjected to experiments by tensile and impact testing equipments. After that, obtained values are compared. In addition, various flow analyses are carried out in different injection conditions. Weldline region defects in the results are investigated in terms of weldline and weldline angles.

NX I-deas 6 and Moldflow Insight 6.1 programs are used respectively for 3D design and analysis.

TEŞEKKÜR

GYTE'deki öğrenim hayatım boyunca çalışmalarında beni destekleyen, tez çalışmamın başından sonuna kadar bana devamlı yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e; çalışmalarım boyunca desteklerini benden esirgemeyen arkadaşım H.İbrahim ERDAĞ'a ve İs-Ke Kalıp çalışanlarına; analiz çalışmalarında MPI programını kullanım imkanı sağlayan Biltim Bilgisayar'dan Abdullah KILIÇ'a, deneysel çalışma ve izod darbe deneyini yapma imkanı sağladıkları için Galsan A.Ş'den Sercan TELLİ'ye; çekme deneyinde, test cihazını kullanmamda yardımcı olduğu için GYTE'den Adem ŞEN'e ve hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme; sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	İV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLER	3
2.1. Plastiklerin Genel Özellikleri	3
2.2. Plastiklerin Sınıflandırılması	3
2.2.1. Termoplastik Plastikler	4
2.2.2. Termoset Plastikler	4
2.3. Plastiklerin İşlenmesi	5
2.3.1. Enjeksiyon Makineleri	5
2.3.2. Plastik Enjeksiyon Yöntemi	6
2.3.2.1. Enjeksiyon Yönteminin Avantajları	6
2.3.2.2. Enjeksiyon Yönteminin Dezavantajları	7
2.3.2.3. Enjeksiyon Çevriminin Aşamaları	7
2.3.3. Enjeksiyon Kalıpları	9
3. PLASTİK ENJEKSİYON ESNASINDA OLUŞAN HATALAR	11
3.1. Baskıdaki Çökme	11
3.2. Yanma İzleri	12
3.3. Nem izleri	12
3.4. Hava izleri	12
3.5. Parlaklık/Farklı Parlaklıklar	13
3.6. Kaynak Hattı	13
3.7. Jetting Etkisi	14
3.8. Gerilim Beyazlaması/Çatlama	14
3.9. Tamamen Dolmamış Baskı	15
3.10. Çapaklı Parça	15
3.11. Görülebilir İtici İzleri	16
3.12. Baskıda Hava Kabarcıkları	16
4. KAYNAK HATTI HATASI	17
4.1. Sınıflandırılması	18

4.2. Önlenmesi	19
4.2.1. Kaynak Hattının Yerini Değiştirmek	20
4.2.2. Kaynak Hattı Kalitesini Artırmak	20
4.2.2.1. Eriyik Sıcaklığı	20
4.2.2.2. Enjeksiyon Basıncı ve Zamanı	21
4.2.2.3. Kalıp Sıcaklığı	21
4.2.2.4. Enjeksiyon Hızı	21
4.2.2.5. Ütöleme Basıncı ve Süresi	22
4.2.2.6. Yolluk Sistem Tasarımı	22
5. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	23
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	27
6.1. Giriş	27
6.1.1. Plastik Malzeme Seçimi	27
6.2. Parça Tasarımı	28
6.3. Kalıp Tasarımı	32
6.4. Parçaların Analizlerinin Yapılması	33
6.4.1. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları	34
6.4.1.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri	34
6.4.1.2. Ütöleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri	39
6.4.2. 30°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları	40
6.4.2.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri	40
6.4.2.2. Ütöleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri	43
6.4.3. 60°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları	44
6.4.3.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri	44
6.4.3.2. Ütöleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri	48
6.5. Çekme Analizinin Yapılması	49
6.6. Enjeksiyon Yöntemiyle Parçaların Üretilmesi	51
6.7. Deney Numunelerinin Elde Edilmesi	52
6.8. Çekme ve Darbe Deneylerinin Yapılması	53
6.9. Çekme Deneyi Sonuçları	56
6.9.1. Eriyik Sıcaklığı Değişimine Göre Çekme Deneyi Sonuçları	56
6.9.2. Ütöleme Basıncı Değişimine Göre Çekme Deneyi Sonuçları	59
6.9.3. Üç Farklı Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması	61

6.10. Darbe Deneyi Sonuçları	62
6.10.1. Eriyik Sıcaklığı Değişimine Göre Darbe Deneyi Sonuçları	62
6.10.2. Ütuleme Basıncı Değişimine Göre Darbe Deneyi Sonuçları	65
6.10.3. Üç Farlı Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
7.1. Sonuçlar	70
7.2. Öneriler	71
EK 1 DENEY YAPILAN PP ÖZELLİKLERİ	72
PP (Dow 765-15NA)	72
EK 2 DENEY YAPILAN MAKİNE ÖZELLİKLERİ	72
Mitsubishi 50 MEt III	72
EK 3 ÇEKME VE DARBE DENEYİ SONUÇLARI	74
KAYNAKLAR	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Enjeksiyon Makinesinin Tanıtımı.	6
2.2. Enjeksiyon Prosesinde Zamana Bağlı Tam Çevrim.	8
2.3. Bir Enjeksiyon Kalıbında Ana ve Yan Fonksiyonlar .	9
3.1 Çökme İzli Parça (Yolluk Girişi Parçanın İnce Kısımında).	11
3.2. Kazılmış Yerlerin Arkasında Oluşan Hava İzi[Topal, 2006].	13
3.3. Kalıp Doldurma, Normal Akışla Plastiğin Ön Kısım ve Fıskırma.	14
3.4. İnce Kaburgalara Yakın Doldurma Problemi.	15
4.1. Birbirine Dokunmadan Önceki Akan Plastiğin Ön Kısım ve Yuvarlak Akan Plastiğin Ön Kısımının Düzeldmesi.	17
4.2. Kaynak Hattı ve Karışma Hattı Oluşumu.	18
4.3. Kaynak Hattı ve Karışma Hattı Oluşumu.	18
4.4. Kaynak Hattı Bölgesinde Moleküler Oryantasyon .	19
4.5. Karışma Hattı Bölgesinde Moleküler Oryantasyon.	19
4.6. Kaynak Hattının Yerinin Değiştirilmesi.	20
6.1. Engel Açısı 0° Olan Parça Resmi.	28
6.2. Engel Açısı 0° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.	29
6.3. Engel Açısı 30° Olan Parça Resmi.	29
6.4. Engel Açısı 30° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.	30
6.5. Engel Açısı 60° Olan Parça Resmi.	30
6.6. Engel Açısı 60° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.	31
6.7. Engel Açısı 0° Olan Parçada Kaynak Hattı Oluşan ve Oluşmayan Bölgeler.	31
6.8. Çekme Numunelerinin Şekil ve Boyutları (TS EN ISO 3861).	32
6.9. Darbe Numunelerinin Şekil ve Boyutları (ISO 180).	32
6.10. Kalıp Tasarımı.	32
6.11. Üretilen Kalıbın Resmi.	33
6.12. 1 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	35
6.13. 2 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	36
6.14. 3 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	36
6.15. 1 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.	37
6.16. 1 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu	38
6.17. 1 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.	38

6.18. 6 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	40
6.19. 7 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	41
6.20. 8 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	41
6.21. 6 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.	42
6.22. 6 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu	42
6.23. 6 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.	43
6.24. 11 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	45
6.25. 12 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	46
6.26. 13 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.	46
6.27. 11 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.	47
6.28. 11 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu.	47
6.29. 11 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.	48
6.30. Midplane Mesh	49
6.31. Fusion Mesh	50
6.32. 3D Mesh	50
6.33. Çekme Analizi.	51
6.34. 1 Numaralı Parçanın Dolum Analizi ve Kaynak Hattı Sonucu.	52
6.35. Su Jetiyle Kesilerek Elde Edilen Çekme Numuneleri.	53
6.36. Su Jetiyle Kesilerek Elde Edilen Darbe Numuneleri.	53
6.37. Çekme Deneyi Cihazı.	54
6.38. Çekme Deneyi.	55
6.39. Çentik Açma Cihazı.	55
6.40. Darbe Deneyi Cihazı.	56
6.41. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.	57
6.42. 30°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.	57
6.43. 60°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.	58
6.44. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatsız Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.	58
6.45. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatlı Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.	59
6.46. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı	

Çekme Dayanımı.	59
6.47. 30°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Çekme Dayanımı.	60
6.48. 60°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Çekme Dayanımı.	60
6.49. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatsız Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.	61
6.50. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatlı Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.	61
6.51. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Çekme Dayanımı.	62
6.52. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.	63
6.53. 30°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.	63
6.54. 60°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.	64
6.55. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatlı Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.	64
6.56. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatsız Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.	65
6.57. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatlı Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.	66
6.58. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.	66
6.59. 30°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.	66
6.60. 60°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.	67
6.61. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatsız Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.	67
6.62. Kalıp Lokma Açıklarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatlı Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.	68
6.63. Değişen Kalıp Lokma Açıklarının Darbe Dayanımına Etkileri.	69

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bazı Plastik ve Termoset Plastikler ve Monomerleri.	4
6.1. Analizlerde ve Plastik Üretiminde Kullanılan Enjeksiyon Parametreleri.	34
6.2. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.	35
6.3. Ütöleme Basıncı Değişimi.	39
6.4. Ütöleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.	39
6.5. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.	40
6.6. Ütöleme Basıncı Değişimi.	44
6.7. Ütöleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.	44
6.8. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.	45
6.9. Ütöleme Basıncı Değişimi.	48
6.10. Ütöleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.	49
6.11. Kalıp Lokma Açılarındaki Değişimin Dayanımlara Etkisi.	69

1. GİRİŞ

Plastikler en son ortaya çıkan malzeme grubu olmasına rağmen günlük hayatımıza en fazla giren malzemelerden birisidir. Plastik malzemeler 1950'li yıllarda sanayide kullanılmaya başlandı. Özellikle son yıllara doğru plastik teknolojisinin ilerlemesine paralel olarak, kullanım alanlarının genişlemesiyle metal malzemelere alternatif olmuş hatta metal malzemelerin yerini almışlardır.

Plastik malzemelerin biçimlendirilmesinde basınçlı kalıplama, döner kalıplama, döküm kalıplama, basınçta ısı ile biçimlendirme, şişirme ve enjeksiyon kalıplama vb. teknikler kullanılmaktadır. Enjeksiyon yönteminin avantajı, hammaddenin tek bir işlemle istenilen şekilde kalıplanabilmesini sağlamasıdır. Birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi, bu metodu seri parça üretimi için oldukça uygun bir hale getirmektedir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile termoplastikler ve zaman zaman da termoset plastikler kolaylıkla kalıplanabilir.

Plastik enjeksiyonda kalıplanan parçaların kalitesini belirleyen faktörlerden biri kaynak hattıdır. Kaynak hattı, enjeksiyon işlemi esnasında kalıp boşluğu içerisinde eriyik haldeki akışkanın birden fazla sayıya bölünerek ve belirli bir süre sonunda tekrar birleşmesi sonucunda meydana gelmesidir. Kaynak hatları bir enjeksiyon hatası olarak bilinmesine rağmen ortadan kaldırılamamaktadır. Ancak kaynak hattının etkileri azaltılabilmektedir. Bu çalışmada öncelikle geometride yapılan değişikliklerle kaçınılmaz olan kaynak yeri hatası, farklı açılarla oluşturulmuştur ve her farklı açı için farklı enjeksiyon parametreleri denenmiştir. Ayrıca enjeksiyon şartlarından; eriyik sıcaklığı ve ütleme basıncının kaynak hattına etkisi araştırılmıştır.

Özel olarak tasarlanan kalıptan çıkan deney numuneleri ısı yüklerine maruz kalmamaları için su jetiyle kesilerek deneyde kullanılacak parçalar elde edilmiştir.

Üç farklı geometri ile elde edilen kaynak hatlı ve kaynak hatsız deney numuneleri, beş farklı enjeksiyon parametresi ile 15 çekme ve 15 darbe deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler 5'er defa tekrar edilmiştir. Toplamda 150 deney numunesi kullanılmıştır.

2. PLASTİKLER

2.1. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastik malzemeler genel özelliklerini plastiklerin yüzey sertlikleri, plastiklerin yoğunluğu, ısısal özellikleri, elektriksel özellikleri, kimyasal özellikler, çekme payı miktarları olarak sıralamak mümkündür [Topal, 2006].

Çok çeşitli ve diğer birçok malzeme grubundan daha farklı özelliklere sahip plastiklerin ana özellikleri şu şeklide de özetlenmiştir;

1. Özgül ağırlıkları azdır.
2. Çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptirler.
3. Kolay şekil verilebilir ve kolay işlenebilir.
4. Katkı maddeleri ile özellikleri değiştirilebilir.
5. Isı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür.
6. Saydamdırlar.
7. Korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar.
8. Yeniden işlenip kullanılır hale gelebilirler.
9. Ucuz bir şekilde üretilebilirler [Deniz, 2006].

2.2. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler elde edilmelerinde, özelliklerinin incelenmesinde, işlenmesinde önemli olan çeşitli kriterlere göre sınıflandırılarak belli gruplara ayrılırlar. Plastikler: a) Molekül büyüklüğüne göre, b) Oluşumuna göre, c) Kaynağına göre, d) Plastikleşme tepkimelerine göre, e) Zincirin kimyasal yapısına göre, f) Zincirin fiziksel yapısına göre, g) Yığılışma şekline göre, h) İçerdikleri fonksiyonel gruplara göre, i) Tekrarlanan birimlerin kimyasal bileşimine göre, j) Isısal davranışlarına göre ve k) Teknolojik özelliklere göre sınıflandırılırlar.

Isıya karşı davranışlarına göre plastikler termoplastik ve termoset plastikler olarak ikiye ayrılır [Keleş, 1995].

2.2.1. Termoplastik Plastikler

Fiziksel olarak düz ve dallanmış zincir yapısına sahip olan plastikler, ısıtıldıklarında önce yumuşarlar sonra kıvamlı akışkan hale gelirler. Bu tip ısısal davranış gösteren plastiklere ısı ile yumuşayan anlamına gelen termoplastikler denir. Termoplastiklerin en önemli özelliği bir kere kalıplandıktan sonra tekrar eritilerek defalarca kalıplanabilmesidir. Bu nedenle, düz ve dallanmış, zincir yapısına sahip termoplastikler termosetlere göre daha ekonomiktir.

2.2.2. Termoset Plastikler

Yüksek oranda çapraz bağ içeren plastikler ısıtıldıkları zaman termoplastikler gibi yumuşamazlar ve erimezler, hatta tersine sertleşirler. Bu nedenle, ısıtılınca sertleşen plastiklere ısı ile sertleşen anlamına gelen termoset plastikler denir. Fenol formaldehit, üre formaldehit gibi teknolojik öneme sahip olan birçok termoset polimer vardır. Bunlar önemli termoplastiklerle birlikte Tablo 2.1.'de monomerleri ile birlikte verilmiştir [Çakırgil, 2003].

Tablo 2.1 Bazı Plastik ve Termoset Plastikler ve Monomerleri.

Termoplastikler	Monomerler	Termosetler	Monomerler
Polietilen	Etilen	Alkidler	Değişik monomerler
Polistiren	Stiren	Dioller	Değişik monomerler
Polipropilen	Propilen	Epoksiler	BisfenilA-epiklorhidrin
Poliekrilikler	Akrilik asit ve türevleri	Melaminler	Üre-formaldehit
Poliamidler	Değişik monomerler	Bakalitler	Fenol-formaldehit
Poli(vinil klorür)	Vinil klorür	Poliesterler	Poliasit ve alkoller
Polikarbonatlar	Değişik monomerler	Silikonlar	Değişik monomerler

2.3. Plastiklerin İşlenmesi

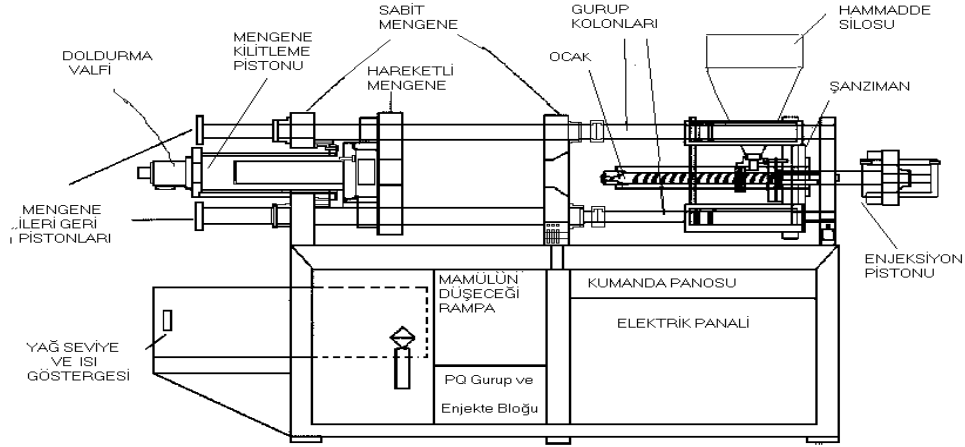
Plastik malzemenin üretiminde ilk adımı saf polimerin elde edilmesi oluşturur. Saf polimer elde edildikten sonra dolgu maddeleri ve renklendiriciler karıştırılarak plastik malzemeye dönüştürme işlemi gelir ki bunların tümü plastik malzeme üretiminin son safhasıdır ve kalıplama ve şekil verme işlemleri olarak bilinir. Plastiklerin işlenmesi genellikle ısıtılarak yumuşatılmış polimerin bir kalıba basılması şeklinde yapılır. Yaygın olarak kullanılan kalıplama yöntemleri başlıca şöyle sınıflandırılabilir.

1. Sıkıştırma ile Kalıplama
2. Enjeksiyonla Kalıplama
3. Ekstrüzyon (fışkırtmalı) Kalıplama
4. Diğer İşlemler

2.3.1. Enjeksiyon Makineleri

Enjeksiyon kalıplama seri imalat için en uygun imalat yöntemidir. Genellikle termoplastiklere uygulanan bu yöntem gerekli tedbirler alınarak termosetlerde uygulanabilir. Bu yöntemle genellikle Polietilen(PE), Polistiren (PS), Polipropelin(PP), Poliamit (PA) , (Nylon) vb. olmak üzere bir çok polimer bu yöntemle işlenmektedir ve çok çeşitli mamuller elde edilmektedir.

Enjeksiyon yöntemiyle parçalar üç kademede elde edilir. Bunlar; ergitme, kalıp boşluğuna doldurma, soğutma ve parçayı kalıp boşluğundan çıkarma işlemleridir. Toz ve granül şeklinde bulunan reçine besleme hunisinden bir silindire aktarılır, burada malzeme ısıtılarak ergimiş hale getirilir. Daha sonra bir piston veya sonsuz vida mekanizması ile ergimiş reçine yüksek basınçta kalıbın boşluğuna sevk edilir. Enjeksiyon kalıplamada hidrolik sistem basıncı, uygulanan sıcaklık ve süre önemli ölçüde biçimlendirilen plastik türüne bağlıdır. Daha sonra parça soğutulur, kalıp açılır ve parça yerinden düşer. Kalıbın açılması sırasında piston geriye çekilir ve huniden ısıtma silindirine reçine aktarılır [Çakırgil, 2003].



Şekil 2.1. Enjeksiyon Makinesinin Tanıtımı.

2.3.2. Plastik Enjeksiyon Yöntemi

Plastik malzemelerin biçimlendirilmesinde basınçlı kalıplama, döner kalıplama, döküm kalıplama, basınçta ısı ile biçimlendirme, şişirme ve enjeksiyon kalıplama gibi teknikler kullanılmaktadır. Püskürtmeli kalıplama yada enjeksiyon kalıplama da denilen plastik enjeksiyon işlemi plastik eşya üretiminde kullanılan ve kullanımı her geçen gün diğerlerine göre artan en önemli metottur. Hammaddenin tek bir işlemle istenilen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi, bu metodu seri parça üretimi için oldukça uygun bir hale getirmektedir.

2.3.2.1. Enjeksiyon Yönteminin Avantajları

1. Seri şekilde üretim yapılabilmesi,
2. Büyük hacimli ürün elde edilebilmesi,
3. Maliyetin düşük olması,
4. Otomasyona uygun olması,
5. Hemen hemen son işlem gerektirmemesi,
6. Çok farklı yüzey, renk ve şekillerde ürün elde edilebilmesi,
7. Malzeme kaybının çok az olması,
8. Aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin basılabilmesi,
9. Küçük toleranslarda basılabilmesi,
10. Kalıba metaller yerleştirilerek (insert) basılabilmesi,

11. Plastik malzemeye asbest, talk, karbon gibi dolgu maddelerinin eklenerek ürün daha ucuza üretilebilmesi,
12. Katkı maddeleri ilavesiyle ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesidir[Çakır Ö. ve ark. 2001].

2.3.2.2. Enjeksiyon Yönteminin Dezavantajları

1. Sektördeki yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması,
2. Kalıp fiyatlarının pahalı olması
3. Enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması,
4. Kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması [Çakır ve ark. 2001].

2.3.2.3. Enjeksiyon Çevriminin Aşamaları

Bir komple enjeksiyon çevrimi kısmen üst üste çakışan çeşitli safhalardan oluşur. Çevrim, kalıbın yani mengenenin kapanması ile başlar. Enjeksiyon grubu, meme yolluk burcuna değinceye kadar ileri gider. Sıcak yolluklu sistemlerde bu safha bulunmayabilir. Klasik yolluk sistemine sahip kalıp kullanan makinelerle enjeksiyon işlemi yapılırken kalıbın istenenden fazla ısınmasını önlemek için memenin her enjeksiyon işleminden sonra kalıptan ayrılması istenebilir.

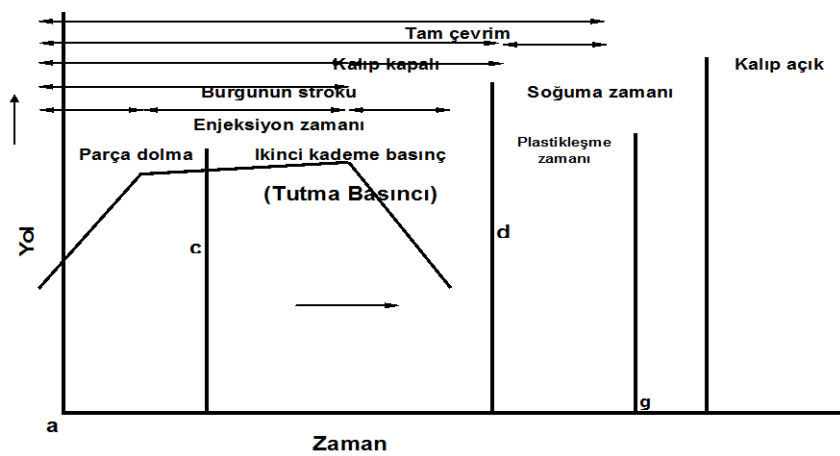
Meme yolluk burcuna tam olarak dayandıktan ve enjeksiyon için gerekli basınca ulaşıldıktan sonra, plastik malzeme kalıba dolmaya başlar. Bu safha işlem sırasına ve üretilen parçanın büyüklüğüne bağlı olarak, bir saniyeden çok daha kısa sürebileceği gibi birkaç saniye de sürebilir. Bu safha, üretilen parçanın kaliteyle ilgili bazı önemli özelliklerine de direkt olarak etki eder. Kalıba dolan plastik malzemenin soğumaya başlaması malzeme daha soğuk kalıp duvarlarına değer değmez, yani enjeksiyon işlemi başlar başlamaz meydana gelir.

Tutma (ütüleme) basınçları safhası enjeksiyon safhasını izler. Enjeksiyon işleminin bu safhasında düşük eksenel hızda hareket eden yani ilerleyen helezon,

malzemenin termal büzülmesini yani soğuk kalıp duvarlarına değen malzemenin büzülmeğe başlamasını telafi edebilmek amacıyla tam büzülmeği önleyecek miktarda yeterli malzemeyi, genelde farklı basınç değerlerinde, enjekte etmeye devam eder.

Enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında enjeksiyon grubu yani meme kalıpla temas halindedir. Tutma basıncı safhasından sonra grup kalıptan ayrılabilir. Grubun geri çekilmesiyle de bir sonraki enjeksiyon işlemi için plastikleşme işlemi başlayabilir. Grubun geri çekilebilmesi için memenin kapanabilmesi, yani helezonun enjeksiyon grubu geri giderken memeden malzeme akışına izin vermeyecek bir tasarıma sahip olması gerekir. Aksi takdirde grup kalıba dayalı vaziyette kalmalıdır. Böylece 5. ve 6. Safhalar birbirine karışmış olur. Uygun seçilen bir makine ile plastikleşme safhası daha ürünün soğuması işlemi bitmeden sona erer. Pratikte hangi safhanın daha önce biteceği, esas olarak parçanın et kalınlığına ve plastikleşmeye uğrayan malzemenin miktarına bağlıdır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim süresi uzar ve bu da maliyetin artmasına neden olur. Plastikleşme safhasından sonra, kalıp içindeki malzeme yeterli derecede mekanik kararlılığa erişene kadar yani, çıktıktan sonra deforme olmayacak duruma gelene kadar soğumaya devam eder.

Enjeksiyon çevriminin son safhası kalıbın açılıp ürünün kalıptan dışarı atılması işlemidir. Böylece bir sonraki çevrim başlar [Çakırgil, 2003].



Şekil 2.2. Enjeksiyon Prosesinde Zamana Bağlı Tam Çevrim.

2.3.3. Enjeksiyon Kalıpları

Bir enjeksiyon kalıbının temel özelliklerinin tanımlanması enjeksiyon prosesinin analizi ile olur;

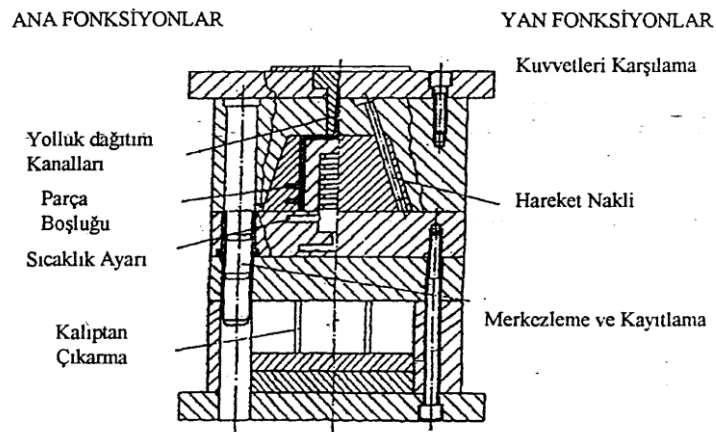
- a) Eriyiğin alınması ve taksimatı
- b) Erimiş plastiğin şekillendirilmesi
- e) Plastik kütlelerin soğutulması
- d) Enjeksiyon yapılan parçaların kalıptan alınması

Bu ana görevin yerine getirilmesi için aşağıdaki yan görevlerin de dikkate alınması gerekir;

- Meydana gelen kuvvetler karşılanabilmeli
- Hareketler nakledilebilmeli
- Kalıp parçaları uygun şekilde çalışmalı

Bu suretle de aşağıdaki önemli fonksiyon üniteleri, ana görevleri eksiksiz yerine getirmelidir (Şekil 2.3),

- Yolluk ve taksimat kanalları
- Parçanın şekil boşluğu
- Kalıbın sıcaklığının ayarlanması
- Parçanın kalıptan çıkarılması



Şekil 2.3. Bir Enjeksiyon Kalıbında Ana ve Yan Fonksiyonlar .

Yan görevleri de yerine getirmek için asgari aşağıdaki görevleri yerine getirilmelidir;

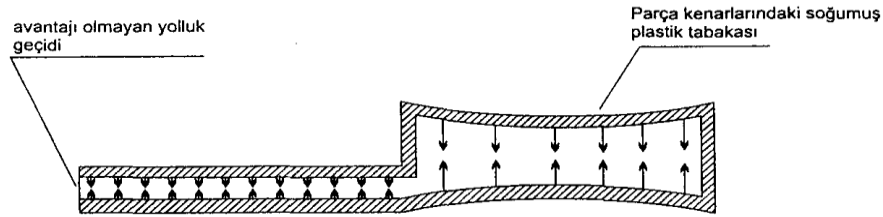
- Merkezleme ve kayıtlar
- Meydana gelen kuvvetlerin karşılanması
- Hareket nakli [Çakırgıl, 2003].

3. PLASTİK ENJEKSİYON ESNASINDA OLUŞAN HATALAR

3.1. Baskıdaki Çökme

Çökmeler genelde baskının kalın kısımlarında ve/veya kalınlık farklılıklarının olduğu yerlerde oluşurlar. Bunun sebebi baskının farklı yerlerinin farklı oranda soğumasıdır. Plastik eridiğinde plastiği oluşturan makarna gibi karışık polimer zincirleri açılarak düzleşmeye eğilimlidirler. Bu düzelme uygulanan basınçla daha da artar. Soğuma esnasında bu polimer zinciri ilk haline (karışık yapıya) dönme eğilimindedir. Bu da belirli bir zaman sürecinde olur. Eğer plastik aniden soğutulursa molekül zincirleri yarı açık bir vaziyette soğuyup donar (eski doğal haline gelmez). Buna baskı içindeki gerilim denilir.

Kalın kısmın inceltirme imkanı varsa inceltilir. Baskı sağlamlığındaki kayıp (momentum) inceltilecek yerlere atkı konularak ve kaburgalarla giderilebilir. Maksimum ütüleme basıncı transferi için, baskının yolluk kısmının erken donmasına engel olmak üzere yeterince geniş boyutlarda yapılmalıdır [Turaçlı, 2000].



Şekil 3.1 Çökme İzli Parça (Yolluk Girişi Parçanın İnce Kısımında).

- 1- Çökme izini yok ettikten sonra baskı içinde hava kabarcığı olup olmadığını kontrol edin. Çünkü baskı içindeki hava kabarcığı da baskının fiziksel yapısına negatif yönde etki eder.
- 2- Vida önündeki erimiş plastik yastığı (enjeksiyondan sonra vida önündeki plastik miktarı) en azından 2-5mm kalınlığında olmalıdır. Bu yastık plastiğe uygulanan basıncın transferi için gereklidir. Erimiş plastiği sıvı

gibi düşünürsek basıncın transferi için bu yastığın gerekliliği daha iyi anlaşılır.

3.2. Yanma İzleri

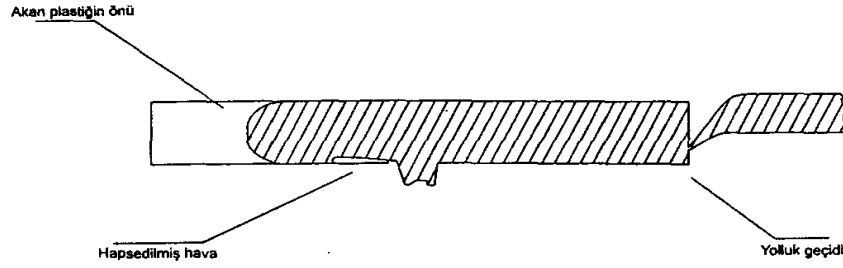
İz parçanın dar kısmının arkasında oluşur veya parçanın keskin (sürtünme olduğu kısımlar) kenarlarında oluşur. Enjeksiyon hızını azaltmak hat üzerinde sürtünme kuvvetlerini azaltmak suretiyle pozitif etki yapar. Erime sıcaklığını düşürmek hata belirtileri üzerinde olumlu etki yapar. Yüksek oranda kırılmış malzeme kullanımı veya kırılmış malzemenin defalarca önceden kullanılmış olması da yanma izi oluşmasına neden olabilir.

3.3. Nem izleri

Plastik malzeme nem emmeye eğilimlidir. Enjeksiyon işleminin yapıldığı ortamdaki nem oranı çok yüksektir. Özellikle bu durum soğuk kalıp ve soğuk granül bir araya geldiğinde nem oranını daha da arttırır. Soğuk bir ortamdan sıcak bir ortama malzeme getirildiğinde yüzeyinde nem oluşur. Bundan dolayı soğuk ortamdan getirilen malzeme işleneceği ortamın sıcaklığına ulaşınca kadar açılmadan bekletildikten sonra işlenmelidir.

3.4. Hava izleri

Kalıbın dolması esnasında hava kaçamayabilir, yüzeye doğru çekilir ve akma yönünde uzar. Özellikle yazılara, kaburgalara, tümseklere ve gerilimin olduğu kısımlara yakın yerlerde, erimiş plastik malzeme hava kabarcığının üzerinden geçer ve havayı tutar yani hapseder. Sonuçta hava yakalanmış olur yani hava izi oluşur.



Şekil 3.2. Kazılmış Yerlerin Arkasında Oluşan Hava İzi[Topal, 2006].

Hava izini engellemek için enjeksiyon hızı azaltılmalı, kalıbın içindeki keskin geçişlere engel olunmalı, parçadaki ilave oyukların derinliği azaltılmalı, sıkıştırma esnasındaki vida dönme hızı azaltılmalı, kapanabilir meme kullanılmalı, arka basıncını arttırılmalı bu sayılan parametrelerden uygun olanları seçilerek hava izi oluşumunun önüne geçilebilir.

3.5. Parlaklık/Farklı Parlaklıklar

Baskı parlaklık yönüyle değerlendirildiğinde iki tip hata söz konusudur. Baskının tamamı aşırı parlak veya yeterince parlak değil yahut da baskının yüzeyinde parlaklık farklılıkları vardır. Parlaklık farklılığının hakim olduğu yerler baskının farklı kalınlıklarının olduğu yerlerdir.

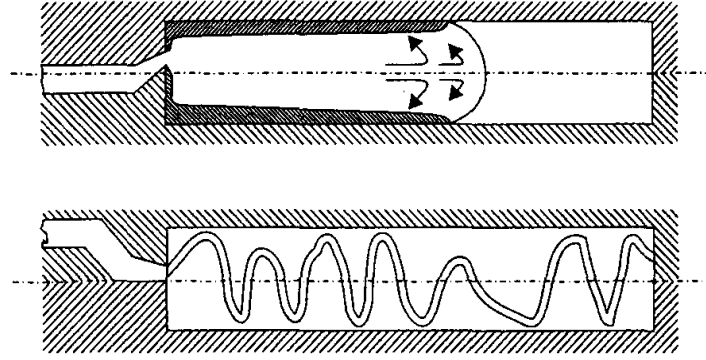
Baskının parlaklığı baskı ışığa tutulduğunda görülür. Yüzeyin düzgünlüğü arttıkça parlaklık optimum olur (en iyi düzeye çıkar). Bunu sağlamak için kalıp yüzeyi olduğunca parlatılmalıdır. Parlaklık farklılığının sebebi kalıp içindeki plastik malzemenin farklı soğuma ve farklı çekme şartlarına maruz kalmasıdır.

3.6. Kaynak Hattı

Kaynak hattı hatası bölüm 4 'de detaylı olarak incelenmiştir.

3.7. Jetting Etkisi

Baskının yüzeyinde yılan gibi kaba veya mat izler görülür. Sicim şeklinde oluşmuş plastik yolluk geçidinden başlamak üzere kontrolsüz bir hareketle kalıp boşluğuna girer. Bu durumdaki erimiş plastik sicimi öyle bir şekilde soğur ki arkadan gelen plastik bileşimi ile homojen olarak karışmaz.



Şekil 3.3. Kalıp Doldurma, Normal Akışla Plastiğin Ön Kısım ve Fıskırma.

Enjeksiyon hızını düşürülmeli veya enjeksiyon profilini(basınç eğrisi) yavaşça değiştirilmeli, erime sıcaklığını arttırılmalı, ancak erime sıcaklığı değiştirilemiyorsa, yolluk geçidi ve baskı arasındaki geçişi yuvarlanmalı, yolluk geçidinin çapını arttırılmalı, yolluk geçidini değiştirilip ve akmaya karşı direnç oluşturulmalıdır. Bu kriterlerin uygulanması halinde Jetting'in önüne geçilebilir.

3.8. Gerilim Beyazlaması/Çatlaması

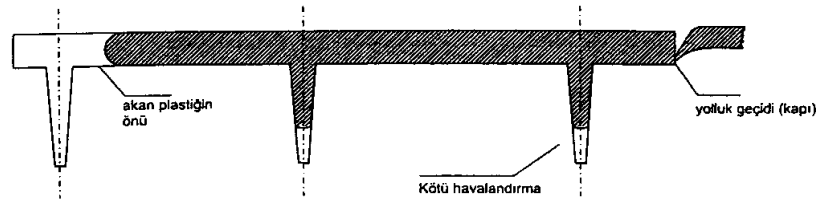
Gerilim beyazlaması içerden ve dışardan gerilimler sebep olur. Gerilmeye maruz kalan bölge beyaz renge döner. Gerilim çatlaması baskının kalıptan çıkması yönünde çatlağa yakın bir şeydir. Bunlar sıkça, üretimden birkaç gün sonra veya haftalar sonra ortaya çıkar.

Gerilim beyazlaması veya çatlaması maksimum deformasyon oranı aşıldığı zaman oluşur. Yetersiz kalıp boyutlaması ve/veya yüksek kalıp içi basıncı altındaki baskının kalıptan çıkarılması hatanın ana nedenidir.

3.9. Tamamen Dolmamış Baskı

Dış kısımları tamamen oluşmamış parçalara tamamen dolmamış parçalar denilir. Bu tip hata yolluk geçidinden çok uzak bir yerde eğer akma mesafesi uzunsa ortaya çıkar veya ince duyarlı baskıda örneğin, yetersiz havalandırmadan dolayı bu hata aynı zaman başka bölgelerde ortaya çıkabilir.

Enjeksiyon yapılan hammadde hacmi çok azdır, erimiş plastik havalandırma probleminden dolayı baskıyı dolduramıyordur, enjeksiyon basıncı yeterli değildir.



Şekil 3.4. İnce Kaburgalara Yakın Doldurma Problemi.

3.10. Çapaklı Parça

Çapak genellikle kalıp ayırım çizgilerinde, havalandırma kanalında ve iticilerde oluşur. Parçanın kenarında filme benzer oluşmuş fazlalıklardır. Çok ince çapak bazen hemen görünmeyebilir. Geniş alanda kalın çapak nominal görünüşün üzerinde birkaç cm uzunluktadır.

Farklı ihtimallerden dolayı çapak oluşur ve bu ihtimaller dört ana gruba ayrılır.

- 1- Kalıptaki müsaade edilen açıklık aşılmıştır.
- 2- Makinenin kilitleme gücü yetersiz veya çok aşağı bir değere ayarlanmıştır.
- 3- Dahili kalıp basıncı aşırı yüksektir.
- 4- Hammaddenin viskozitesi (akma direnci) aşırı düşük)yüksek kalıp içi basıncı ve düşük akma direnci çapak oluşmasına yardımcı olur.

3.11. Görülebilir İtici İzleri

Bu hatanın sebebi dört ana gruba ayrılır.

1- Prosese (üretime) bağlı sebepler:

Ürünün zamanından önce kalıptan çıkarılması veya uygun olmayan makine ayarından dolayı çok yüksek itici kuvvetinin olması.

2- Geometrik sebepler:

İticiyi yanlış takmak veya yanlış itici uzunluğundan dolayı oluşan izler.

3- Mekanik veya kuvvete bağlı sebepler:

Hatalı boyutlandırma ve kalıp dizaynı, parça ve itici sistemi.

4- Termal (ısıyla ilgili) sebepler:

İticiler ve kalıp duvarları arasındaki yüksek sıcaklık farkından dolayı oluşan izler.

3.12. Baskıda Hava Kabarcıkları

Baskı içinde veya üzerinde hava kabarcıkları veya gazın sebep olduğu boşluklar kaçınılmazdır. Void (vakum boşluğu ile) karşılaştırıldığında bu gazın yakalanması kalıp duvarlarında da oluşabilir.

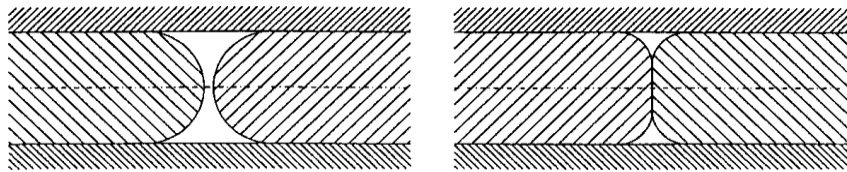
Temelde iki ana sebep bu hatanın nedenidir.

Basınç azaltılması çok yüksek ve çok hızlıdır ve ocağın performansı çok düşüktür [Turaçlı, 2000].

4. KAYNAK HATTI HATASI

İki veya daha fazla akış hattının birleştiği yerlerde oluşan çizgilere kaynak hattı denir. Kalıpta birden fazla giriş, delik çıkaran pimler ya da maçalar, insertler, bozlar vb. erkek parçalar var ise kaynak hattı meydana gelmektedir [Esenlik, 2001].

Erimiş plastik malzemenin yuvarlak şeklindeki akış uçları karşılaştıklarında bu yuvarlaklık düzleşir ve birbirine yapışır. Bu işlem yüksek viskoziteli akan plastiğin ön kısmının çekilmesini gerektirir. Eğer sıcaklık ve basınç yeterince yüksek değilse akan plastiğin ön kısmının köşeleri tamamen birleşmez ve bu da kaynak hattının oluşmasına neden olur. Hareket eden (akan) plastik eriyik önünün fıskiye akış özelliği iki akış önlerinde, ön şekli düzenlenmemiş moleküller yaratır. Bu tamamlanmamış moleküller, karışma ve kaynama yüzeyi boyunca homojen bir yapı oluşumunu engeller. Parçadaki kaynak hattı yerinin, kaynak hattı olmayan bölgeden daha dayanıksız olmasına neden olur [Hsieh et al, 2000].



Şekil 4.1. Birbirine Dokunmadan Önceki Akan Plastiğin Ön Kısım ve Yuvarlak Akan Plastiğin Ön Kısımının Düzelmesi.

Plastikteki kaynak hattı genelde optik ve mekanik zayıflığın göstergesidir. İz veya renk değişimi şeklinde görülür. İzler özellikle koyu veya düz yüzeyli çok parlatılmış saydam parçalarda belirgindir. Renk değişimi metal etkisi yapan pigmentle boyalı parçalarda görülür [Turaçlı, 2000].

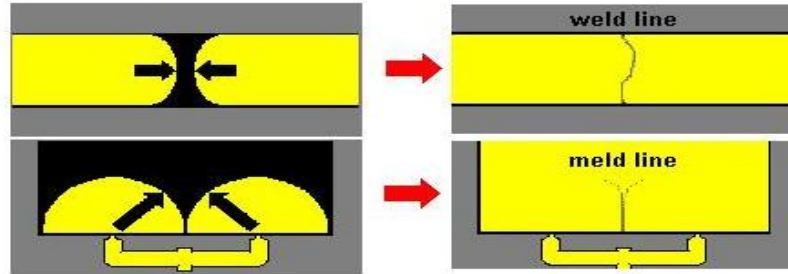
Eğer enjeksiyonda kullanılan plastik hammaddelerin içerisinde katkı maddesi varsa (örneğin; renk pigmenti); bu katkı maddelerinin kaynak yerine yakın yönelmesi ihtimali vardır. Bu aynı zamanda kaynak yerine yakın yerde renk değişimine neden olur. Parçanın görünümünü etkileyen de bu renk değişimidir [Yao and Kim, 1998]. Kaynak yerleri yüzeysel bir çizgi değildir [GE Plastics, 1998].

Kaynak yerleri kalıplanan parça içerisinde bir hat boyunca oluşurken; parçanın yüzeyinde küçük V kırıkları (izleri) şeklinde oluşabilir [Yao and Kim, 1998].

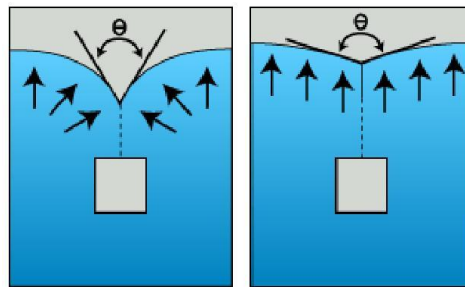
4.1. Sınıflandırılması

Kaynak hattı oluşumu çeşitli kaynaklarda farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Bazı kaynaklarda kaynak hattı; eriyik plastik arada bir engel olmadan direk karşılaşıyorsa “butt weld line”, engel etrafından dolaşarak karşılaşıyorsa “knit weld line” olarak tanımlanır. Knit weld line dayanımı butt weld line dayanımından daha fazladır [Matti et al, 2008].

Bazı kaynaklar ise kaynak hattını, iki akışın birbiriyle karşılaştıklarında aralarında oluşan açıya göre sınıflandırmışlardır. Eğer iki akış karşılaştıklarında aralarında 135 derece ve altında bir açı oluşursa “weld line (kaynak hattı)”, 135 derece ve üstü açı oluşursa “meld line (karışma hattı)” olarak tanımlanmıştır [Uzel, 2008].



Şekil 4.2. Kaynak Hattı ve Karışma Hattı Oluşumu.

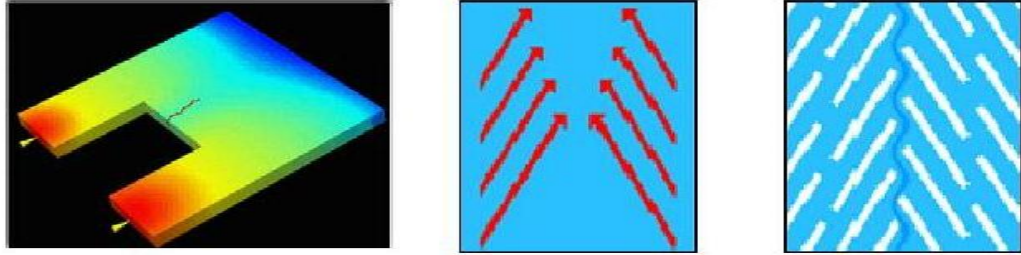


Şekil 4.3. Kaynak Hattı ve Karışma Hattı Oluşumu.

Kaynak hattı bölgesinde polimer moleküllerinin oryantasyonu akış yönüne diktir. Moleküler oryantasyon düzgün oluşmadığı için kaynak hattı bölgesi mukavemet yönünden zayıflar.



Şekil 4.4. Kaynak Hattı Bölgesinde Moleküler Oryantasyon .



Şekil 4.5. Karışma Hattı Bölgesinde Moleküler Oryantasyon.

Karışma hattı bölgesinde oluşan moleküler oryantasyon ise akış yönünde oluşan oryantasyona daha uyumlu olduğu için daha düzgün ve dayanıklı bir kaynak bölgesi oluşur [Uzel, 2008].

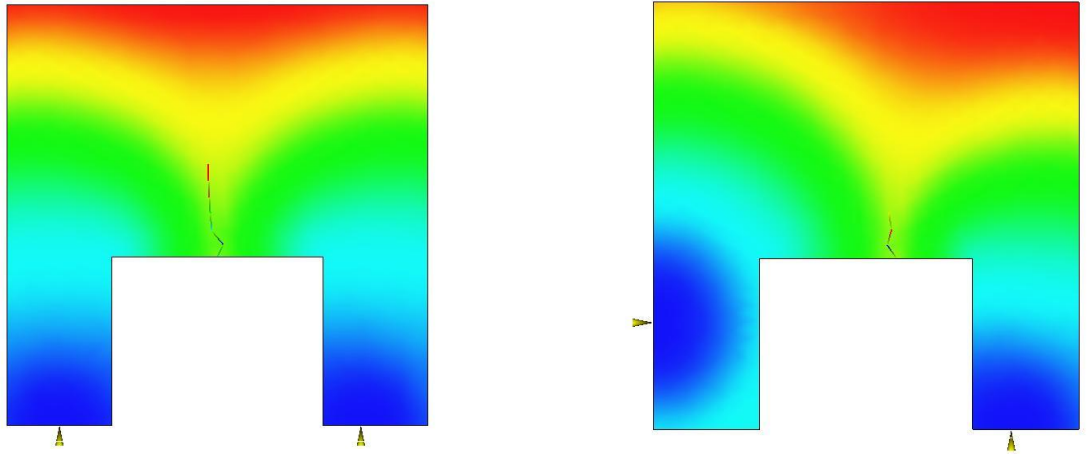
4.2. Önlenmesi

Kaynak hattı mümkün olduğunca ürünün kritik olmayan bölgelerinde yer alacak şekilde çalışılmalıdır. Bu çalışmalar parçanın bozulma riskini azaltmaya dönük faaliyetlerdir. Girişe yakın kaynak hatları, nispeten yüksek sıcaklıkla birleştiği için diğer bölgelerde oluşan kaynak hatlarına nazaran daha sağlam bir bağ oluşturmaktadır. Girişten uzakta şekillenen kaynak hatları ise, nispeten zayıf bir bağ oluşturmaktadır. Bu birleşme noktalarında diğer bölgelere nazaran mukavemet azalması olmaktadır.

Kaynak hattı oluşumunu engellemek her zaman mümkün olmayabilir. Ürün geometrisi veya kalıp tasarımı kaynak hattını kaçınılmaz yapabilir. Kaynak hattı hatası, ürün veya kalıp tasarımıyla giderilemiyorsa etkisini en aza indirmek için çeşitli önlemler alınabilir [Uzel, 2008].

4.2.1. Kaynak Hattının Yerini Değiştirmek

Bunu yapabilmek için yolluk giriş yerini veya parça kalınlığını değiştirerek farklı dolum zamanları oluşturulabilir. Farklı dolum zamanlarıyla kaynak hattı bölgesi farklı yerlere taşınabilir [Uzel, 2008].



Şekil 4.6. Kaynak Hattının Yerinin Değiştirilmesi.

4.2.2. Kaynak Hattı Kalitesini Artırmak

Kaynak hattının kalitesini artırmak için enjeksiyon parametrelerinde değişiklikler yapılabilir.

4.2.2.1. Eriyik Sıcaklığı

Bu sıcaklığın düşük tutulması; kalıp içerisine gönderilen erimiş plastiğin daha erken soğuyup, kalıplanan parçanın kalitesinin istenilen düzeyde olmasını engeller.

Eriyik ısısının daha yüksek tutulması ise; erimiş plastiğin kalıp içerisinde daha geç soğumasına ve parçanın kalitesinin arttırılmasına sebep olur [Turaçlı, 2000].

Ayrıca iyi bir kaynak hattı için, kaynak hattı bölgesindeki sıcaklığın enjeksiyon sıcaklığından en fazla 20 derece düşük olması istenir [Uzel, 2008].

4.2.2.2. Enjeksiyon Basıncı ve Zamanı

Enjeksiyon basıncı düşük olduğu takdirde; kalıp içerisine yeterince plastik gitmez. Kalıp içerisine yeterince erimiş plastik gitmemesi de; kaynak yerinin ve dolayısıyla kalıplanan parçanın istenilen kalitede olmasını engeller. Bu nedenle; özellikle kaynak yerli üretilecek parçalar için enjeksiyon basıncı daha yüksek olmalıdır [Turaçlı, 2000].

4.2.2.3. Kalıp Sıcaklığı

Kaynak hattını etkileyen etmenlerden biride kalıbın her tarafının eşit sıcaklıklarda ısıtılması veya soğutulmasıdır. Kalıp sıcaklığını, kalıbı doldurmak için gerekli sıcaklığın üzerinde tutulmasının, baskı yüzeyinin güzel olması ve kaynak hattı etkisinin azaltılması için avantajlı olduğu bilinmektedir. Kalıp sıcaklığını belirlenen sıcaklıkta tutmak için kalıp içerisinde açılmış kanallarda su veya başka sıvılar dolaştırılarak ayarlanır. Kalıp dolma esnasında en sıcak erimiş haldeki polimer kalıp girişinde, en soğuk erimiş polimerde yolluk girişinden en uzak noktadadır. Soğutma sıvısının sıcaklığı, bu kanallardan geçtikçe artar. Bu yüzden baskıda eşit soğuma için kalıbın sıcak bölgelerine soğuk sıvı, parçanın soğuk kısımlarına ısıtılmış sıvı girişi sağlamak gerekir. Kalıbı tasarlarken soğutma sistemi için bu özelliğe dikkat edilmelidir [Turaçlı, 2000].

4.2.2.4. Enjeksiyon Hızı

Enjeksiyon hızının mümkün olan en yüksek değerinin sağlanması ile akış direncinin az, akış uzunluğunun fazla, kaynak hatlarının dayanımının fazla olması beklenir.

Basıncın viskoelastik akışta viskozite üzerindeki etkisi, sıcaklık ve kayma oranı kadar olmamakla birlikte, basınç yükseldikçe akış hızı da artmaktadır [Akyüz, 2001].

4.2.2.5. Ütüleme Basıncı ve Süresi

Kalıba gönderilen eriğin kalıp cidarı tarafından soğutulması ile meydana gelen hacim küçülmesini ortadan kaldırmak için ütüleme tatbik edilir. En dar yerde yani yollukta eriyik malzemenin ön kısmındaki basınç arttırılarak kumanda edilir. Enjeksiyon basıncı işleminden sonra gerçekleşen enjeksiyon memesi kalıpla temas halindeyken uygulanan basınçtır. Burada eksenel hızda hareket eden vida soğuk kalıp duvarlarına temas eden erimiş polimer haldeki malzemenin hemen büzülmeye başlamasını telafi edebilmek için yeterli miktarda erimiş polimer malzemeyi farklı basınç değerlerinde enjekte etmeye devam eder. Yüksek arka basıncı kullanmak renk karışımına ve malzemenin erimesine olumlu yönde etki eder fakat vida dönüş süresini arttırır.

Ütüleme basıncı işleminin uygulandığı süreye ütüleme zamanı denmektedir. Bu zamanın az olması halinde, kalıp içerisine giren erimiş malzeme de az olmaktadır. Bunun sonucunda enjeksiyon işlemi sırasında kalıp içerisine giren ve soğuyarak büzülen malzemenin daha iyi kalite de olmasını engeller. Bu zaman fazla olması, kalıp içerisine enjekte edilen eriyik malzeme çok fazla olacaktır. Dolayısıyla ürünün kalitesini de arttıracaktır [Rodney, 2002].

4.2.2.6. Yolluk Sistem Tasarımı

Yolluk girişini daraltmak, eriyik plastiğin kalıp içerisine girerken sürtünmesini artıracığından plastiğin ısınıp artırmış olur. Böylece daha sıcak birleşen eriyik plastiklerin oluşturduğu kaynak hattı bölgesinin kalitesi artmış olur [Uzel, 2008].

5.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Cheng-Hsien et al yaptıkları çalışmada, mikroenjeksiyon yöntemiyle üretilen parçalarda kaynak hattı etkisini incelemişlerdir. Tasarladıkları kalıptan kaynak hattı oluşturan ve oluşturmayan 5 farklı çekme deney çubuğu elde etmişlerdir.

Malzeme olarak PP ve HDPE kullanmışlardır. Bu malzemeleri 4 farklı enjeksiyon parametresinde test etmişlerdir:

Eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı ve enjeksiyon hızı.

Bazı durumlarda kaçınılmaz olan kaynak hattı bölgesini matematiksel modellerle simüle etmişler ve kaynak hattı oluşumunu şu faktörlere bağlamışlardır.

- Moleküler birleşimin ve difüzyonun tamamlanamaması.
- Kaynak hattı yüzeyindeki v-notch etkisi.
- Kaynak hattı birleşimindeki yüzeysel bozukluklar.
- Kaynak hattı birleşimindeki elverişsiz fiber oryantasyonu.

Çalışma sonunda kaynak hattı'na en çok etki eden parametrenin eriyik sıcaklığı olduğu sonucuna varmışlardır. Ütüleme zamanı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı daha az etki göstermektedir [Cheng-Hsien et al, 2005].

Changlu et al yaptıkları çalışmada Push-Pull tekniği adı verilen bir yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemde ultrasonik titreşimler üreten bir makinenin propları kalıp içerini bağlanmıştır. Enjeksiyon çevrimi aşamalarında 2 farklı zamanda titreşim dalgası göndermişler ve kaynak hattı üzerindeki etkiyi incelemişlerdir. Tasarladıkları kalıptan kaynak hattı oluşturan ve oluşturmayan 2 farklı çekme deney çubuğu elde etmişlerdir. Kaynak hattı oluşan parçaya enjeksiyon esnasında titreşim dalgaları göndermişlerdir. Malzeme olarak PS ve PS/HDPE kullanmışlardır.

Kaynak hattı oluşumuna neden olan faktörleri şöyle açıklamışlardır.

- Kalıptaki polimer erimesinin hızlı katılaşmasından dolayı kaynak hattı da zayıf bir bağ oluşmaktadır.
- Donan moleküler oryantasyonu, akış önünde, kaynak hattı'na paralel olarak kalmaktadır.
- V-notch bölgesi etrafında bir kaynak hattı yüzeyinin oluşması, temiz olmayan hava veya bozulmalardan kaynaklanmaktadır.
- Sonuç olarak kaynak hattı dayanımı büyük oranda, zayıf bağ katmanlarından etkilenmektedir.

Çalışma sonunda şu sonuçlara varmışlardır.

- Ultrasonik titreşim mekanizması çekirdekte moleküler difüzyon yaparak çekirdekteki kaynak hattı dayanımını artırmaktadır.
- Yüzeydeki kaynak hattı dayanımı da ultrasonik titreşimlerle artmaktadır.
- PS ve PS/HDPE karşımı için, ultrasonik titreşimler kaynak hattı dayanımını artırmıştır [Changlu et al, 2006].

Matti Koponen et al yaptıkları çalışmada kaynak hattı oluşumunu 2 farklı şekilde açıklamışlardır.

Eğer iki akış her hangi bir engel olmadan direk karşılaşıyorsa “Butt weld line”, bir engel etrafından dolanarak karşılaşıyorsa “knit weld line” olarak isimlendirilir.

Tasarladıkları kalıbı kaynak hattı oluşan ve oluşmayan olacak şekilde 2 gözlü olarak farklı enjeksiyon şartlarında üretmişlerdir. Kaynak hattı oluşan tarafta, butt weld line ve knit kaynak hattı oluşacak şekilde engeller koymuşlardır. Bu bölgelerden ve ayrıca kalıbın her iki gözünden de plastik akışına dik ve paralel olmak üzere çekme deney çubuklarını su jeti kullanarak kesmişlerdir. Elde ettikleri deney numunelerine çekme testi uygulamışlardır.

Kaynak hattı oluşan parçalarda ise, knit weld line oluşan parça butt weld line oluşan parçadan daha dayanıklı çıkmıştır [Matti Koponen et al, 2008].

Mielewski et al yaptıkları çalışmada PP malzeme içindeki çözünemeyen bir madde olan “hindered phenolic antioxidant”ı fark etmişlerdir.

Bu ilaveler, PP matrisinde çok az çözülen ilavelerdir. Bu ilavelerin, küçük bir oranda kullanılmasına rağmen (%0.1-%0.5), kaynak hattı üzerinde büyük miktarda etki yaptığı görülmüştür.

Mekanik özellikler (darbe dayanımı, çekme dayanımı) çeşitli süreç durumlarında, değişik antioxidant ilavelerle, kaynak hatlı ve kaynak hatsız olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak PP malzemede oluşan kaynak hattındaki zayıflıklarının temel nedenini, iki akışın karşılaştığı anda, ısı dengeleyici ilavelerinin birleşim yerinde yığılması olarak açıklamışlardır.

Mekanik özellik ölçümleri göstermiştir ki ;

(%0.1 ile %0.5) oranındaki ilaveler darbe dayanımını %50, %1’lik ilaveler ise yaklaşık %75 oranında darbe dayanımını azaltmaktadır [Mielewski et al, 1998].

T.Nguyen et al yaptıkları çalışmada mikro dayanım tekniğini kullanarak kaynak hattı dayanımını karakterize etmek istemişlerdir.

Tasarladıkları kalıpta parça üzerine yuvarlak bir engel koymuşlar ve kaynak hattı oluşturmuşlardır. Engelden sonra oluşan kaynak hattı bölgesindeki mikro dayanımı belirli aralıklarla özel bir cihazla ölçmüşlerdir.

Mikro dayanım; mikro yapıdaki dayanımın değişimini, moleküler oryantasyonu ve kimyasal özellikleri karakterize etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Sonuç olarak yüzey ölçümlerinde, 10mm ye kadar engele yaklaşıldığında mikro dayanımın %30 azaldığı ve bunu takiben dar mesafelerde (0.2-0.25mm) bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Buna ek olarak mikro dayanım ölçümlerinde engelden 60mm mesafeden sonra kaynak hattı tespit edilememiştir [T.Nguyen et al, 2004].

Shiu-Won Hung yaptığı çalışmada kaynak hattı dayanımı ölçmek için özel bir kalıp tasarlamıştır. Parça üzerinde kaynak hattı oluşturmak için 3 çeşitli engel koymuştur: Daire, kare ve üçgen. Ayrıca bu deneyleri çeşitli enjeksiyon parametrelerinde tekrarlamıştır.

Kaynak hattı oluşan bölgeden çekme deney numuneleri kesilmiş ve deneye tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak kaynak hattı dayanımı en fazla daire engelinde bulunmuştur.

Daha sonra daire çapı kademeli olarak büyütülmüş ve dayanıma etkisi incelenmiştir.

Çapların büyümesiyle kaynak hattı dayanımında artış gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar eşliğinde, tasarımın değiştirilmesinin mukavemete olumlu etki yapabileceğini gözlemiştir [Shiu-Won Hung, 2000].

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Giriş

Bu çalışma plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde sıklıkla karşılaşılan kaynak hattı hatalarının mekanik özelliklere etkisini araştırmayı amaçlamaktadır.

Kaynak hattı bölgesinde karşılaşılan plastik akışlar kendi aralarında belirli bir açı yaparak birleşir. Bu açı eriyik plastiğin etrafından dolaştığı engelin geometrisine göre değişkenlik gösterir. Birbiriyle karşılaşılan eriyik plastik içindeki moleküller kaynak hattı bölgesinde düzgün bir şekilde dağılamazlar. Akışların doğrudan doğruya karşı karşıya gelmesiyle oluşan kaynak hattı bölgesinde, moleküllerin dağılımı karmaşıkken; belirli bir açıyla birleşen eriyik plastik moleküllerinin dağılımı daha düzgün olmaktadır [Uzel, 2008].

Bu çalışmada, kaynak hattı bölgesinde oluşan birleşim açısını değiştirmek için plastik enjeksiyon kalıbı içerisine, farklı açılarda kalıp lokmaları yerleştirilmiştir. Böylece kalıba yerleştirilen her kalıp lokması farklı açılarda kaynak hattı oluşmasını sağlamıştır. Kalıptan çıkan ürünlerden çekme ve darbe deneylerinde kullanılacak standart ölçülerde parçalar kesilmiştir. Elde edilen deney numuneleri çekme ve darbe deneylerine tabi tutularak kaynak hattı açısının mukavemet yönünden etkisi incelenmiştir.

Ayrıca Moldflow Insight programıyla deneysel olarak incelenen her parça farklı enjeksiyon parametreleri göz önünde tutularak analiz edilmiştir.

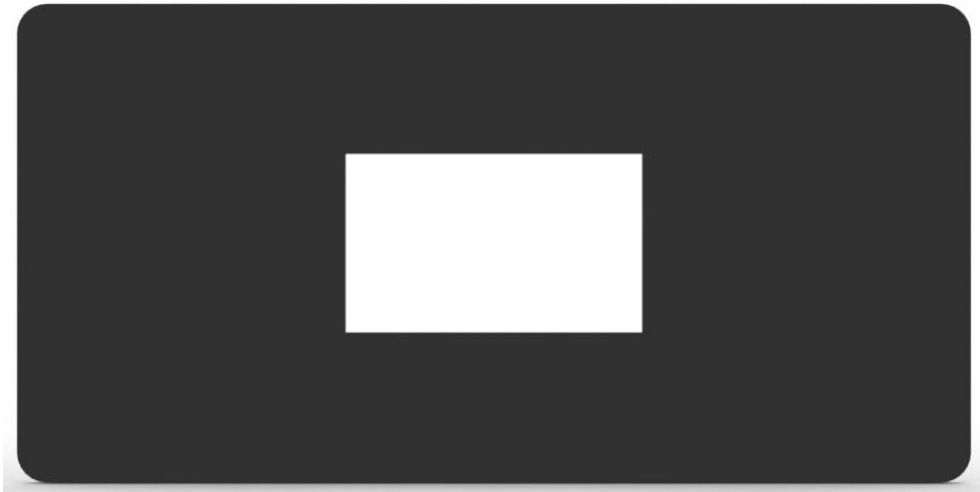
6.1.1. Plastik Malzeme Seçimi

Deneysel çalışma için seçilen, analizlerde ve parçaların üretilmesinde kullanılan malzemenin genel özellikleri şu şekildedir;

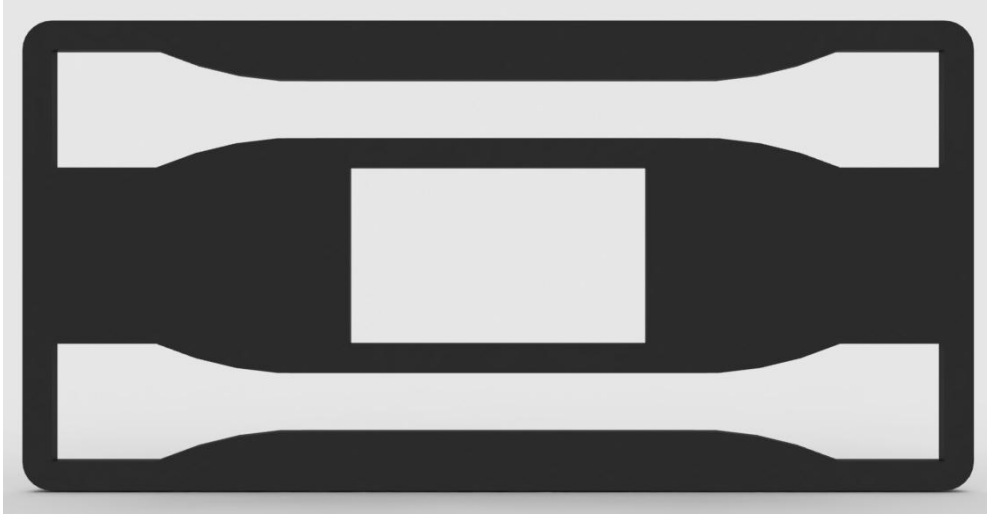
- Aile adı: Polipropilen
- Aile kısaltması: PP
- Ticari adı: C765-15NA Polypropylene Resin
- İmalatçı firma: DOW
- Malzeme yapısı: Kristalli

6.2. Parça Tasarımı

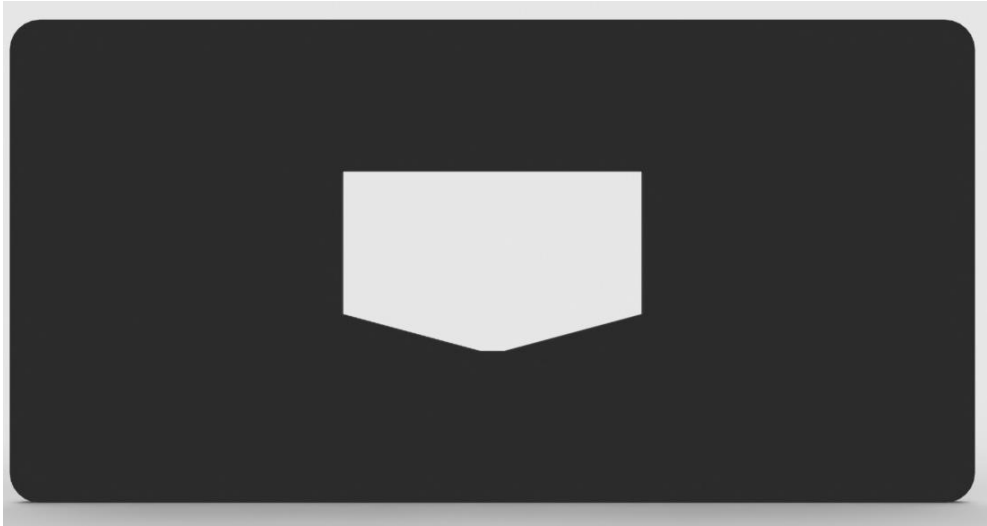
Deneylerde kullanılacak çekme ve darbe numunelerini üretebilmek için özel parçalar tasarlanmıştır. Bu parçaların ortasında bulunan engel, iki akışın birleşerek kaynak hattı oluşturmalarını sağlayacaktır. Kaynak hattını farklı açılarda oluşturmak için 3 farklı engel geometrisi kullanılmıştır. İlk parça 0° , ikinci parçada 15° ve üçüncü parça da 45° lik açıya sahiptir. Tasarlanan parça ölçüleri 4x80x160mm'dir.



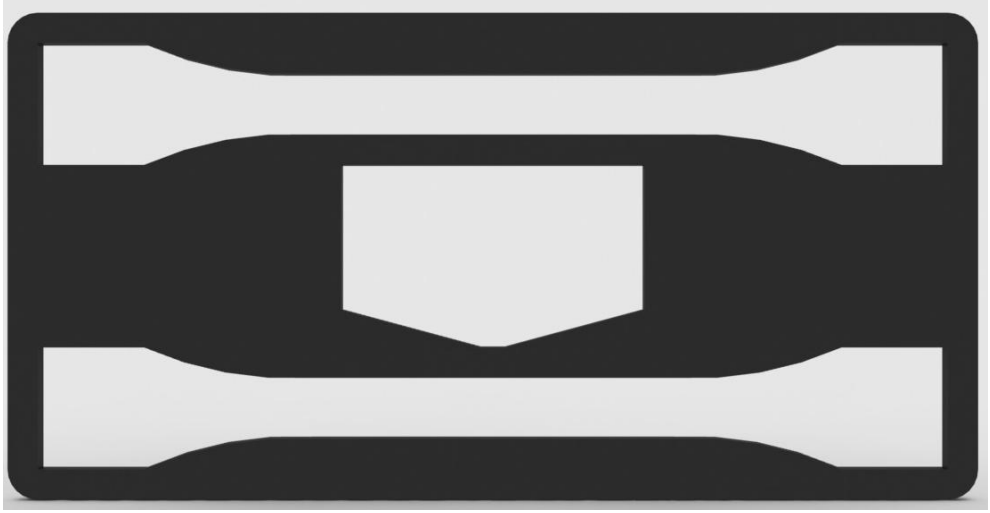
Şekil 6.1. Engel Açısı 0° Olan Parça Resmi.



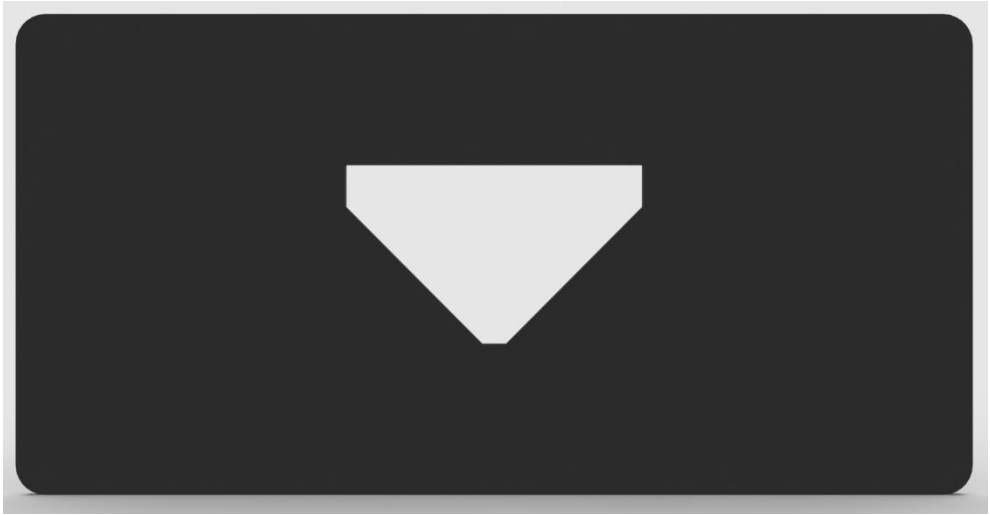
Şekil 6.2. Engel Açısı 0° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.



Şekil 6.3. Engel Açısı 15° Olan Parça Resmi.



Şekil 6.4. Engel Açısı 15° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.



Şekil 6.5. Engel Açısı 45° Olan Parça Resmi.

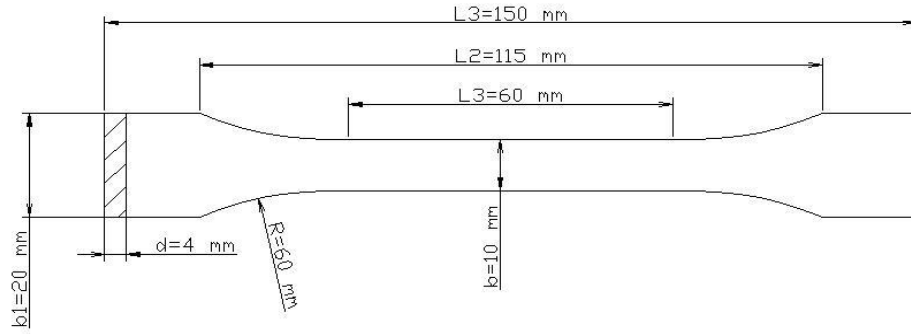


Şekil 6.6. Engel Açısı 45° Olan Parçanın Kesilmiş Resmi.

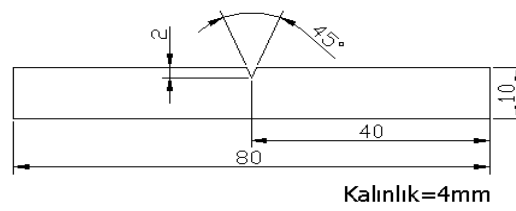
Deneylerde kullanılan çekme ve darbe deney numunelerinin ölçüleri dikkate alınarak üretilen parçalar biraz daha büyük yapılmıştır. Şekil 6.1., Şekil 6.3., ve Şekil 6.5.'deki parçaların alt kısmında kaynak hattı oluşmaktadır. Kaynak hattı oluşmayan üst taraftan ve oluşan alt taraftan (Şekil 6.7.) TS EN ISO 3861 ve ISO 180 standartlarına göre çekme ve darbe deney numuneleri kesilmiştir (Şekil 6.8., Şekil 6.9.).



Şekil 6.7. Engel Açısı 0° Olan Parçada Kaynak Hattı Oluşan ve Oluşmayan Bölgeler.



Şekil 6.8. Çekme Numunelerinin Şekil ve Boyutları (TS EN ISO 3861).

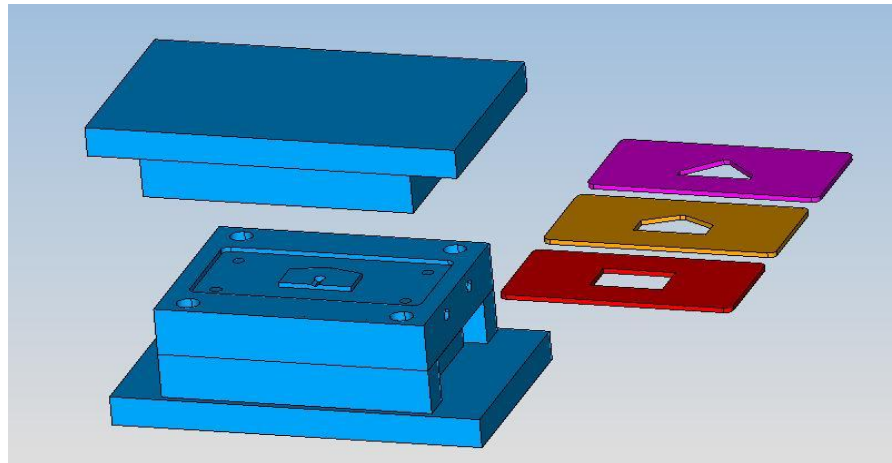


Şekil 6.9. Darbe Numunelerinin Şekil ve Boyutları (ISO 180).

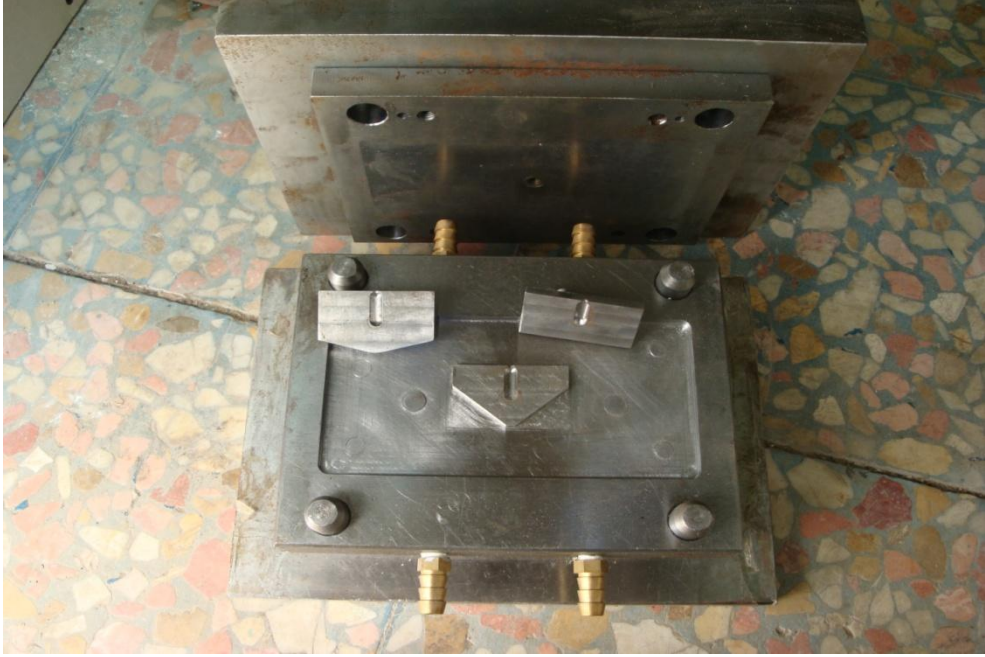
6.3. Kalıp Tasarımı

Tasarlanan enjeksiyon kalıbında, ortadaki kalıp lokması, her parça için değiştirilmiştir. Böylece akış farklı açılarda birleşmiştir.

Parça ve kalıp tasarımında I-deas CAD programı, plastik akış analizlerinde Moldflow Insight 6.1 kullanılmıştır.



Şekil 6.10. Kalıp Tasarımı.



Şekil 6.11. Üretilen Kalıbın Resmi.

6.4. Parçaların Analizlerinin Yapılması

Parçaların analizleri MPI 6.1 programında yapılmıştır. Değiştirilen kalıp lokmaları ve farklı enjeksiyon prosesleri için dolum analizleri yapılmıştır. Analizlerde eriyik sıcaklığı ve ütüleme basıncı değişkenlerinden biri sabit tutularak diğer parametre değiştirilmiştir.

Ayrıca çekme deneyi ile kıyaslama için MPI 6.1 programında mukavemet analizi yapılmıştır.

Tablo 6.1. Analizlerde ve Plastik Üretiminde Kullanılan Enjeksiyon Parametreleri.

Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütöleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütöleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
1	200	29	14	22	3	7	20	35
2	220	29	14	22	3	7	20	35
3	240	29	14	22	3	7	20	35
1	200	29	14	22	3	7	20	35
4	200	29	17	22	3	7	20	35
5	200	29	20	22	3	7	20	35

6.4.1. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları

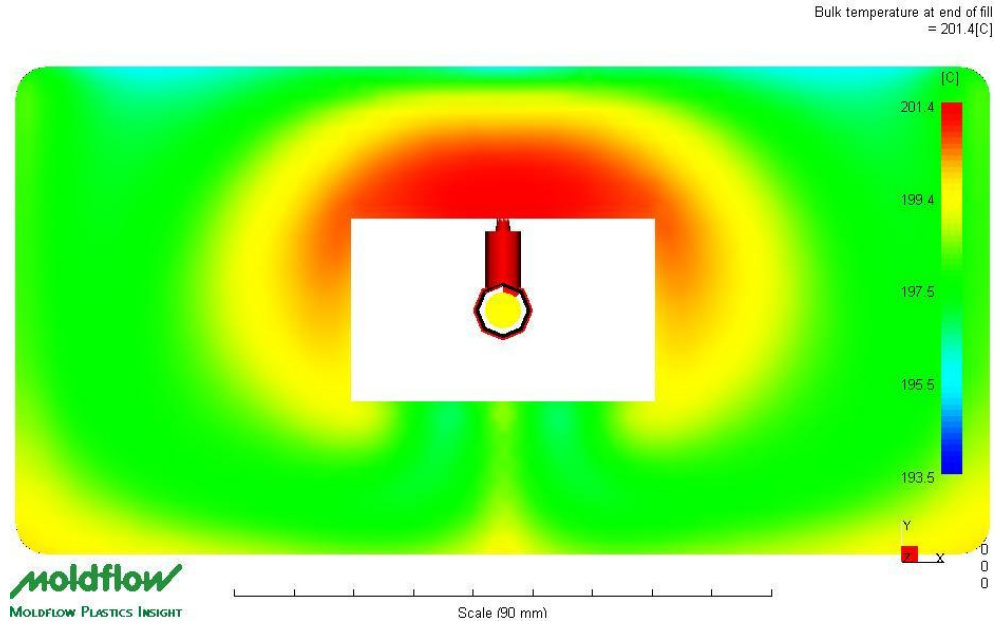
Eriyik sıcaklığı ve ütöleme basıncı değişkenleri sırasıyla analiz edilmiştir. Analizlerde kaynak hattını etkileyen sonuçlar açıklanmıştır.

6.4.1.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri

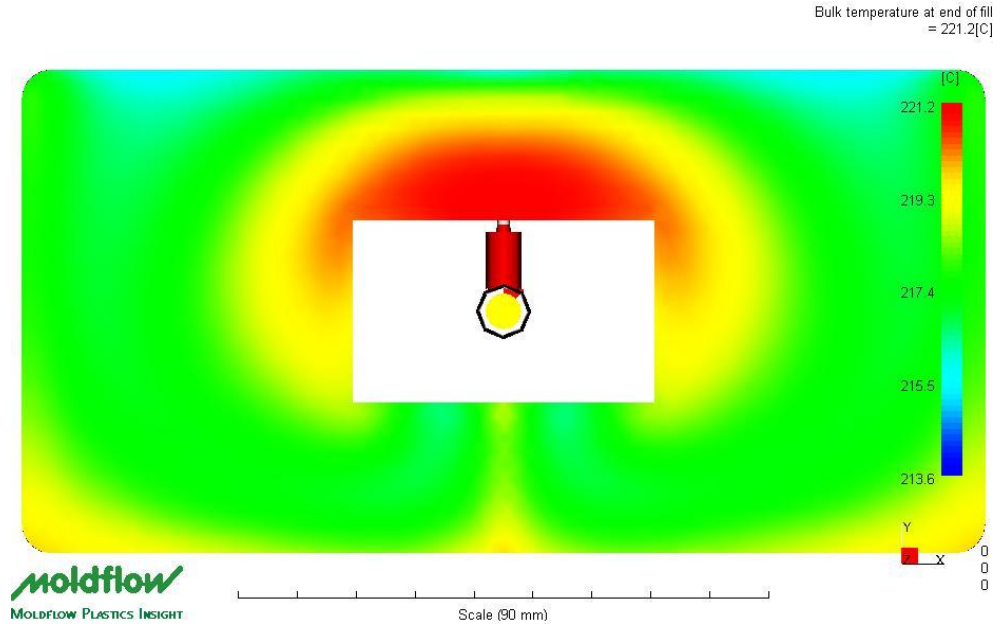
Eriyik sıcaklığı değişken, diğer parametre sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo 6.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.

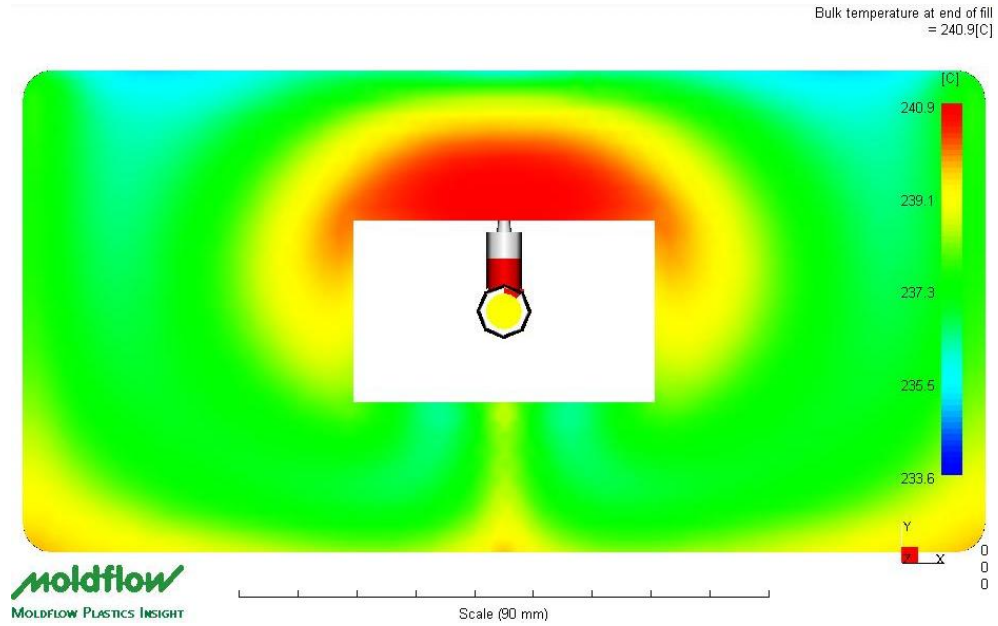
Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı °C	Kalıp Sıcaklığı °C	Ütuleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütuleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
1	200	29	14	22	3	7	20	35
2	220	29	14	22	3	7	20	35
3	240	29	14	22	3	7	20	35



Şekil 6.12. 1 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.



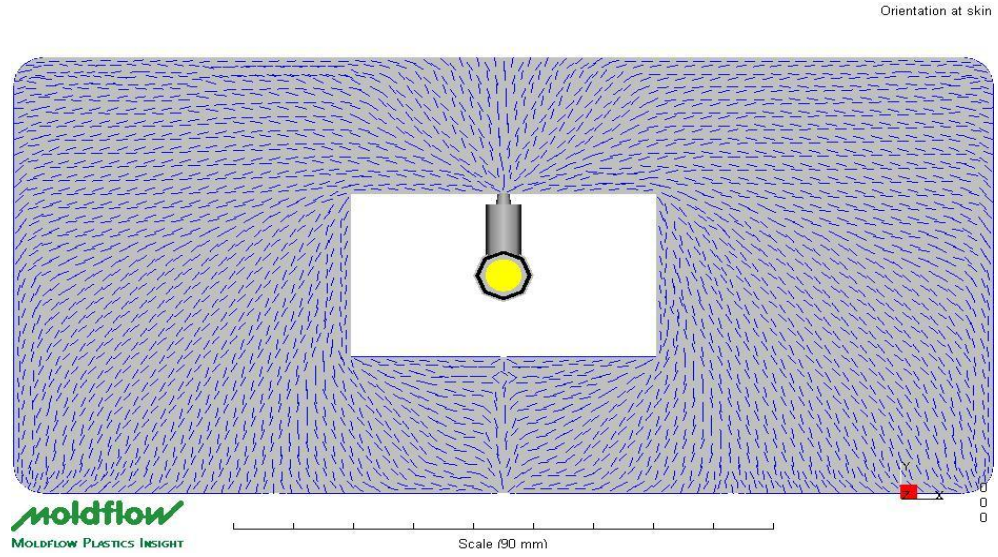
Şekil 6.13. 2 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.



Şekil 6.14. 3 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.

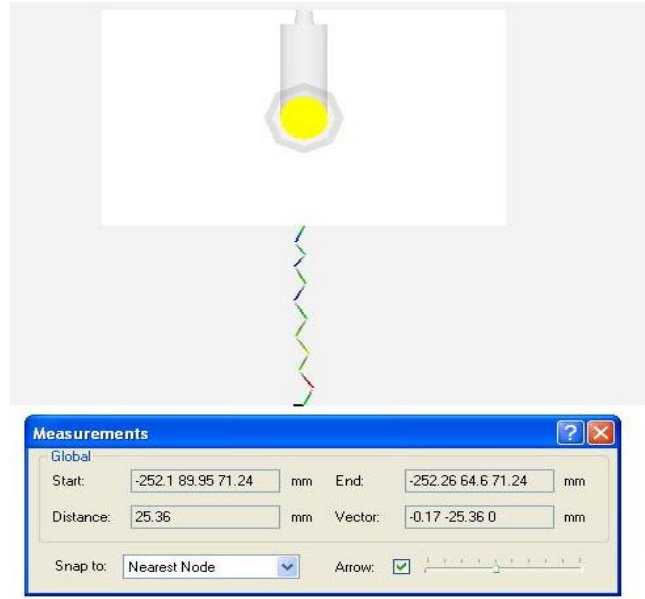
Kaynak hattı bölgesinde eriyik sıcaklığı girişe göre azalmıştır. Bunun neticesinde bu bölgede moleküler birleşme düzgün olarak gerçekleşmemiştir (Şekil 6.14.). Kaynak hattındaki sıcaklık ne kadar yüksek olursa birleşme daha iyi olmakta ve dayanım artmaktadır [Cheng and Wan, 2005]. Böylece kaynak hattı genişliği azalmaktadır [Uyaroğlu, 2003].

Eriyik sıcaklığı arttıkça kaynak hattı bölgesinin sıcaklığı artmış ve kaynak hattı genişliği azalmıştır.

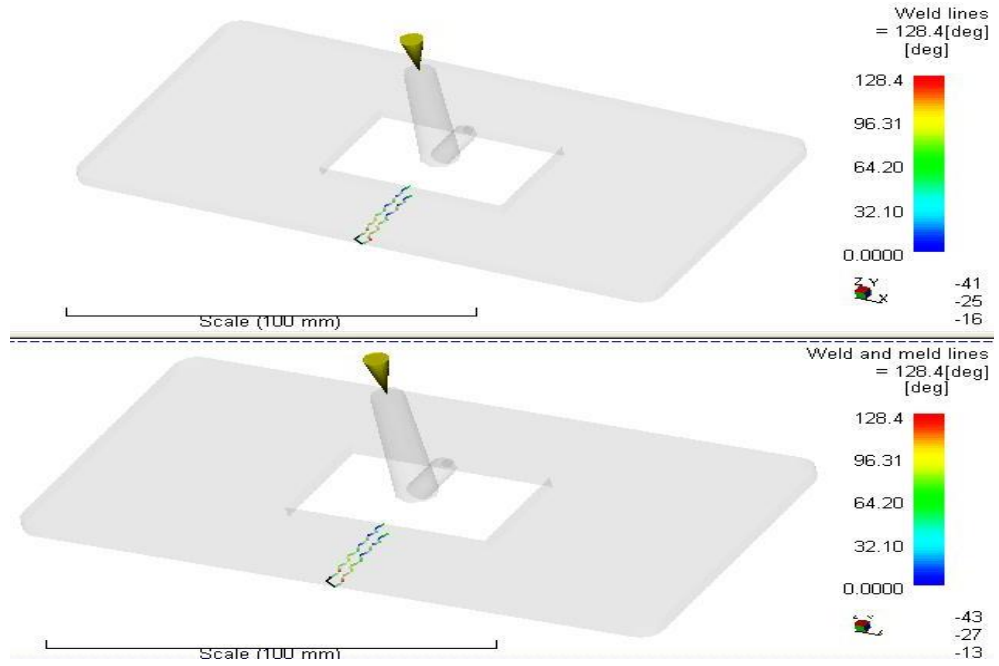


Şekil 6.15. 1 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.

Kaynak hattı bölgesinde karşılaşılan akışların oluşturduğu açı 135° 'nin altında olduğunda kaynak hattı, 135° 'nin üstünde olduğunda karışma olarak ifade edilir [Uzel, 2008]. Şekil 6.17'de görüldüğü gibi kaynak ve karışma hattı açıları arasında bir fark oluşmamıştır. Kaynak hattı olduğu bölgenin tamamında mevcuttur. Parçanın kesiti 25,36mm uzunluğundadır ve kaynak hattı boyu da 25,36 mm uzunluğunda oluşmuştur. (Şekil 6.16.). Kaynak hattı oluşturmak için kalıp içerisine yerleştirilen 0° 'lik kalıp lokması, moleküler oryantasyonun kaynak hattı boyunca aynı oluşmasına neden olmuştur (Şekil 6.15.).



Şekil 6.16. 1 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu



Şekil 6.17. 1 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.

6.4.1.2. Ütuleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri

Ütuleme basıncı değişken, diğer parametre sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo 6.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Ütuleme Basıncı Değişimi.

Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütuleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütuleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
1	200	29	14	22	3	7	20	35
4	200	29	17	22	3	7	20	35
5	200	29	20	22	3	7	20	35

MPI 6.1 programından elde edilen analiz sonuçlarına göre kalıp içerisine gönderilen plastik miktarı da Tablo 6.4.'de gösterildiği gibidir. Ütuleme basıncının artmasına paralel olarak kalıp içerisine gönderilen malzeme miktarı da artmıştır. Böylece kaynak hattı bölgesine daha çok ilave malzeme gönderilmiş, kaynak hattı genişliği azalmış ve kaynak hattı dayanımı olumlu yönde etkilenmiştir. Benzer çalışmalarda da Uyaroğlu ve Rodney bu sonuçlara değinmişlerdir [Uyaroğlu, 2003, Rodney, 2002].

Tablo 6.4. Ütuleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.

Deney Numarası	Enjeksiyon Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Ütuleme Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Kalıba Giren Malzeme Miktarı (gr)
1	37,1	41,16	4,06
4	37,1	41,22	4,12
5	37,1	41,28	4,18

Bu sonuçlar eşliğinde ütuleme basıncının artmasıyla kaynak hattı dayanımının artabileceği söylenebilir. Kaynak hattı dayanımının en fazla 5 numaralı parçada olması beklenmektedir.

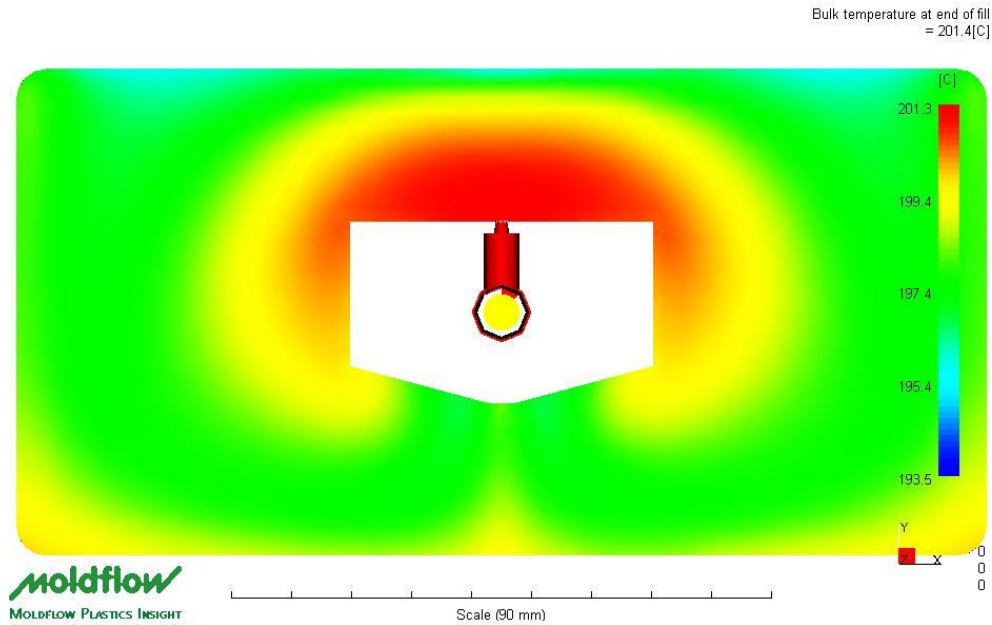
6.4.2. 15°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları

6.4.2.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri

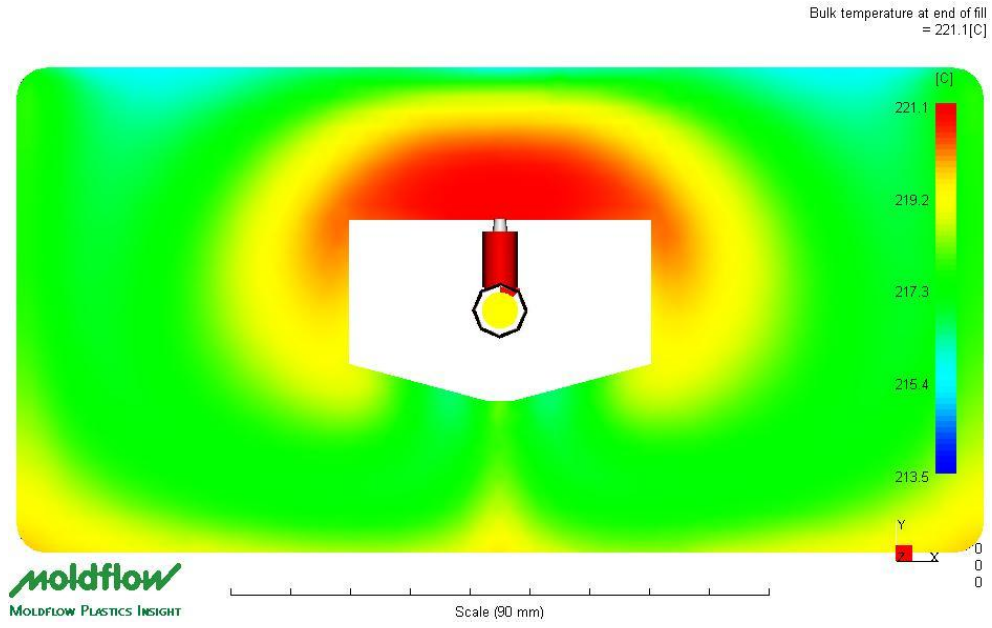
Eriyik sıcaklığı değişken, diğer parametreler sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo 6.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.

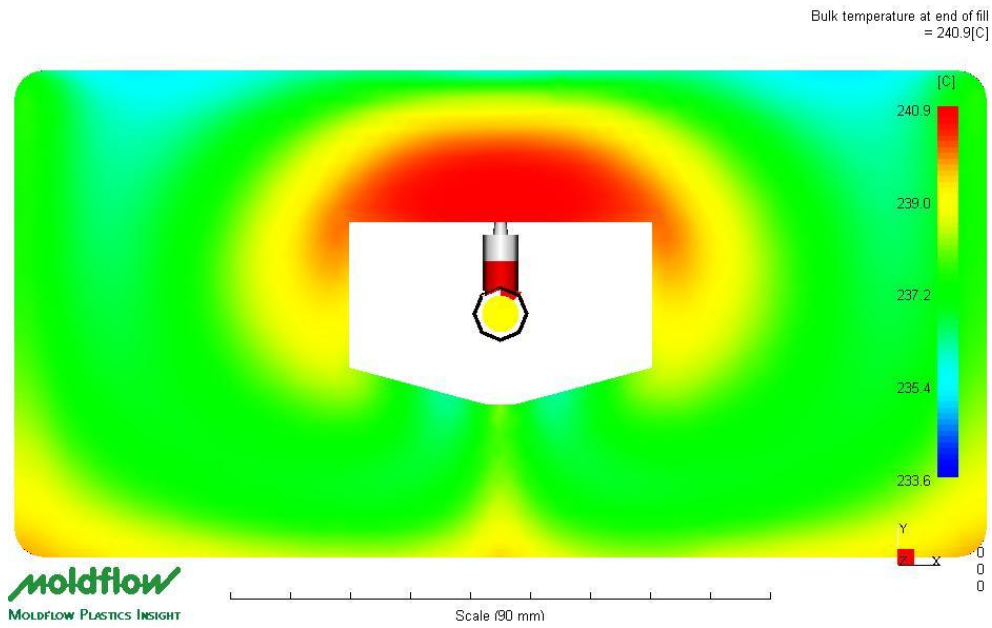
Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütuleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütuleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
6	200	29	14	22	3	7	20	35
7	220	29	14	22	3	7	20	35
8	240	29	14	22	3	7	20	35



Şekil 6.18. 6 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.



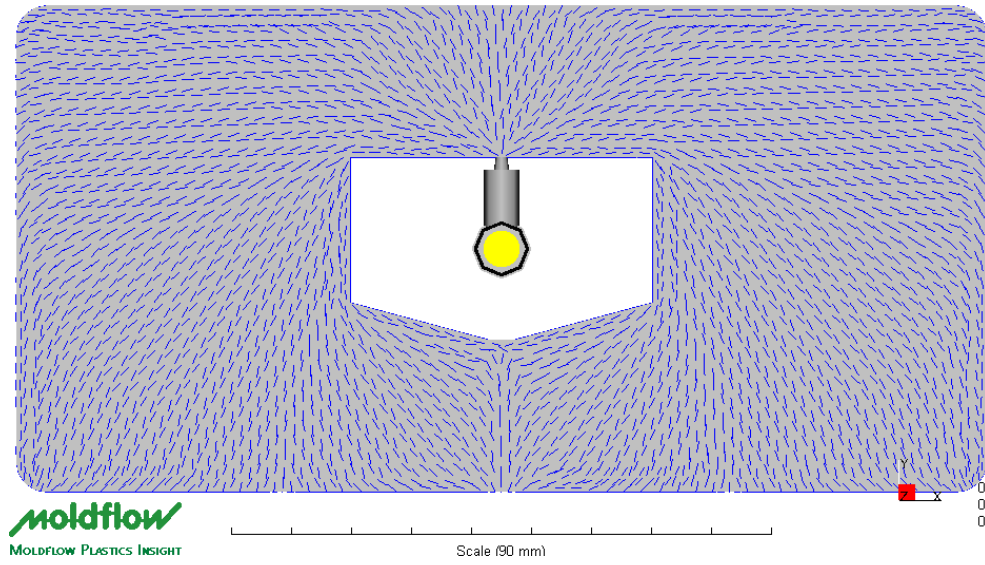
Şekil 6.19. 7 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.



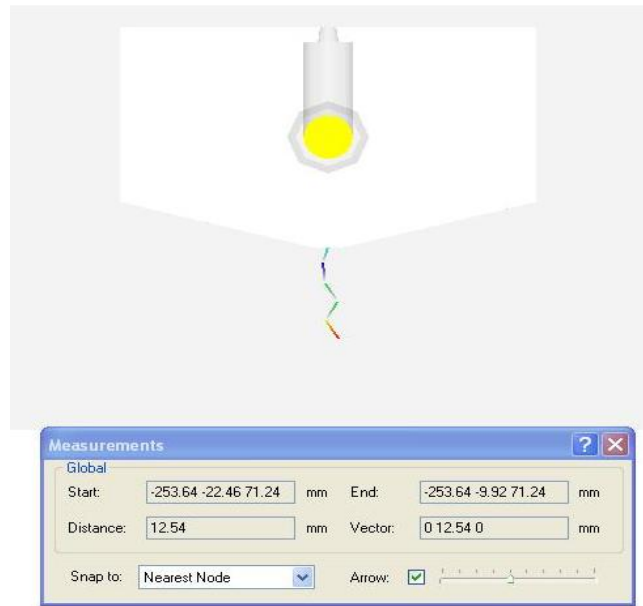
Şekil 6.20. 8 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.

Dolum sonrasındaki sıcaklık dağılımı göz önünde tutulduğunda, kaynak hattı bölgesindeki en yüksek sıcaklık 8 numaralı parçada görülmüştür. Dolayısıyla kaynak hattı dayanımının daha yüksek olması beklenmektedir.

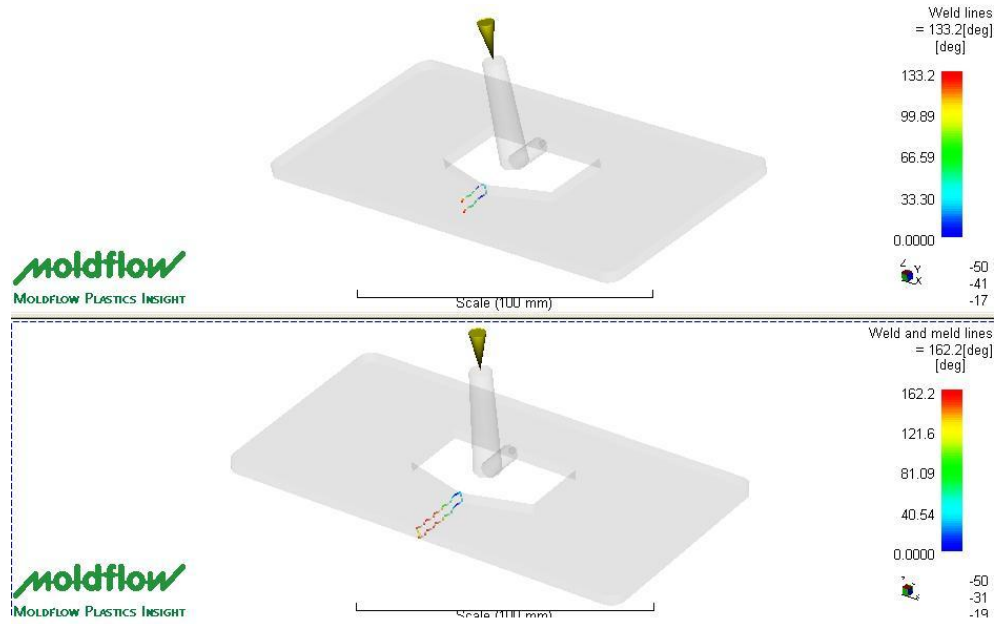
Orientation at skin



Şekil 6.21. 6 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.



Şekil 6.22. 6 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu



Şekil 6.23. 6 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.

15°'lik kalıp lokmasıyla yapılan moleküler oryantasyon (Şekil 6.21.), 0°'lik kalıp lokmasında görülen moleküler oryantasyondan daha düzgün oluşmuştur (Şekil 6.15.). Ayrıca kaynak hattında oluşan kaynak hattı bölgesi kısalmış (Şekil 6.22.) ve karışma hattı açısı artmıştır (Şekil 6.23.). Dolayısıyla kaynak hattı dayanımı artmıştır.

Uyaroğlu ve Uzel yaptıkları benzer sonuçları yaptıkları çalışmalarda belirtmişlerdir [Uyaroğlu, 2003, Uzel, 2008].

6.4.2.2. Ütöleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri

Ütöleme basıncı değişken, diğer parametre sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo 6.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Ütöleme Basıncı Değişimi.

Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütöleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütöleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
6	200	29	14	22	3	7	20	35
9	200	29	17	22	3	7	20	35
10	200	29	20	22	3	7	20	35

MPI 6.1 programından elde edilen analiz sonuçlarına göre kalıp içerisine gönderilen plastik miktarı da Tablo 6.7.'de gösterildiği gibi farklılık göstermektedir.

Tablo 6.7. Ütöleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.

Deney Numarası	Enjeksiyon Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Ütöleme Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Kalıba Giren Malzeme Miktarı (gr)
6	37,5	41,6	4,1
9	37,5	41,66	4,16
10	37,5	41,72	4,22

Bu sonuçlar eşliğinde, ütöleme basıncın artmasıyla ilave malzeme miktarı artacağı, kaynak hattı genişliğinin azalacağı ve kaynak hattı dayanımı olumlu yönde etkileyeceği görülmüştür. Kaynak hattı dayanımının en fazla 10 numaralı parçada olması beklenmektedir.

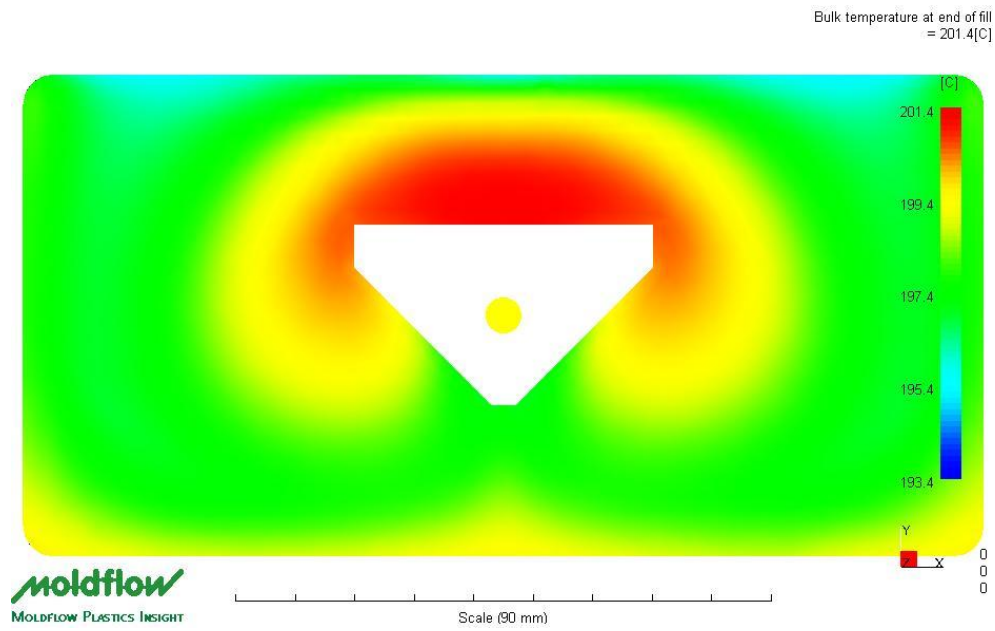
6.4.3. 45°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Parçaların Analiz Sonuçları

6.4.3.1. Eriyik Sıcaklığı Farklı Parçaların Analizleri

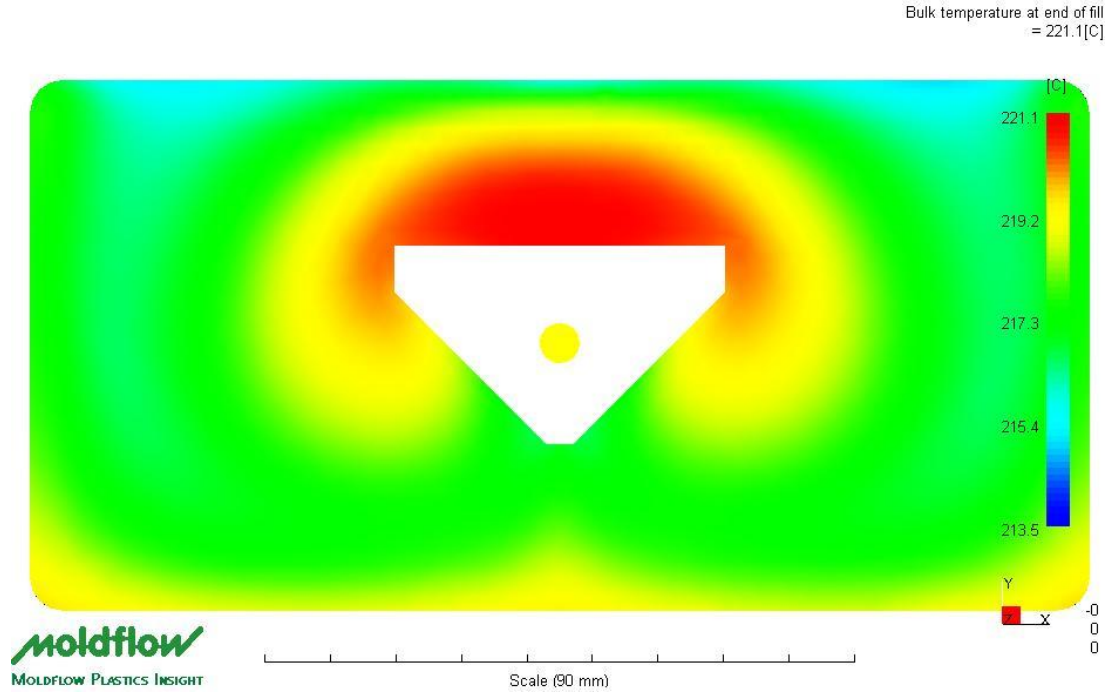
Eriyik sıcaklığı değişken, diğer parametreler sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo6.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Eriyik Sıcaklığı Değişimi.

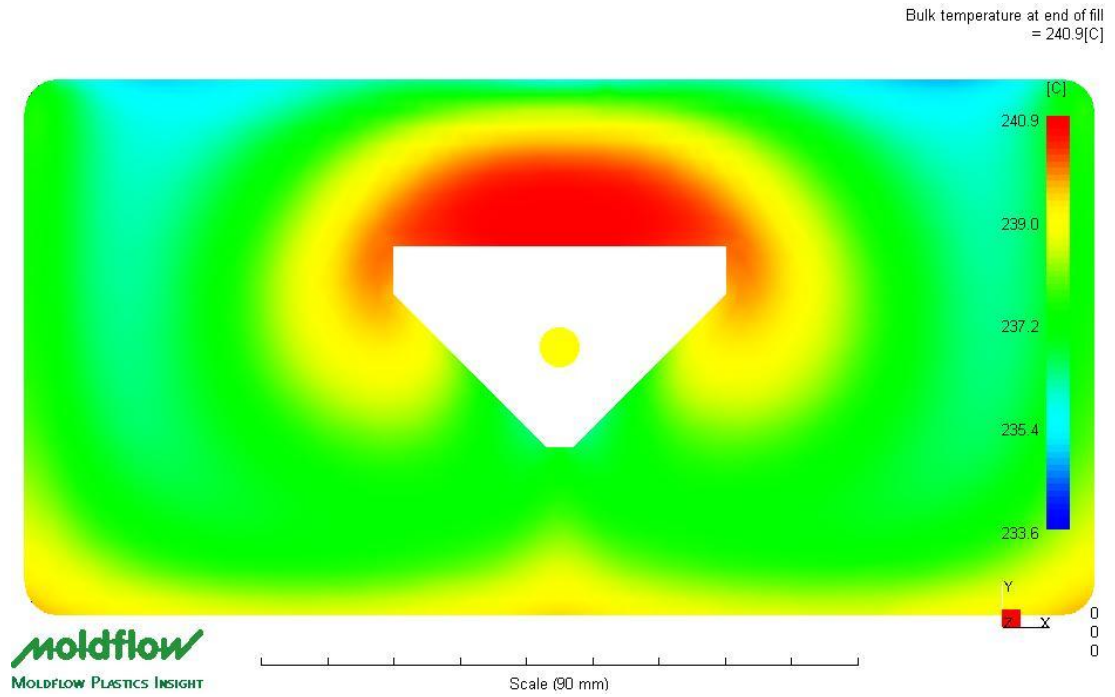
Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütuleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütuleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
11	200	29	14	22	3	7	20	35
12	220	29	14	22	3	7	20	35
13	240	29	14	22	3	7	20	35



Şekil 6.24. 11 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.

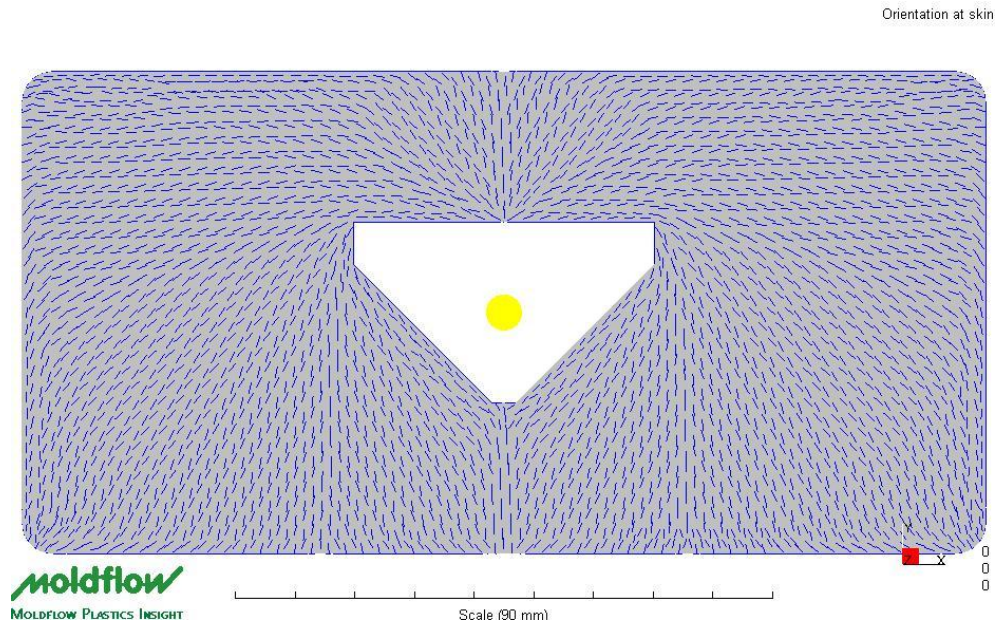


Şekil 6.25. 12 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.

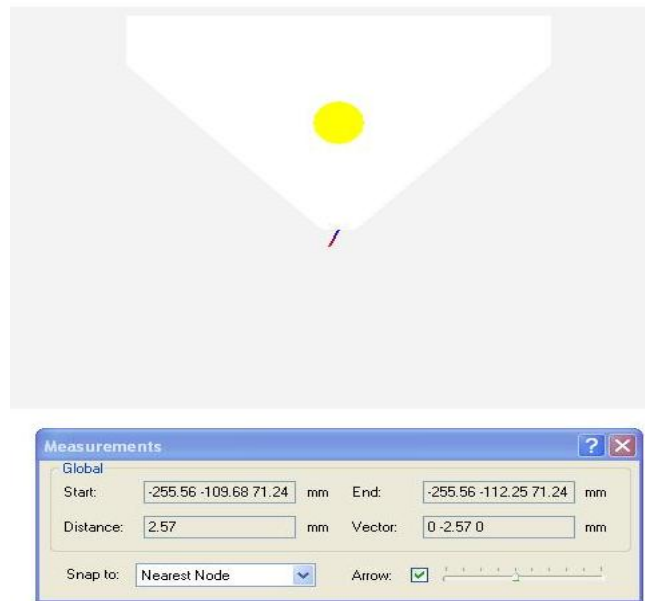


Şekil 6.26. 13 Numaralı Parçanın Eriyik Sıcaklık Analizi.

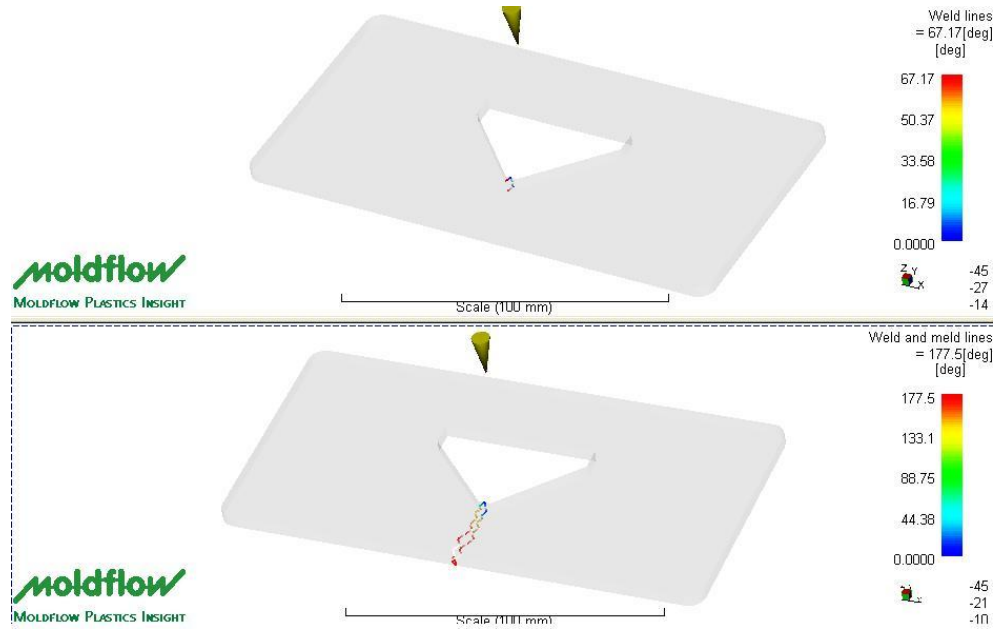
Dolum sonrasındaki sıcaklık dağılımı göz önünde tutulduğunda, kaynak hattı bölgesindeki en yüksek sıcaklık 13 numaralı parçada görülmüştür. Dolayısıyla kaynak hattı dayanımının daha yüksek olması beklenmektedir.



Şekil 6.27. 11 Numaralı Parçanın Moleküler Oryantasyonu.



Şekil 6.28. 11 Numaralı Parçanın Kaynak Hattı Uzunluğu.



Şekil 6.29. 11 Numaralı Parçada Oluşan Kaynak ve Karışma Hattı Bölgesi.

45°'lik kalıp lokmasıyla oluşan moleküler oryantasyon (Şekil 6.27.), 15°'lik kalıp lokmasında görülen moleküler oryantasyondan (Şekil 6.21.) daha düzgün oluşmuştur. Kaynak hattı bölgesi kısalmış (Şekil 6.28.) ve karışma hattı açısı artmıştır (Şekil 6.29.). Dolayısıyla kaynak hattı dayanımı artmıştır.

6.4.3.2. Ütöleme Basıncı Farklı Parçaların Analizleri

Ütöleme basıncı değişken, diğer parametreler sabit olan parçanın analizlerinde kullanılan proses şartları Tablo6.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 6.9. Ütöleme Basıncı Değişimi.

Deney Numarası	Eriyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Ütöleme Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Enjeksiyon Zamanı (sn)	Ütöleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çevrim Zamanı (sn)
11	200	29	14	22	3	7	20	35
14	200	29	17	22	3	7	20	35
15	200	29	20	22	3	7	20	35

MPI 6.1 programından elde edilen analiz sonuçlarına göre kalıp içerisine gönderilen plastik miktarı da Tablo 6.10.'de gösterildiği gibi farklılık göstermektedir.

Tablo 6.10. Ütöleme Basıncı Esnasında Kalıba Giren İlave Malzeme Miktarı.

Deney Numarası	Enjeksiyon Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Ütöleme Basıncı Sonunda Parça Ağırlığı (gr)	Kalıba Giren Malzeme Miktarı (gr)
11	39,22	41,68	2,46
14	39,23	41,83	2,6
15	39,23	41,94	2,71

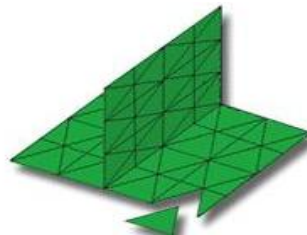
Bu sonuçlar eşliğinde ütöleme basıncın artmasıyla kaynak hattı dayanımının artabileceğini söyleyebiliriz. Kaynak hattı dayanımının en fazla 15 numaralı parçada olması beklenmektedir.

6.5. Çekme Analizinin Yapılması

MPI 6.1 programında çekme deneyi numunesine sınır şartları verilerek çekme analizi yapılmıştır. Ancak kaynak hattı bölgesi ve enjeksiyon prosesleri analizde tanımlanamadığı için malzeme ideal homojen bir malzeme olarak kabul edilmiştir.

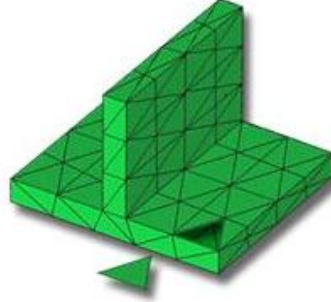
MPI 6.1. programında 3 tip mesh vardır: Midplane, fussion ve 3D mesh.

Midplane mesh stres analizlerinde ve basit akış analizlerinde kullanılmaktadır. 2 boyutlu bir yapıya sahiptir. Hesaplaması çok hızlı olmakla beraber kullanım alanı sınırlıdır (Şekil 6.30.).



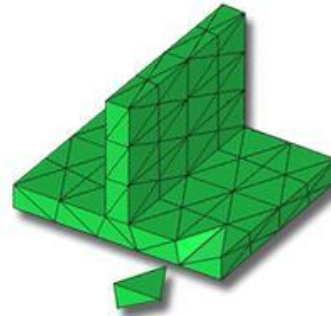
Şekil 6.30. Midplane Mesh

Fussion mesh genel tüm akış analizlerinde kullanılır. Yüzey mesh olarak da bilinir. Analizi yapılacak 3 boyutlu parçanın yüzeylerini kapayacak şekilde mesh oluşturur. Yaygın olarak tercih edilen mesh tipidir (Şekil 6.31.).



Şekil 6.31. Fussion Mesh

3D mesh, fussion mesh üzerinden bina edilerek oluşturulur. Fussion mesh üzerindeki hatalar giderildikten sonra 3D mesh oluşturulur. Analizi yapılacak parçanın kesiti alındığında tüm noktadaki sonuçlar incelenebilmektedir (Şekil 6.32.).

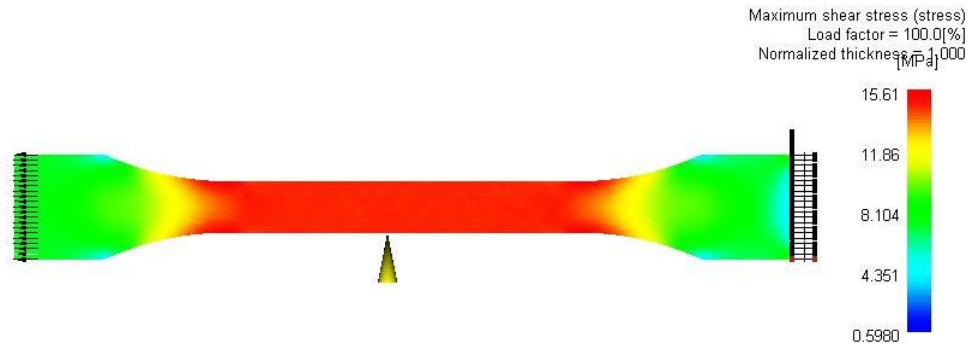


Şekil 6.32. 3D Mesh

Akış analizlerinde mesh tipi olarak üçgen fussion mesh kullanılmıştır. Mesh üzerinde 3903lu node, 7677 eleman bulunmaktadır. Eleman boyu 1mm'dir. Maksimum aspect ratio oranı 3,33'tür.

Stres analizlerinde midplane mesh kullanılmıştır. Mesh üzerinde 2662 node, 4938 eleman bulunmaktadır. Eleman boyu 1mm'dir. Maksimum aspect ratio oranı 3,47'dir.

Şekil 6.33.'da gösterilen MPI 6.1 programında yapılmış çekme analizinde, maksimum gerilme 15,61 Mpa olarak bulunmuştur.



Şekil 6.33. Çekme Analizi.

6.6. Enjeksiyon Yöntemiyle Parçaların Üretilmesi

Plastik enjeksiyon makinesinde yapılan parça üretimleri GALSAN firmasında gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan makinenin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Max. Kapama Kuvveti : 490 KN
- Max. Enjeksiyon Basıncı : 275Mpa
- Kapama Sistemi : Hidromekanik
- Üretici Firma : Mitsubishi
- Model : 50 MEt III

Deneysel çalışmada iki enjeksiyon parametresi olarak;

- Eriyik Sıcaklığı,
- Ütöleme Basıncı,

değişken seçilmiştir. Bu iki parametrenin seçilmesinin ana nedeni şimdiye kadar yapılan çalışmalarda kaynak hattına en çok etki eden değişkenler olmasıdır. [Bkz. Bölüm 5]

Deneyler Tablo 6.1.'de verilen proses koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Kaynak hattı açısını etkileyen her parça için bu parametrelerden biri sabit tutularak diğeri değiştirilmiştir.

Her bir parça için toplam 5 değişik parametre kullanılmıştır. Yani toplamda 15 baskı alınmış ve her baskı 10ar defa tekrar edilmiştir. Bunların 5'i çekme deneyinde 5'i de darbe deneyinde kullanılmıştır.

6.7. Deney Numunelerinin Elde Edilmesi

Kalıptan çıkan üründen, bir aparat yardımıyla su jeti kullanılarak çekme ve darbe deney numuneleri elde edilmiştir. Böylece ısıl deformasyonlardan deney numuneleri etkilenmemiştir.

Parçanın kaynak hattı oluşan bölgelerinden deney numuneleri kesildiği gibi yolluk girişinin olduğu bölgeden yani kaynak hattı oluşmayan bölgeden de deney numuneleri kesilmiştir. Böylece her parça hem kendi içerisinde hem de diğer koşullarda üretilen parçalarla kıyaslanmıştır.

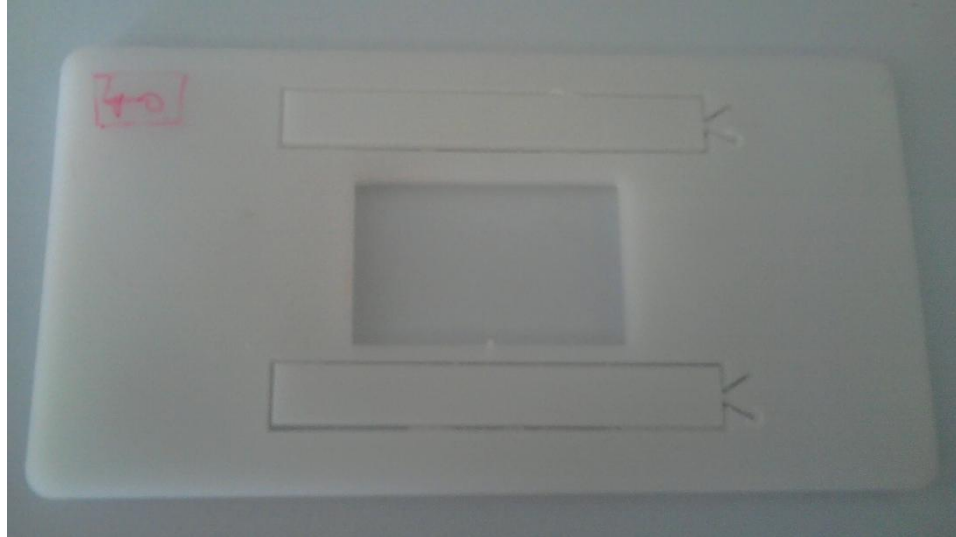
Çekme deneyinde TS 1398 EN ISO 527 standardı, darbe deneyi için ise ISO 180 standardı kullanılmıştır.



Şekil 6.34. 1 Numaralı Parçanın Dolum Analizi ve Kaynak Hattı Sonucu.



Şekil 6.35. Su Jetiyle Kesilerek Elde Edilen Çekme Numuneleri.



Şekil 6.36. Su Jetiyle Kesilerek Elde Edilen Darbe Numuneleri.

6.8. Çekme ve Darbe Deneylerinin Yapılması

Çekme deneyleri GYTE Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde INSTRON 5560 test cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.37.).



Şekil 6.37. Çekme Deneyi Cihazı.

Çekme deneyinde TS 1398 EN ISO 527 standartlarında belirtilen hızlar dikkate alınmıştır. Çekme deneylerinde hız 5mm/dk'dır.

0°'lik açıya sahip kalıp lokmasıyla üretilen parçalardan başlayarak sırayla, 15° ve 45° açıya sahip parçalar çekme deneyine tabi tutulmuştur. Öncelikle kaynak hattı oluşmayan bölgeden kesilerek elde edilen parçalar çekme deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra kaynak hattı bölgeden kesilen numunelere çekme deneyi uygulanmıştır.

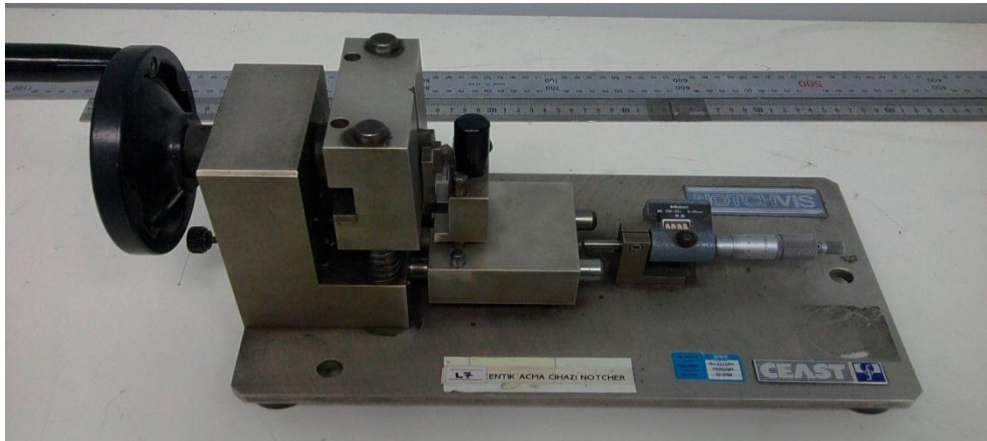
Aynı proses şartlarında üretilen her parça için deney 5 defa tekrar edilmiştir (Şekil 6.38.).



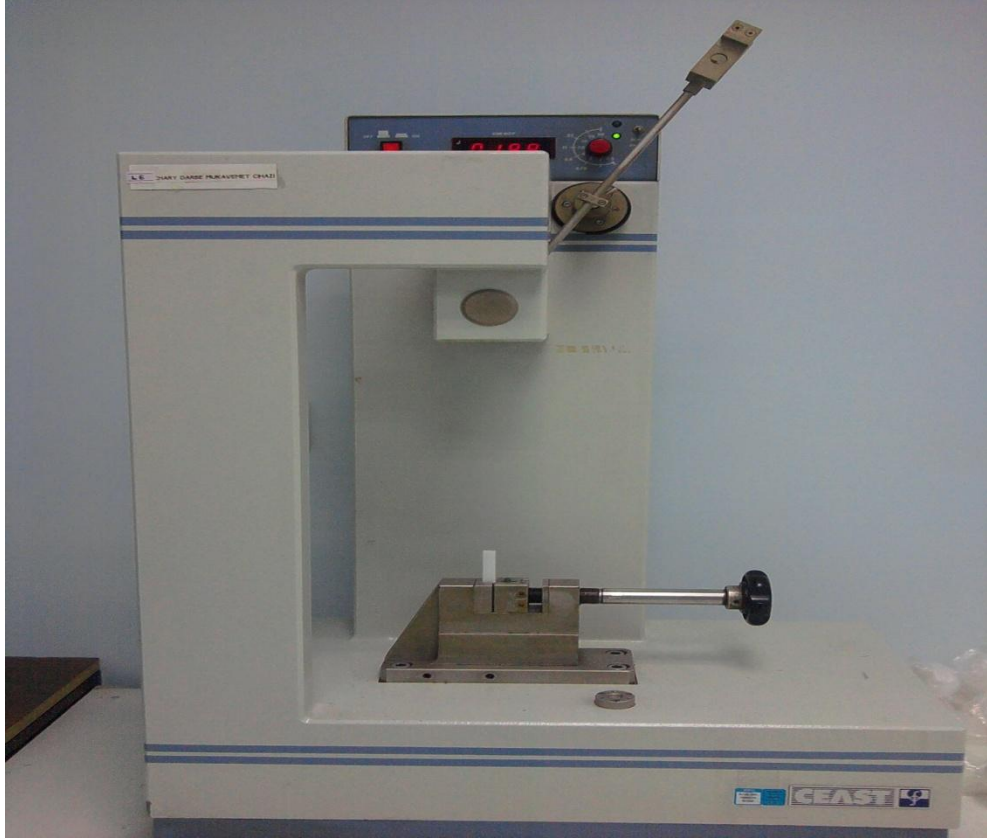
Şekil 6.38. Çekme Deneyi.

Su jetiyle kesilerek elde edilen darbe deney numunelerine, kırılmayı kolaylaştırmak çentik açma cihazında için çentikleri açılmıştır (Şekil 6.39.). Daha sonra parçalar izod darbe deneyine tabi tutulmutur (Şekil 6.40.). Aynı proses şartlarında üretilen her parça için deney 5 defa tekrar edilmiştir.

Deneyler Galsan A.Ş.'de Ceast 6545 model test cihazında ISO 180 standartına göre yapılmıştır. Çekiç 10 J olarak seçilmiştir.



Şekil 6.39. Çentik Açma Cihazı.



Şekil 6.40. Darbe Deneyi Cihazı.

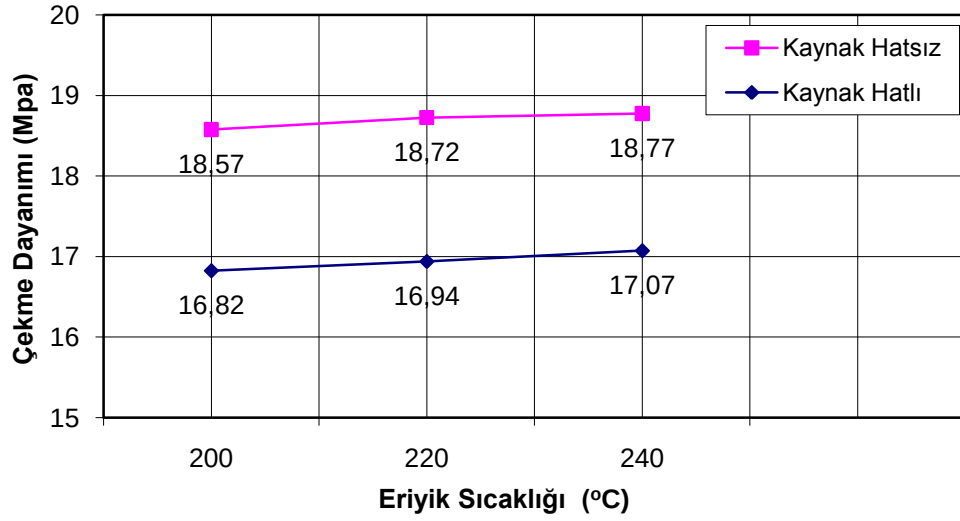
6.9. Çekme Deneyi Sonuçları

Kaynak hattı oluşan ve oluşmayan parçalar mukavemet yönünden kıyaslandığında kaynak hattı oluşmayan parçaların mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

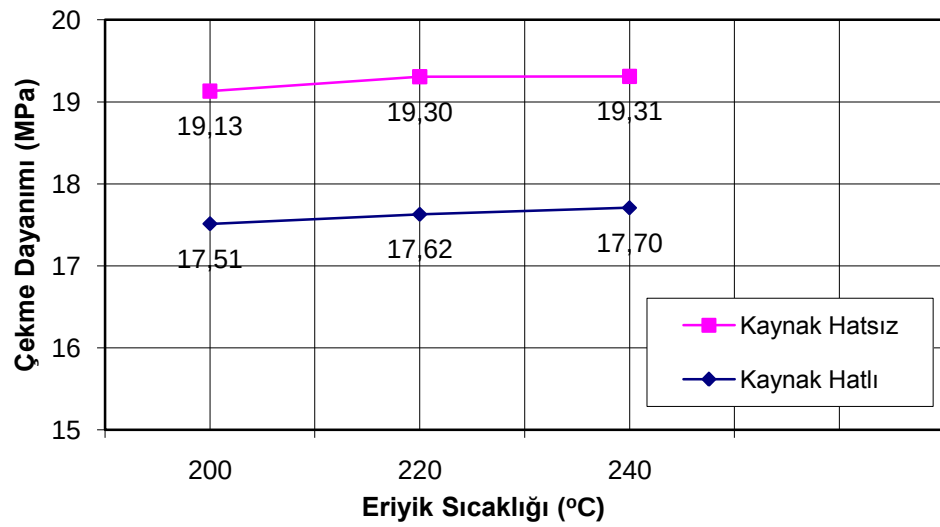
Deney sonuçlarından da görülmüştür ki eriyik sıcaklığının, kalıp sıcaklığının ve ütüleme basıncının artması kaynak hattı bölgesine olumlu etki yapmış ve parçanın dayanımını artırmıştır [Bkz. Bölüm 5].

6.9.1. Eriyik Sıcaklığı Değişimine Göre Çekme Deneyi Sonuçları

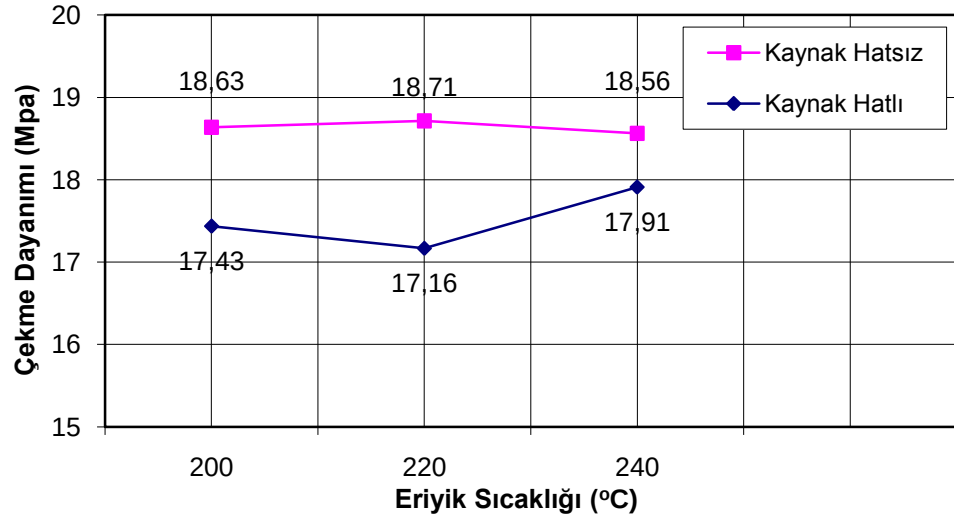
Eriyik sıcaklığının artırılması kaynak hattı bölgesinin sıcaklığının artmasını sağlamış ve kaynak hattı dayanımı olumlu yönde etkilenmiştir.



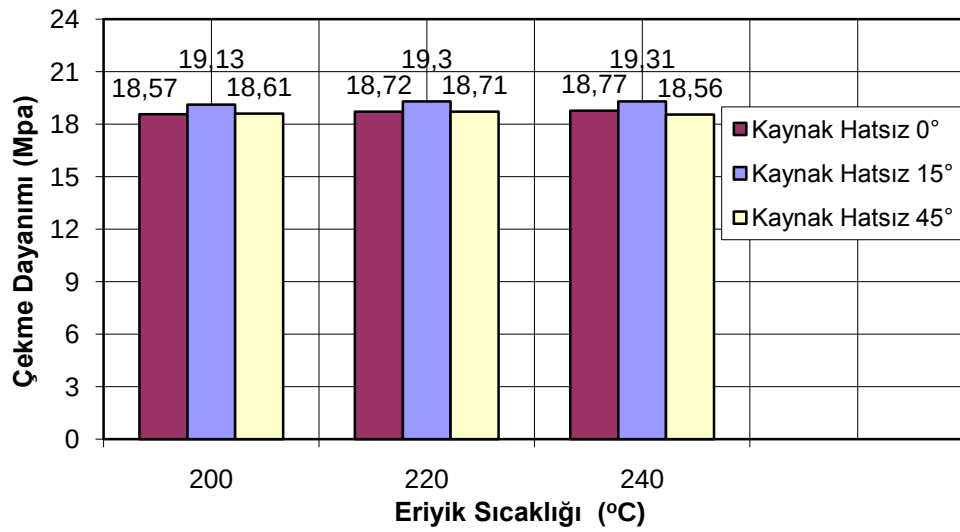
Şekil 6.41. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.



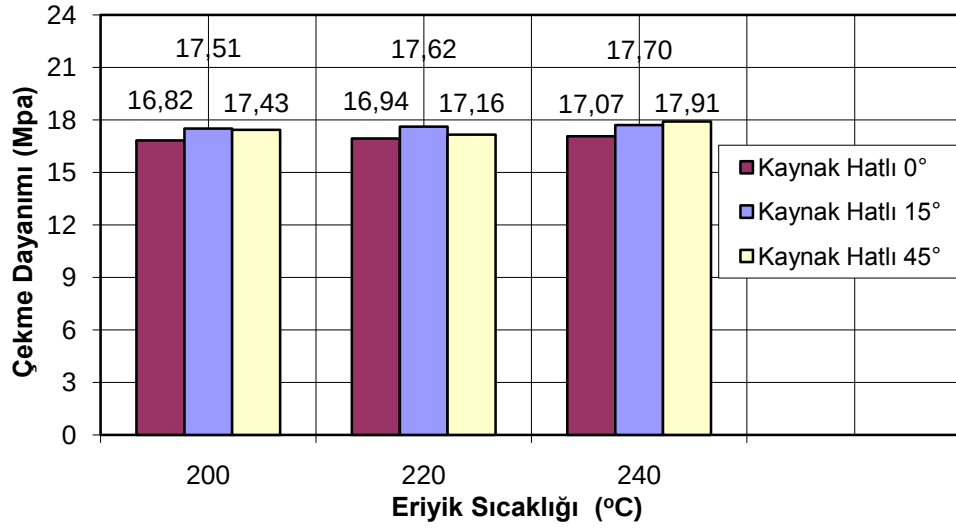
Şekil 6.42. 15°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.



Şekil 6.43. 45°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Çekme Dayanımı.



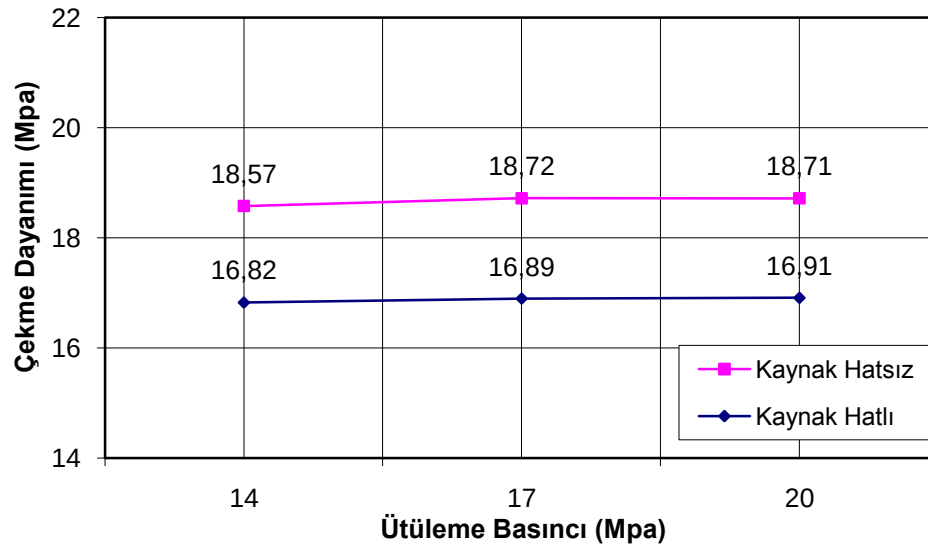
Şekil 6.44. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatsız Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.



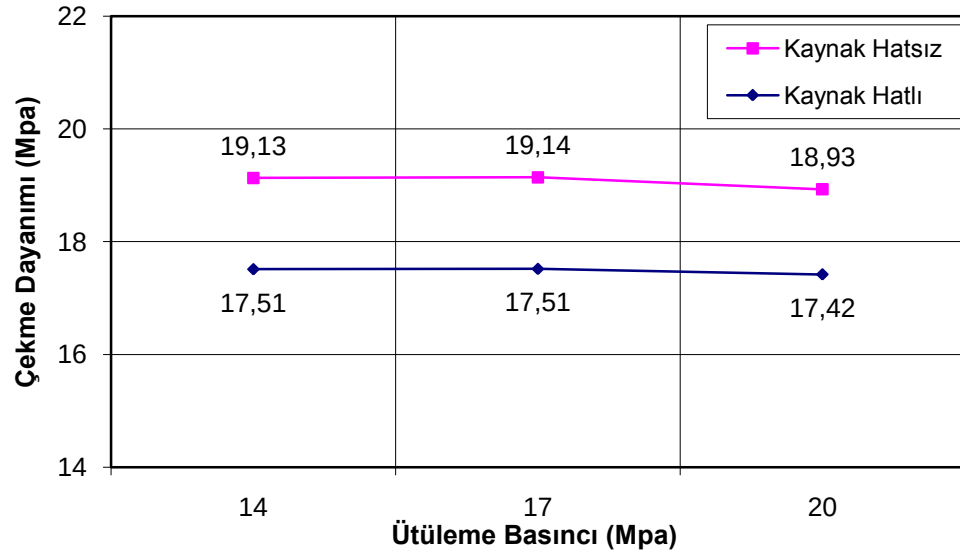
Şekil 6.45. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatlı Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.

6.9.2. Ütuleme Basıncı Değişimine Göre Çekme Deneyi Sonuçları

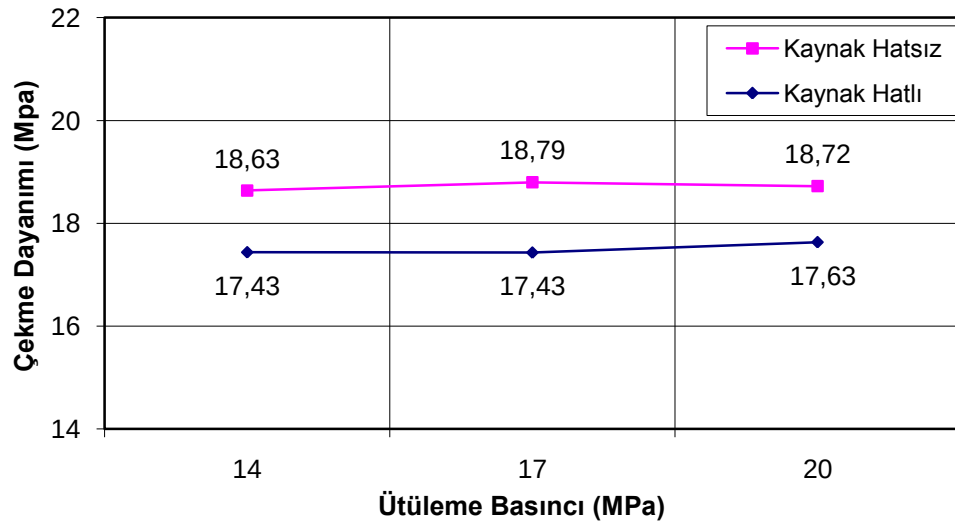
Ütuleme basıncının artmasıyla birlikte kalıp içerisine gönderilen malzeme miktarı da artmıştır. Böylece kaynak hattı bölgesine daha çok ilave malzeme gönderilmiş ve kaynak hattı dayanımı olumlu yönde etkilenmiştir.



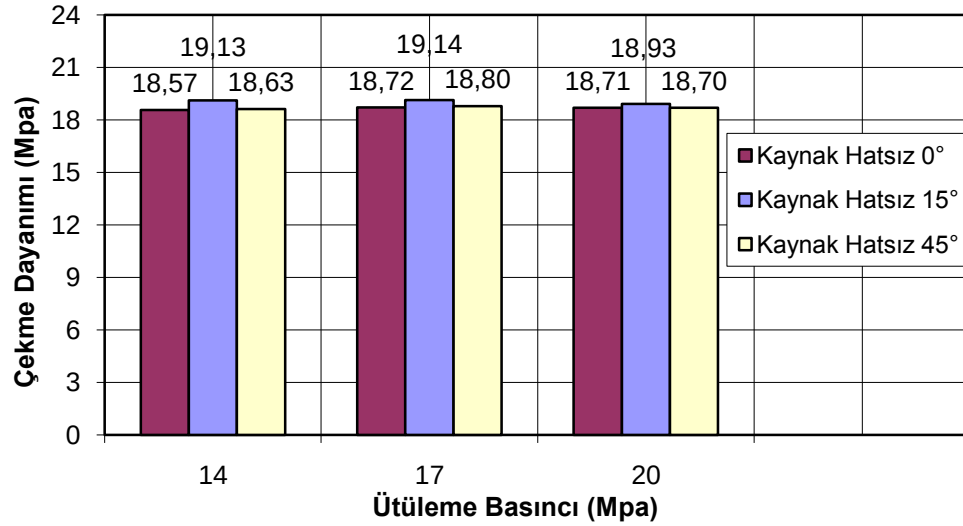
Şekil 6.46. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütuleme Basıncına Bağlı Çekme Dayanımı.



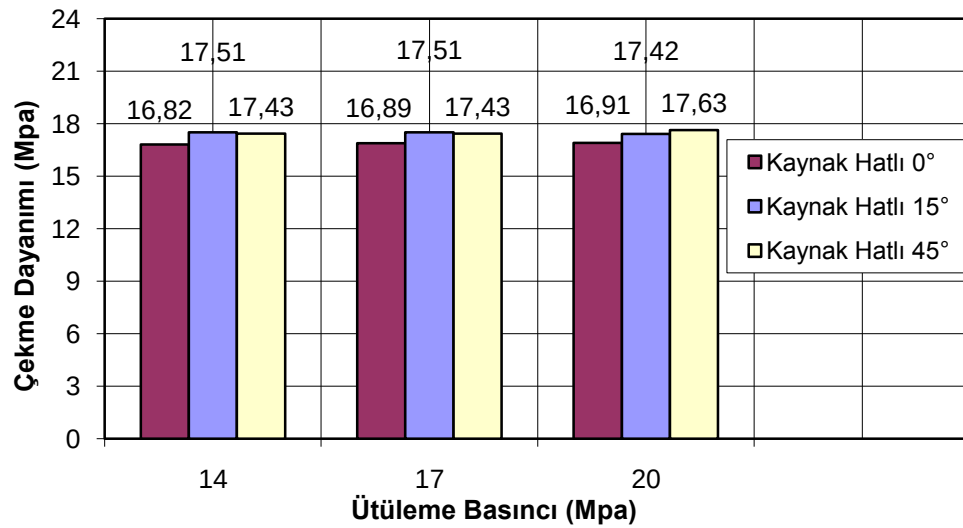
Şekil 6.47. 15°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Çekme Dayanımı.



Şekil 6.48. 45°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Çekme Dayanımı.



Şekil 6.49. Kalıp Lokma Açılımlarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatsız Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.

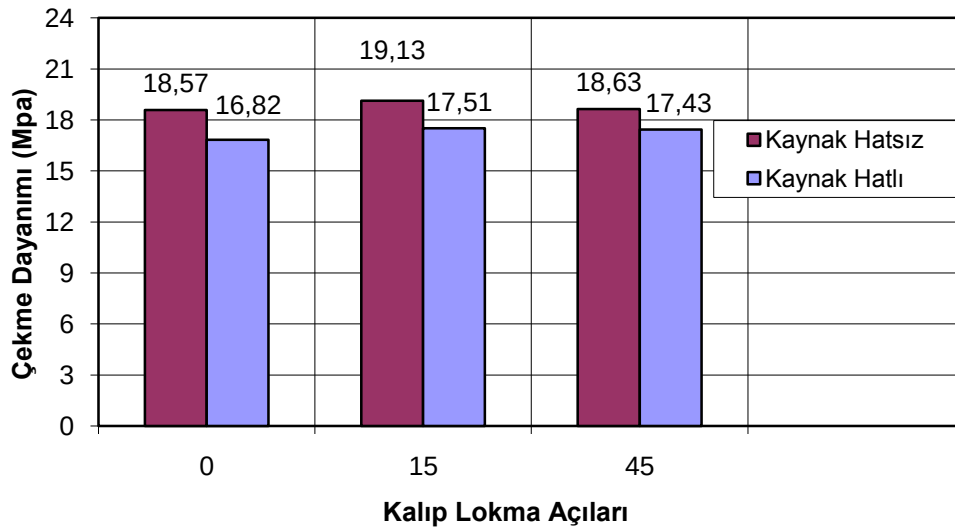


Şekil 6.50. Kalıp Lokma Açılımlarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatlı Parçalarda Çekme Dayanımına Etkisi.

6.9.3. Üç Farlı Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması

0°, 15° ve 45° açılara sahip kalıp lokmalarıyla üretilen deney numuneleri birbirleriyle kaynak hattı dayanımı yönünden kıyaslandığında en iyi sonucu 45° açıya sahip kalıp lokmasıyla üretilen deney numunesi vermiştir. Daha sonra 15°'lik parçayla üretilen deney numunesi de 0°'lik parçadan mukavemet yönünden daha

dayanıklı çıkmıştır. Yani kalıp lokmalarının açıları arttıkça dayanım da artmaktadır. Çünkü kaynak hattındaki moleküler oryantasyon, kaynak hattı açısının artmasıyla daha düzgün oluşmaktadır. Ayrıca kaynak hattında kaynak hattı bölgesi kalıp lokma açısının artmasıyla azalmakta, karışma hattı açısı da artmaktadır.

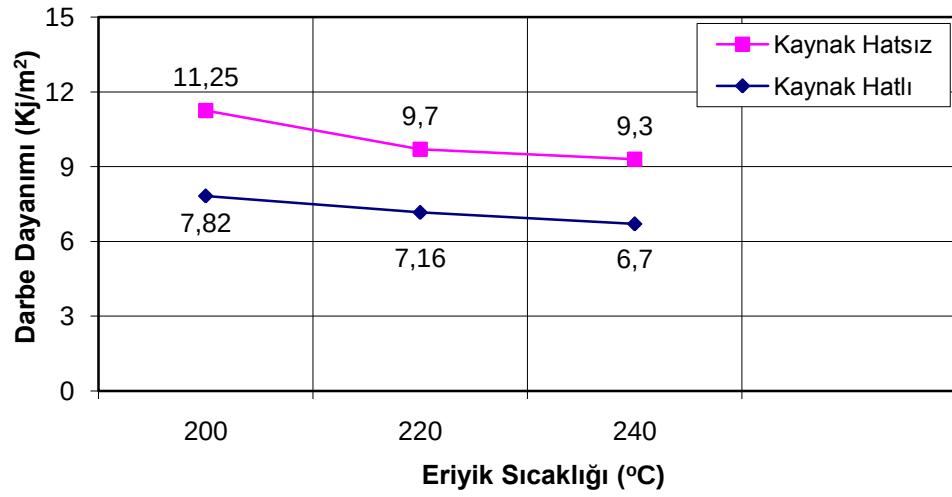


Şekil 6.51. Kalıp Lokma Açılarına Göre Çekme Dayanımı.

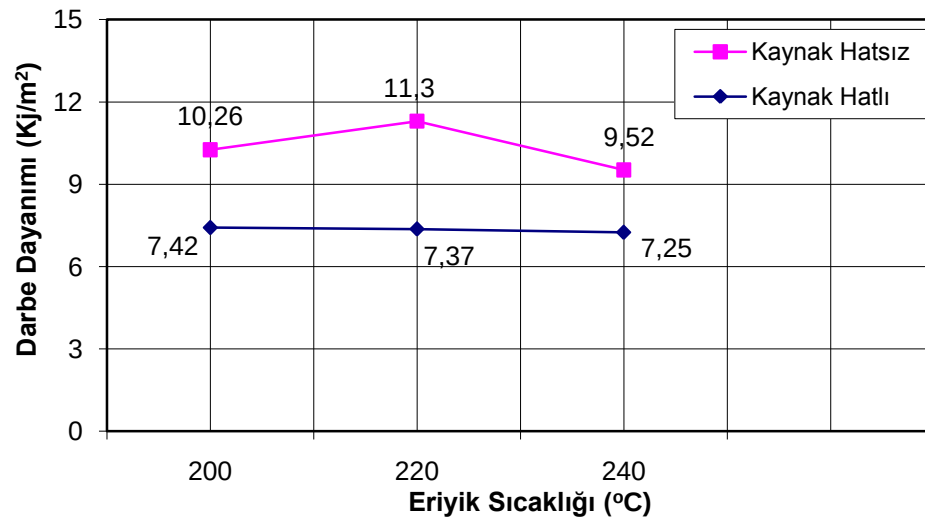
6.10. Darbe Deneyi Sonuçları

6.10.1. Eriyik Sıcaklığı Değişimine Göre Darbe Deneyi Sonuçları

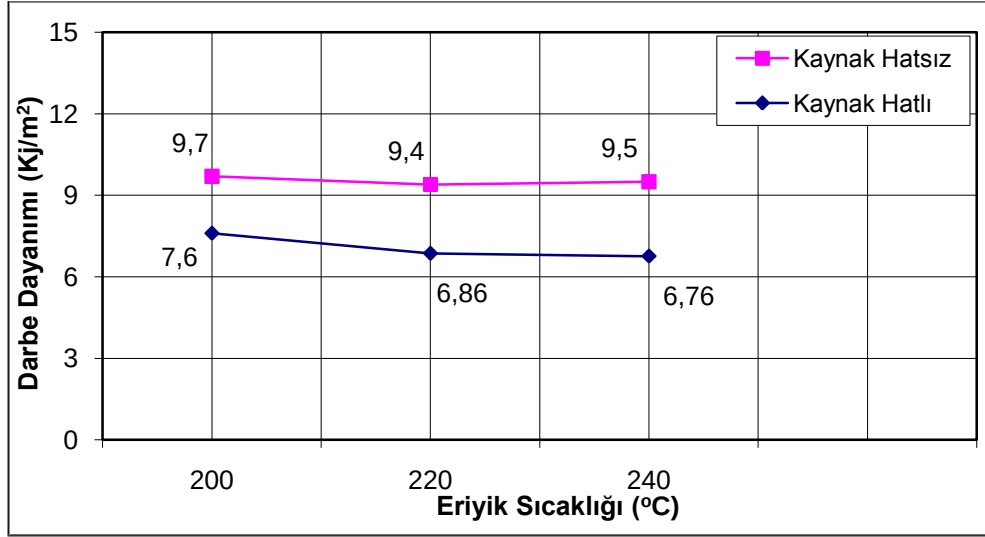
Çentik darbe dayanımı kristalleşme derecesi ile ilişkilidir. Yüksek kristalleşme oranları esnek olmayan yapılara neden olmaktadır ve bu yapıların yüksek darbe dayanımları yoktur. Kristalli yapıların şekli de çentik darbe dayanımını etkilemektedir. Plastikteki kristaller, yavaş soğumanın etkisi ile büyümeye devam ettiğinde, geniş kristalli yapılar meydana gelmekte ve bunlar düşük çentik darbe dayanımına neden olmaktadır [Altan, 2007]. Eriyik sıcaklığı arttıkça soğuma daha uzun sürerek kristalleşme oranı artacak ve darbe dayanımı azalacaktır.



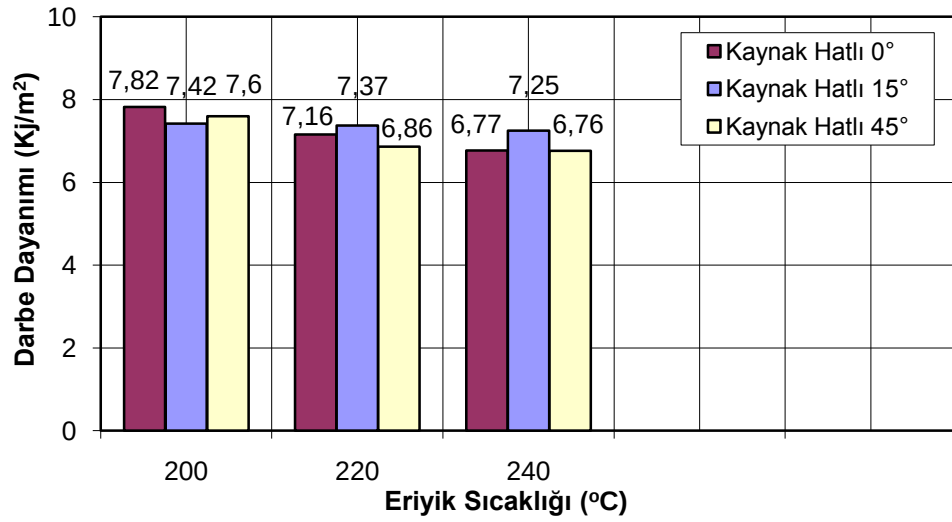
Şekil 6.52. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.



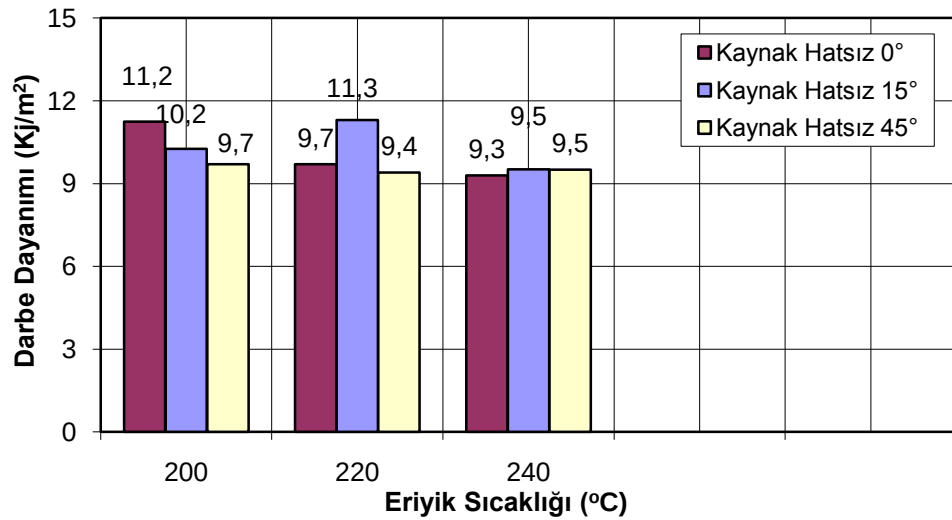
Şekil 6.53. 15°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.



Şekil 6.54. 45°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Eriyik Sıcaklığına Bağlı Darbe Dayanımı.



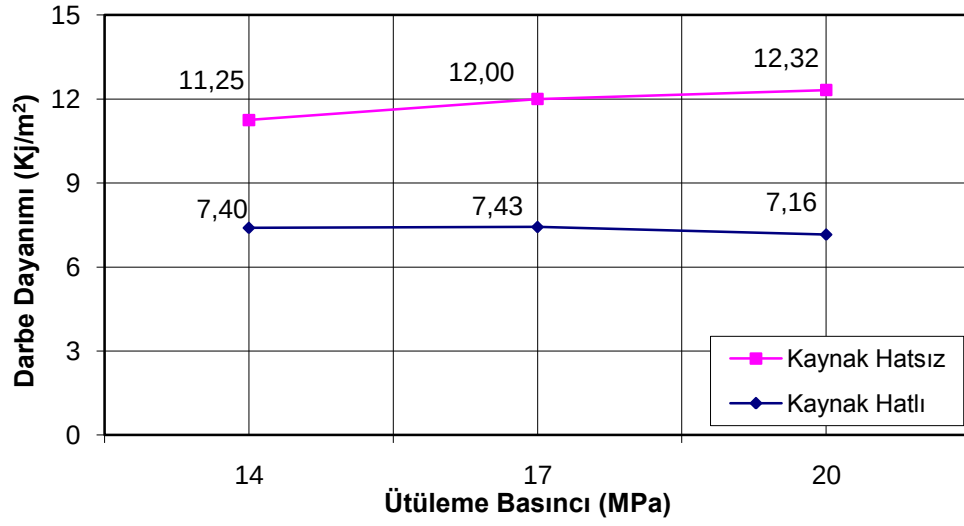
Şekil 6.55. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatlı Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.



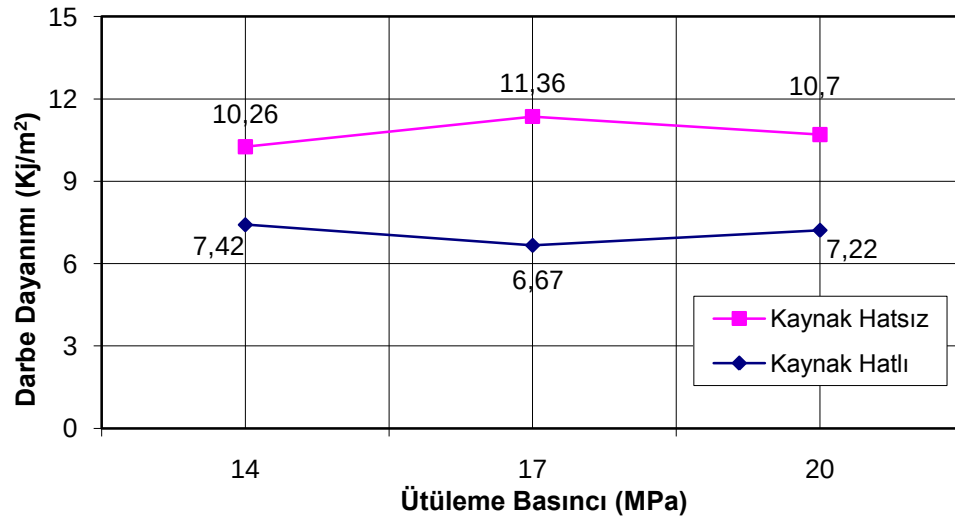
Şekil 6.56. Kalıp Lokma Açılarına Göre Eriyik Sıcaklığının Kaynak Hatsız Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.

6.10.2. Ütöleme Basıncı Değişimine Göre Darbe Deneyi Sonuçları

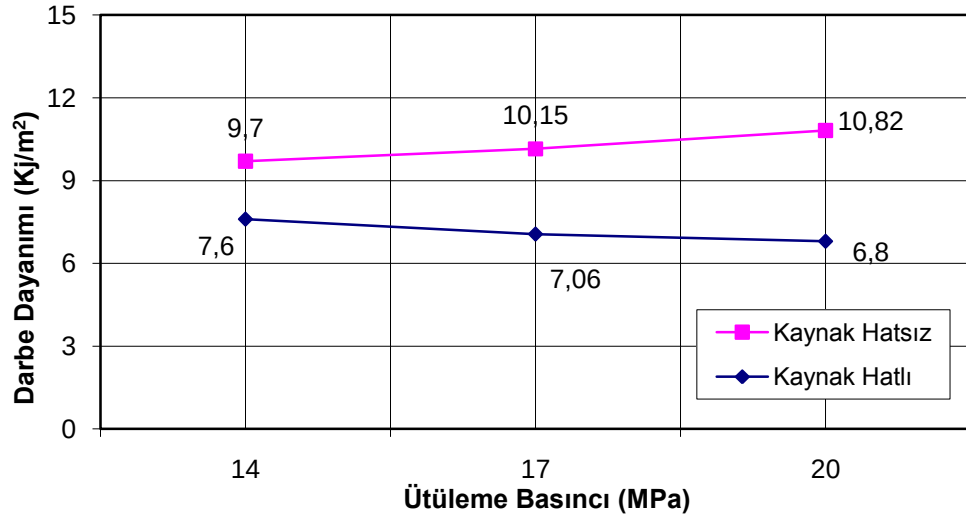
Ütöleme basıncının artmasıyla birlikte olarak kalıp içerisine gönderilen malzeme miktarı da artmıştır. Ancak bu kaynak hattında çekme dayanımına olumlu, darbe dayanımına kaynak hattı olmayan bölgede olumlu, kaynak hattı olan bölgede olumsuz etki yapmaktadır. Ütöleme basıncını az tutmak, kalıp içerisine çekmelerden kaynaklanan boşlukları doldurmak için gereken ilave malzemeyi az göndermek anlamına gelir. Bu da parça içinde boşluklar oluşturmakta ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Ütöleme basıncını gereğinden fazla tutmakla da PP gibi kristal yapıdaki plastiklerde daha çok kristal yapı oluşturmak anlamına gelmektedir. Kaynak hattında daha düzgün bir yapı olduğu için darbe yüklerine karşı dayanım azalmaktadır. [Turaçlı, 2000].



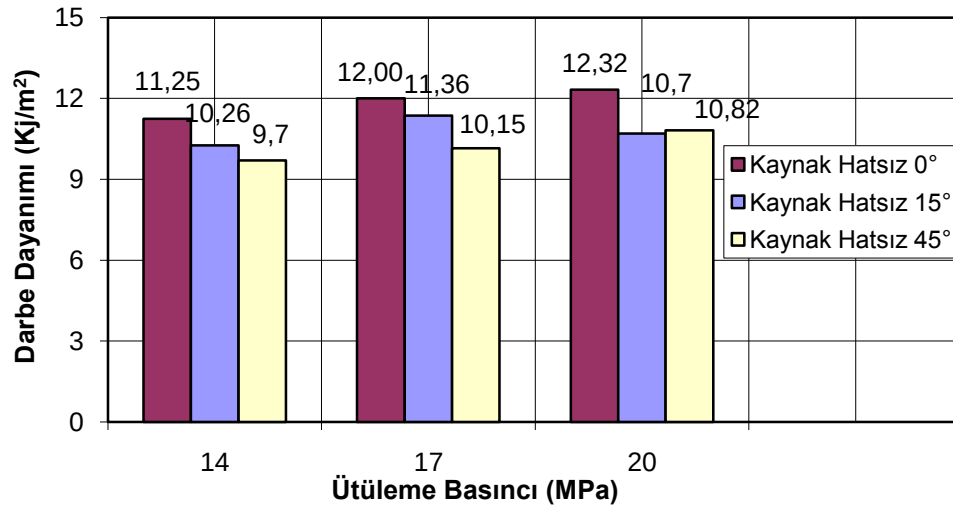
Şekil 6.57. 0°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.



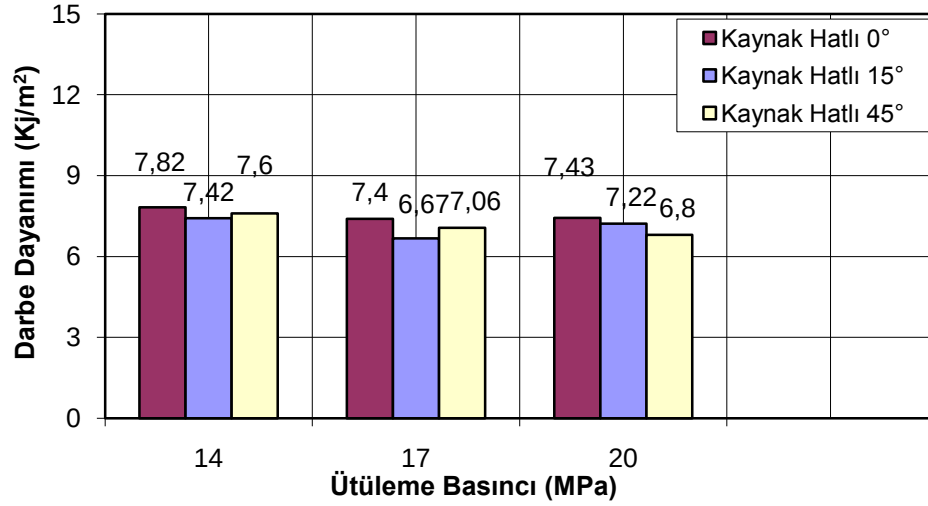
Şekil 6.58. 15°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.



Şekil 6.59. 45°'lik Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Ütüleme Basıncına Bağlı Darbe Dayanımı.



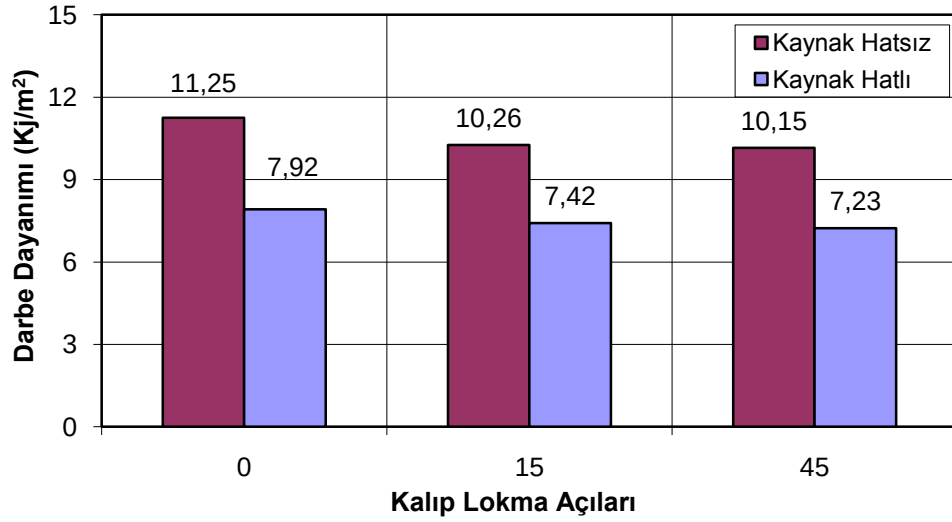
Şekil 6.60. Kalıp Lokma Açılarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatsız Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.



Şekil 6.61. Kalıp Lokma Açılarına Göre Ütüleme Basıncının Kaynak Hatlı Parçalarda Darbe Dayanımına Etkisi.

6.10.3. Üç Farlı Kalıp Lokmasıyla Üretilen Numunelerin Darbe Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması

Darbe deneyinde 0°, 15° ve 45° açılara sahip kalıp lokmalarıyla üretilen deney numuneleri birbirleriyle kaynak hattı dayanımı yönünden kıyaslandığında en iyi sonucu 0° açıya sahip kalıp lokmasıyla üretilen deney numunesi vermiştir. Daha sonra 30°'lik parçayla üretilen deney numunesi de 60°'lik parçadan mukavemet yönünden daha dayanıklı çıkmıştır. Çünkü kaynak hattında daha sıcak birleşen plastik daha kristal bir yapı oluşturmuştur [Turaçlı, 2000].



Şekil 6.62. Değişen Kalıp Lokma Açılarının Darbe Dayanımına Etkileri.

Tablo 6.11. Kalıp Lokma Açılarındaki Değişimin Dayanımlara Etkisi.

Kalıp Lokma Açısı (°)	Kaynak Hattı Açısı (°)	Kaynaşma Hattı Açısı (°)	Kaynak Hattı Uzunluğu (mm)	Analiz Sonuçlarına Göre Çekme Dayanımı (Mpa)	Deney Sonuçlarına Göre Çekme Dayanımı (Mpa)	Deney Sonuçlarına Göre Darbe Dayanımı (Mpa)
0	128,4	128,4	25,5	15,61	16,82	7,92
15	133,2	162,2	12,5	15,61	17,51	7,42
45	67,17	177,5	2,57	15,61	17,6	7,23

Kalıp lokma açılarının artmasıyla kaynak ve karışma hattı açısı artmış, kaynak hattı boyu kısalmıştır.

Çekme dayanımı, kaynak hattı bölgesinde daha iyi birleşme olduğu için artmıştır. Darbe dayanımı da oluşan daha fazla kristalli yapı nedeniyle azalmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıpcılığında karşılaşılan kaynak hatası, eriyik plastiğin birbiriyle yaptığı açı değiştirilerek incelenmiştir.

Kaynak hattında oluşan açıyı değiştirmek için 0° , 15° ve 45° olmak üzere 3 farklı kalıp lokması kullanılmıştır. Böylece kaynak hattının genişliği, uzunluğu ve kalitesi değişmiştir [Uyaroglu, 2003]. Parçaların akış ve gerilme analizleri MPI 6.1 programında yapılmıştır. Kaynak hattı bölgesi MPI 6.1 programında tanıtilamadığı için mekanik deney sonuçlarından sadece kaynak hattı olmayan parçayla kıyaslanabilmiştir. MPI 6.1 programında darbe kuvveti tanımlanamadığı için darbe analizi yapılamamıştır.

Mekanik deney sonuçları değerlendirildiğinde kaynak hattı açısının değiştirilmesinin çekme dayanımına katkı sağladığı görülürken, darbe dayanımına olumsuz etki yaptığı gözlenmiştir. [Uzel, 2008, Güllü ve ark 2001]. Çekme dayanımına en çok katkıyı 45° 'lik kalıp lokması sağlarken, darbe dayanımına en çok katkıyı 0° 'lik kalıp lokması sağlamıştır.

Kalıp lokmalarının kaynak hattı üzerindeki etkisi aşağıdaki şekilde gözlenmiştir:

- 0° 'lik kalıp lokmasıyla üretilen parça referans olarak kabul edilmiştir. Çekme dayanımı 16,82 Mpa, darbe dayanımı $7,92 \text{ KJ/m}^2$ 'dir.
- 15° 'lik kalıp lokmasıyla üretilen parçanın çekme dayanımı 17,51 Mpa, darbe dayanımı $7,42 \text{ KJ/m}^2$ 'dir. Çekme dayanımı %4 artmış, eğilme dayanımı %7 azaltmıştır.
- 45° 'lik kalıp lokmasıyla üretilen parçanın çekme dayanımı 17,6 Mpa, eğilme $7,23 \text{ KJ/m}^2$ 'dir. Çekme dayanımı %5 artmış, eğilme dayanımı %10 azaltmıştır.

MPI 6.1. programında yapılan çekme analizinde, çekme deneylerinde ideal enjeksiyon şartlarında üretilen parçalara uygulanan 42,5N/mm’lik ortalama kuvvet değeri kullanılmıştır. Sonuç olarak maksimum gerilme değeri 15,61 Mpa çıkmıştır. Çekme deneyinden elde edilen sonuç ise 16,82 Mpa’dır. Analiz sonucu gerçek değere %93 oranında yaklaşmıştır.

Sonuçlar bize ürün tasarımında yapılan değişikliğin çekme dayanımı açısından kaynak hattına olumlu, darbe dayanımı açısından olumsuz etki yapacağını göstermektedir [Turaçlı, 2000], [Hung, 2000].

7.2. Öneriler

Yapılan çalışmada görüldüğü gibi kaynak hattı bölgesinde eriyik ısısı düştüğü için moleküler birleşme istenilen oranda oluşmamaktadır. Kaynak hattı oluşan parçaların kalıplarında, kaynak hattı bölgesini ısıtıp kalıbın diğer bölgeleriyle aynı sıcaklık değerini sağlamak için özel bir ısıtma sistemi tasarlanabilir. Soğutma kanalları belirlenirken kaynak hattı bölgesi için ayrı bir kanal ısıtma görevi görebilir.

Kalıp tasarımı esnasında yapılan akış analizleri, kaynak hattı bölgesini göstermekte ve oluşan ısı farkını, moleküler oryantasyonu belirleyebilmektedir. Ancak kaynak hattı sonlu elemanlar yöntemiyle direk olarak belirlenememekte ve etkisi görülememektedir. İleride yapılacak çalışmalarda kaynak hattı etkisi analiz programlarında tanımlanabilirse, mukavemet yönünden kritik parçalar tasarım esnasında değiştirilerek olası problemler azaltılabilir.

EK 1 DENEY YAPILAN PP ÖZELLİKLERİ

PP (Dow 765-15NA)

Properties	Test method	Value
Physical		
Melt Flow Rate (230 °C,2.16kg), g/10min	ISO 1133	15
Density, g/cm ³	ISO 1183	0.9
Hardness Shore D ⁽¹⁾ , points	ISO 868	66
Mechanical ⁽¹⁾		
Tensile Strength at Yield, MPa	ISO 527	26
Elongation at Yield, %	ISO 527	10
Flexural Modulus, MPa	ISO 178	1200
Thermal ⁽¹⁾		
HDT B (0.45 MPa), °C	ISO 75/B	90
Vicat Softening Point A, °C	ISO 306/A	150
Impact ⁽¹⁾		
CHARPY (notched) Impact Strength (23 °C), kJ/m ²	ISO 179/1eA	12
CHARPY (notched) Impact Strength (-20 °C), kJ/m ²	ISO 179/1eA	6.5

EK 2 DENEY YAPILAN MAKİNE ÖZELLİKLERİ

Mitsubishi 50 MEt III

Model			Units	50MEt III							
Injection	Injection system		-	In-line screw							
	Injection stroke		mm	64	72		72	96	112		
	Screw diameter		mm	16	18	20	20	24	28	32	
	Theoretical injection capacity		cm ³	13	18	23	23	43	69	90	
	Standard	Injection unit		-	-			1.5H			
		Injection rate		cm ³ /s	-			94	136	185	-
		Max. injection speed		mm/s	-			300			
		Max. injection pressure		MPa	-			274.5	235.4	182.3	-
		Max. injection holding pressure		MPa	-			274.5	196.0	147.0	-
	High-speed	Injection unit		-	0.7H			2.5H			
		Injection rate		cm ³ /s	60	76	94	-	136	185	241
		Max. injection speed		mm/s	300			300			
		Max. injection pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	235.2	181.3
		Max. injection holding pressure		MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	176.4	147.0
	High speed	Injection unit		-	0.7U			2.5U			
		Injection rate		cm ³ /s	101	127	157	-	226	308	402
		Max. injection speed		mm/s	500			500			

		Max. injection pressure	MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	235.2	181.3
		Max. injection holding pressure	MPa	254.9	254.9	235.2	-	274.5	176.4	147.0
		Recovery rate (PS)	kg / h	11.1	14.4	17.6	13.9	25.0	41.0	62.0
		Screw revolution speed	min ⁻¹	500			350			
		Nozzle pressing force	kN	9.8			19.6			
Clamping		Clamping system	-	Double toggle						
		Clamping force	kN	490						
		Clamping stroke	mm	270						
		Min. mold height	mm	150						
		Max. mold height	mm	380						
		Tie bar clearance (H×V)	mm	360x325						
		Die plate size (H×V)	mm	500x460						
		Ejector force	kN	19.2						
		Ejector stroke	mm	70						
Other		Heater capacity	kW	2.05	2.275	2.575	3.45	5.50	5.50	5.85
		Mold height motor output	kW	0.1						
		Nozzle touch motor output	kW	0.1			0.2			
		Machine dimension <L>	mm	3427			3427	3494	3590	3692
		Machine dimensions <W×H>	mm	1001x1523						
		Power source	-	Three-phase AC200V/200, 220V±10% 50Hz/60Hz						
		Main breaker capacity	A	75(2.5U:150)						
		Total electric capacity	KVA	0.7H:10			1.5H:13			
	0.7U:18			2.5H:20						
				2.5U:35						
		Cable size 200V Class[400V Class *1]	mm ²	14[8]			2.5H:14[8] 2.5U:38[14]			
	Machine weight	t	2.0			2.2				

EK 3 ÇEKME VE DARBE DENEYİ SONUÇLARI

0° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath
1_1	17,66	16,91	2_1	18,48	16,87	3_1	18,91	16,83	4_1	18,85	16,92	5_1	18,88	17,1
1_2	18,59	16,93	2_2	18,84	16,57	3_2	18,75	16,86	4_2	18,89	16,89	5_2	18,71	17,04
1_3	18,77	16,61	3_3	18,83	16,79	3_3	18,62	17,01	4_3	18,6	16,87	5_3	18,85	16,96
1_4	18,48	16,85	4_4	18,68	16,93	3_4	18,59	16,88	4_4	19,05	17,07	5_4	18,74	17,15
1_5	18,47	17,07	5_5	18,77	17	3_5	17,97	16,97	4_5	18,57	16,95	5_5	18,7	17,12
Ortalama	18,57	16,82	Ortalama	18,72	16,89	Ortalama	18,71	16,91	Ortalama	18,72	16,94	Ortalama	18,77	17,07

15° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath
1_1	19,07	17,54	4_1	19,54	17,65	5_1	19,29	17,73	2_1	19,33	17,5	3_1	18,97	17,43
1_2	19,31	17,5	4_2	19,06	17,61	5_2	19,25	17,83	2_2	19	17,29	3_2	19,22	17,25
1_3	19,33	17,56	4_3	19,44	17,61	5_3	19,37	17,69	3_3	19,13	17,6	3_3	18,79	17,43
1_4	18,98	17,52	4_4	19,26	17,58	5_4	19,25	17,57	4_4	19,13	17,46	3_4	18,8	17,41
1_5	18,96	17,44	4_5	19,23	17,69	5_5	19,39	17,72	5_5	19,12	17,51	3_5	18,87	17,41
Ortalama	19,13	17,51	Ortalama	19,30	17,628	Ortalama	19,31	17,70	Ortalama	19,14	17,51	Ortalama	18,93	17,42

45° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath	Deneç Numarası	Kaynak Hafsız	Kaynak Hath
1_1	18,57	17,56	4_1	18,9	17,07	5_1	18,73	17,92	2_1	18,85	17,48	3_1	18,78	17,7
1_2	18,49	17,35	4_2	18,64	17,06	5_2	18,49	17,87	2_2	18,81	17,5	3_2	18,72	17,72
1_3	18,81	17,64	4_3	18,48	17,26	5_3	18,33	17,95	3_3	18,99	17,33	3_3	18,69	17,58
1_4	18,74	17,33	4_4	18,81	17,23	5_4	18,61	17,81	4_4	18,55	17,56	3_4	18,67	17,67
1_5	18,58	17,6	4_5	18,75	17,22	5_5	18,66	18,01	5_5	18,79	17,29	3_5	18,76	17,5
Ortalama	18,63	17,6	Ortalama	18,71	17,16	Ortalama	18,56	17,91	Ortalama	18,79	17,43	Ortalama	18,72	17,63

0° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN DARBE DENEYİ SONUÇLARI

Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath
1_1	11,5	11,09	4_1	9,2	7,1	5_1	10,1	6,73	2_1	13,5	9,4	3_1	10,7	7,3
1_2	30,7	7,5	4_2	12,6	7	5_2	9,3	6,83	2_2	15,3	6	3_2	13,6	6,9
1_3	15,2	8,45	4_3	10,1	7,4	5_3	8	6,69	3_3	16,1	6,6	3_3	12,9	8,1
1_4	11	8,25	4_4	9,8	8,7	5_4	9,4	6,57	4_4	12,1	7,7	3_4	12,1	11,5
1_5	32	7,5	4_5	13,6	6,3	5_5	9,7	7,12	5_5	10,4	7,9	3_5	31,7	6,7
Ortalama	11,25	7,92	Ortalama	9,7	7,16	Ortalama	9,3	6,77	Ortalama	12	7,4	Ortalama	12,32	7,43

15° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN DARBE DENEYİ SONUÇLARI

Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath
1_1	9	7,9	4_1	15	7,1	5_1	9,3	13	2_1	14,9	6,8	3_1	10,3	7
1_2	10,4	7,3	4_2	12,1	5,3	5_2	9,1	9,4	2_2	10,8	6,3	3_2	9,9	7,4
1_3	11,4	5,6	4_3	11,3	7,7	5_3	11	7,2	3_3	11,5	5,9	3_3	11,8	7,3
1_4	8,6	7	4_4	11,3	7,8	5_4	9,5	7,3	4_4	11,8	6,7	3_4	11,4	7,7
1_5	12,8	7,5	4_5	15	6,9	5_5	10,2	31	5_5	16,7	6,9	3_5	10,1	7,2
Ortalama	10,26	7,42	Ortalama	11,3	7,37	Ortalama	9,52	7,25	Ortalama	11,36	6,67	Ortalama	10,7	7,22

45° KALIP LOKMASIYLA ÜRETİLEN PARÇALARIN DARBE DENEYİ SONUÇLARI

Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath	Deneý Numarası	Kaynak Hatz	Kaynak Hath
1_1	9,4	7,6	4_1	9,1	6,7	5_1	10	6,7	2_1	9,8	6,5	3_1	7,5	8,5
1_2	9,2	6,8	4_2	10,9	7,1	5_2	9,5	7,4	2_2	12,6	6,7	3_2	10,9	7
1_3	14,4	7,3	4_3	9,7	6,8	5_3	9,3	13	3_3	15	7,3	3_3	11,1	6,8
1_4	13,1	10,4	4_4	10,6	6,3	5_4	9,6	31,5	4_4	10,5	7,6	3_4	11,4	6,5
1_5	10,5	11,5	4_5	10,9	6,2	5_5	9,1	6,2	5_5	16	7,2	3_5	9,9	6,9
Ortalama	9,7	7,23	Ortalama	9,4	6,86	Ortalama	9,5	6,76	Ortalama	10,15	7,06	Ortalama	10,82	6,8

KAYNAKLAR

1. Akyüz Ö.F., 2001, “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, Pagev Yayınları, İstanbul.
2. Altan, M., 2007, “Plastik Enjeksiyonda Geri Dönüşümlü Malzeme Katkısı ile İşlem Parametrelerinin Kalıntı Gerilmeler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, İstanbul.
3. Chang L., Xiaofeng Y., Shaoyun G., 2006, “The Mechanism of Ultrasonic Improvement of Weldline Strength of Injection Molded Polystyrene and Polystyrene Polyethylene Blend Parts”, Polymer Physics, 44, 1520-1530.
4. Cheng H.W., Wan J. L., 2005, “Effects of Geometry and Injection-Molding Parameters On Weldline Strength”, Polymer Engineering And Science, 45,1021–1030.
5. Çakır Ö., Gültaş A, 2001, "Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etkiyen Parametrelerin İncelenmesi", Teknoloji 1-2, 19-29, Ankara.
6. Çakırgil E., 2003, “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğutma Sistemlerinin Parça Kalitesine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
7. Deniz S., 2006, “Polimer Malzemelerin Enjeksiyonda Birleşme İzlerinin Mekanik Davranışlara Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
8. Esenlik M., 2001, “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri” , Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
9. GE, 1998, Plastics Injection Molding Mini Guide,.65–66, www.geplastics.com.

10. Güllü A., Özdemir E. ve Demir H., 2001, “Enjeksiyon Parametrelerinin Cam Elyaf Takviyeli Polypropilen (PP) ve Naylon 6 (PA6) Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5,1,11-19.
11. Hsieh T., Hsu D. C., Lin A. S., Day A. G., Chang R. Y., “Improvement of Pentium – II Connector Support Design By CAE Tool”, Hua–Seng Co., Core Tech System Co.,National Tsing Hua University, Taiwan, www.moldex3d.com/en/services/paper/antec/2000/0515.PDF.
12. Hazer B., 1993,“Polimer Teknolojisi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
13. Keleş Ö., 1995, “ISO 9002 Kalite Güvence Sisteminin Ve Toplam Kalite Yönetimi Bilincinin Yerleşmesine Yönelik Düzenlenen Eğitim Çalışmaları Notları”, Mita Kalıp ve Döküm Sanayi, İstanbul.
14. Matti K., Jouni E., Tham Nguyen-Chung, 2008, “Advanced Injection Molding Mold and Molding Process for Improvement of Weldline Strengths and Isotropy of Glass Fiber Filled Aromatic Polyester LCP”, Polymer Enginnering And Sciense, 48, 711-716.
15. Rodney A.L., 2002, “Adaptive Predictive Control of Injection Velocity in Placation Injection Molding”, the University of the West Indies, New York.
16. Shih J.L., Jun Y.W. and Jer H. C., 2000, “An Experimental Matrix Designe to Optimize the Weldline Strenght in Injection Molded Parts”, Polymer Enginnering and Science, 40, 5,1256-1262.
17. Topal M., 2006, “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Görülen Çekme ve Çarpılma Davranışlarının Moldflow Insight Programıyla İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Lisans Tezi, Sakarya.

18. Turaçlı H., 2000, Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri, Pagev Yayınları, İstanbul.
19. Uyaroglu R., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Parça Üstünde Oluşan Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi”, GYTE Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
20. Uzel E., 2008, “Moldflow Insight Semineri”, İstanbul.
21. Yao D. G., Kim B., 1998, “Direct – Search – Based Automatic Minimization of Weldlines in Injection – Molded Parts”, Polymer – Plastics Technology and Engineering, 37, 4, 509 – 525.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Osmaniye’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Pendik’te bitirdi. 2002 yılında İstanbul Üniversitesi T.B.M.Y.O. Makine Bölümüne girdi. 2003 yılında dikey geçiş sınavıyla Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliğine kayıt oldu. 2006 yılında Makine Mühendisliğinden mezun oldu. Aynı sene Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans programına kabul edildi ve halen bu okulda öğrenimine devam etmektedir.