T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARLANMIŞ CAM TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT BİR PARÇADA AKIŞA BAĞLI KAYNAK YERİ PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Yusuf Çağlar KAĞITCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Konya, 2006

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARLANMIŞ CAM TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT BİR PARÇADA AKIŞA BAĞLI KAYNAK YERİ PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Yusuf Çağlar KAĞITCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARLANMIŞ CAM TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT BİR PARÇADA AKIŞA BAĞLI KAYNAK YERİ PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Yusuf Çağlar KAĞITCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 20.07.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Danışman

Prof.Dr.Ahmet AKDEMİR
Üye

Yrd.Doç.Dr. Behçet DAĞHAN
Üye

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARLANMIŞ CAM TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT BİR PARÇADA AKIŞA BAĞLI KAYNAK YERİ PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Yusuf Çağlar KAĞITCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
2006, 109 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Behçet DAĞHAN

Yapılan deneysel çalışmada; plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen polimer parçalarda meydana gelen, görünüm ve dayanımı büyük ölçüde etkileyen kaynak hattı problemi incelenmiştir. Polimer ürünlerde kaynak hattı kalitesine etki eden enjeksiyon parametrelerinden; enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı olmak üzere üç parametrenin etkisi araştırılmıştır. Birden fazla yerde kullanılabilen iki parçanın birbirine bağlanması ile hareketini sağlayan ve belli bir yüke maruz kalan bağlantı mafsalı ele alınmıştır. Parçanın kullanım alanı göz önünde bulundurularak, parça malzemesi olarak cam elyaf takviyeli poliamid (PA 6 GFR 30) kompozit seçilmiş ve kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu kompozit malzeme verilerine göre, MOLDFLOW yazılım programında plastik akışı, dolum süresi, basınç ve sıcaklık dağılımları, kaynak hattı ve hava boşlukları simülasyonla incelenerek yolluk sistemi tasarımı belirlenmiş ve seçilen yerin üretim için uygun olduğuna karar verilmiştir. Belirlenen enjeksiyon parametrelerinin değiştirilmesiyle numuneler hazırlanmıştır. Üretilen numunelerin kaynak hattı SEM mikroskobu altında incelenmiş, numuneler çekme deneyine tabii tutulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler; Plastik enjeksiyon, Kaynak hattı, Polimer kompozit.

ABSTRACT

Master Thesis

A Research of Weld Line Problem Related to Flow on a Polymer Composite Part Designed with CAD and Reinforced of Glass Fiber

Yusuf Çağlar KAĞITCI

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2006, 109 Pages

Jury: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Behçet DAĞHAN

Weld line problem that mainly effects the appearance and the resistance occurred in the polymer pieces produced with the plastic injection method was searched experimentally. The effect of the alternation of three parameters namely injection pressure, injection time and hold pressure which influence the quality of weld line on the polymer products are searched. An articulation link which can be used in more than one place, moves with two pieces tied to each other and is subject to a certain loan is discussed. Considering the usage area of the part, composite of fiber glass reinforced polyamide (PA 6 GFR 30) was chosen as the material and the design process of the part was implemented. According to this composite material data, in the MOLDFLOW software program; plastic in flow, filling time, pressure and heat distribution, weld line, air gap are being examined with stimulation, the transportation allowance design is specified and it is decided that the chosen place is suitable for the production. Samples are prepared by altering the determined injection parameters. Weld line of the produced samples is searched under the SEM microscope. Its tensile strength test has been done and results are obtained.

Key Words; Plastics injection, Weld line, Polymer composite.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince konu tespitinden son aşamaya kadar, değerli katkılarıyla beni yönlendiren, yardım ve çabalarını benden esirgemeyen, sürekli desteğini gördüğüm, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU'na şükran ve minnetlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca her konuda yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU, Öğr. Gör. İlhan ASILTÜRK'e, ilgilerini esirgemeyen hocalarım Sayın Ö.Sinan ŞAHİN'e, Şerafettin EKİNCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında yardım ve katkılarından dolayı, Özkan Plastik ve Tic. Sanayi, Söken Kalıp Sanayi, analiz çalışmalarımda yardımcı olan Sayim Plastik Amb. Sanayi yetkililerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımda her zaman yanımda olan ve maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

		Sayfa no.
	ÖZET	i
	ABSTRACT	ii
	TEŞEKKÜR	iii
	İÇİNDEKİLER	iv
	ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
	ÇİZELGE LİSTESİ	x
	SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1.	GİRİŞ	1
2.	KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3.	KOMPOZİT MALZEME VE POLİMER TEKNOLOJİSİ	7
	3.1. Polimerler	7
	3.1.1. Polimerlerin Genel Özellikleri	7
	3.1.2. Malzemenin Reolojik Özellikleri	9
	3.1.2.1. Dolgu maddelerinin etkisi	9
	3.1.2.2. Basınç ve sıcaklık etkisi	10
	3.1.3. Polimerlerin Kalıplanmasında Kullanılan Yöntemler	10
	3.1.4. Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması	10
	3.2. Kompozit Malzeme	11
	3.2.1. Kompozit Malzemenin Genel Özellikleri	12
	3.2.2. Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması	13
	3.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler	13
	3.2.2.2. Tabakalı kompozitler	14
	3.2.2.3. Partikül katkılı kompozitler	14
4.	PLASTİK ENJEKSİYON TEKNOLOJİSİ	15
	4.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi	16
	4.1.1. Enjeksiyon Sistemi	16
	4.1.2. Enjeksiyon İşleminin Basamakları	17
	4.2. Plastik Enjeksiyon Kalıp Sistemi	19

4.2.1. Yolluk Sistemi 22
5. KAYNAK HATTININ ÖNEMİ 29
5.1. Kaynak Hattı 29
5.2. Kaynak Hattı Oluşumu 31
5.3. Kaynak Hattı Etkilerinin Önlenmesi 32
5.3.1. Polimer Malzemesi Seçimi 33
5.3.2. Parça Tasarımı 35
5.3.3. Kalıp Tasarımı 37
5.3.4. Enjeksiyon İşlemi Şartları 39
5.3.4.1. Eriyik sıcaklığı 40
5.3.4.2. Enjeksiyon basıncı ve süresi 41
5.3.4.3. Ütüleme basıncı ve süresi 42
6. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZ 43
6.1. ANSYS 43
6.2. MOLDFLOW 45
7. DENEYSEL ÇALIŞMA 46
7.1. Parça Malzemesi Seçimi İşlemi 47
7.2. Tasarım Aşaması İşlemi 49
7.2.1. Parça Tasarımı 49
7.2.2. Akış Analizi 50
7.2.2.1. Giriş yeri belirleme işlemi 50
7.2.2.2. Kavite sayısı belirleme işlemi 56
7.2.3. Kalıp Tasarımı 57
7.3. Analiz Aşaması İşlemi 58
7.3.1. Polimer Akış Sonucu 58
7.3.2. Dolum Süresi ve Sonuçlara Etkisi 59
7.3.3. Enjeksiyon Basıncı ve Sonuçlara Etkisi 60
7.3.4. Basınç Düşmesi ve Sonuçlara Etkisi 61
7.3.5. Ön Akış Sıcaklığı ve Sonuçlara Etkisi 61
7.3.6. Dolumun Güvenilirliği ve Sonuçlara Etkisi 62
7.3.7. Kalite Tahmini ve Sonuçlara Etkisi 63
7.3.8. Hava Kabarcıkları ve Sonuçlara Etkisi 63

7.3.9. Kaynak Hattı ve Sonuçlara Etkisi 64
7.4. Gerilme Analizi İşlemi 65
7.5. Parçanın Üretilmesi İşlemi 68
7.6. Deney Sırasında Karşılaşılan Problem ve Giderilmesi İşlemi 71
7.7. Parça Üzerindeki Kaynak Hattının İncelenmesi 72
7.7.1. Enjeksiyon Basıncı, Enjeksiyon Süresi ve Ütüleme Basıncı Farklı Numunelerin Mikroskopla İncelenmesi 72
7.8. Kaynak Hattı ve Oluşum Yerinin Çekme Yüküne Etkisinin İncelenmesi 78
7.9. Kaynak Hattı Bölgesinin SEM Görüntüleri 86
7.10. Yakma Deneyi 90
8. TARTIŞMA 93
9. ÖNERİLER VE SONUÇLAR 100
10. KAYNAKLAR 102
11. EKLER 106

ŞEKİLLER LİSTESİ

		Sayfa no.
Şekil 3.1	Elyaf takviyeli kompozitler	14
Şekil 4.1	Enjeksiyon sistemi	17
Şekil 4.2	Enjeksiyon işlemi basamakları	18
Şekil 4.3	Basit bir kalıp sistemi	19
Şekil 4.4	Bazı kalıp açılma çizgisi örnekleri	20
Şekil 4.5	Yolluk sistemi	22
Şekil 4.6	Yolluk, yolluk burcu ve merkezleme bileziği	25
Şekil 4.7	Dağıtıcı kanalların dengeli dağılım durumları	26
Şekil 4.8	Dağıtıcı kanal tipleri	26
Şekil 4.9	Giriş tipleri	28
Şekil 5.1	Polimer kompozit eriyiğin birleşmesi	29
Şekil 5.2	Kaynak hattı	30
Şekil 5.3	Değişik tipte oluşan kaynak hatları	31
Şekil 5.4	Kaynak hattının oluşumu işlemi	32
Şekil 5.5	Doğru ve yanlış enjeksiyon parçaları	36
Şekil 5.6	Giriş yerine göre kaynak hattı oluşumu	38
Şekil 6.1	Herhangi bir numunenin üretim şeması a) Geleneksel yöntem b) Sonlu elemanlar yöntemi	44
Şekil 7.1	Bağlantı mafsalı ve kullanım yeri	49
Şekil 7.2	En iyi giriş yeri belirleme işlemi	51
Şekil 7.3	1 ve 4 numaralı giriş yeri için oluşan enjeksiyon dolum problemi	53
Şekil 7.4	1 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı	54
Şekil 7.5	2 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı	55
Şekil 7.6	3 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı	55
Şekil 7.7	4 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı	56
Şekil 7.8	5 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı	56
Şekil 7.9	3 numaralı giriş için 2 kaviteli yolluk sistemi	57
Şekil 7.10	Bağlantı mafsalının plastik enjeksiyon kalıbı	58

Şekil 7.11	Polimer akış sonucu	59
Şekil 7.12	Dolum süresi sonucu	60
Şekil 7.13	Enjeksiyon basıncı sonucu	60
Şekil 7.14	Basınç düşüşü sonucu	61
Şekil 7.15	Ön akış sıcaklığı sonucu	62
Şekil 7.16	Dolumun güvenilirliği sonucu	63
Şekil 7.17	Kalite tahmini sonucu	63
Şekil 7.18	Hava kabarcıkları sonucu	64
Şekil 7.19	Kaynak hattı sonucu	65
Şekil 7.20	Numunenin ANSYS'de Mesh edilmiş ve yükleme hali görünümü	67
Şekil 7.21	Numunenin ANSYS'de sınır şartlar uygulandıktan sonraki görünün	67
Şekil 7.22	Dolum hataları	70
Şekil 7.23	Basım süresince meydana gelen dolum hataları	70
Şekil 7.24	Enjeksiyon makinesinde üretilmiş polimer kompozit parçalar	70
Şekil 7.25	P_e=600 bar, t_e=2 s ve $P_ü$=1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	74
Şekil 7.26	P_e=600 bar, t_e =6 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	74
Şekil 7.27	P_e=600 bar, t_e =10 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	75
Şekil 7.28	P_e=900 bar, t_e =2 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	75
Şekil 7.29	P_e=900 bar, t_e =6 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	76
Şekil 7.30	P_e=900 bar, t_e =10 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	76
Şekil 7.31	P_e=1200 bar, t_e =2 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	77
Şekil 7.32	P_e=1200 bar, t_e =6 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	77
Şekil 7.33	P_e=1200 bar, t_e =10 s ve $P_ü$ =1000 bar değerlerinde üretilen numunedeki kaynak hattı görünümü	78

Şekil 7.34	Bağlantı mafsalı çekme aparatı	78
Şekil 7.35	Enjeksiyon basıncı – çekme yükü grafikleri ($P_ü$= 600 bar, $P_ü$= 800 bar, $P_ü$= 1000 bar için,) a) t_e= 2 s, b) t_e= 6 s, c) t_e= 10 s	82
Şekil 7.36	Enjeksiyon süresi – çekme yükü grafikleri ($P_ü$= 600 bar, $P_ü$= 800 bar, $P_ü$= 1000 bar için,) a) P_e= 600 bar, b) P_e= 900 bar, c) P_e= 1200 bar	83
Şekil 7.37	Ütüleme basıncı – çekme yükü grafikleri ($t_ü$= 2 s, $t_ü$= 6 s, $t_ü$= 10 s için,) a) P_e= 600 bar, b) P_e= 900 bar, c) P_e= 1200 bar	85
Şekil 7.38	Çekme deneyi sonrası numuneler	79
Şekil 7.39	P_e=600 bar, t_e=2 s ve $P_ü$=1000 bar olarak üretilen numunedeki kaynak hattı SEM görüntüleri	86
Şekil 7.40	P_e=900 bar, t_e=2 s ve $P_ü$=1000 bar olarak üretilen numunedeki kaynak hattı SEM görüntüleri	87
Şekil 7.41	P_e=1200 bar, t_e=2 s ve $P_ü$=1000 bar olarak üretilen numunedeki kaynak hattı SEM görüntüleri	88
Şekil 7.42	Polimer kompozit numunenin yakma sonrası fotoğrafı	89
Şekil 7.43	Cam elyaf takviyeli polyamid malzemenin yakma sonrası fotoğrafı	90
Şekil 7.43	Yakma deneyi numuneleri	91
Şekil 8.1	P_e-t_e arasındaki ilişki	95
Şekil 8.2	Enjeksiyon sonrası cam elyafın görünümü	96
Şekil 8.3	Enjeksiyon öncesi cam elyafın görünümü	96
Şekil 8.4	Yakma deneyi sonrası cam elyafların görünümü	97
Şekil 8.5	Enjeksiyonla üretilmiş numunedeki cam elyaf görünümü	98
Şekil 8.6	Saf malzemedeki cam elyaf görünümü	98

ÇİZELGE LİSTESİ

		Sayfa no.
Çizelge 4.1	Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler	24
Çizelge 7.1	PA 6 GFR 30 malzemesi ve tavsiye edilen işleme şartları	47
Çizelge 7.2	Cam elyafın genel özellikleri	48
Çizelge 7.3	Bağlantı mafsalı ürün bilgileri	50
Çizelge 7.4	Giriş bölgeleri için analiz sonuçları	52
Çizelge 7.5	ARBURG enjeksiyon makinesi bilgileri	68
Çizelge 7.6	Bağlantı mafsalı enjeksiyon parametreleri değerleri	69
Çizelge 7.7	Enjeksiyon parametreleri ve değerleri	71
Çizelge 7.8	P_e, t_e ve $P_ü$ farklı olarak üretilen numunelerdeki kaynak hattı genişlik değerleri	73
Çizelge 7.9	Çekme deneyi sonuçları	80
Çizelge 7.10	Polimer kompozit numune içerisindeki cam elyafların hacimsel oranları	91
Çizelge 8.1	Deneysel çalışma ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril Bütadien Sitiren
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacture)
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
IGES	İlk Grafik Değiştirme Özelliği (Initial Graphics Exchange Specification)
P_e	Enjeksiyon Basıncı
$P_ü$	Ütüleme Basıncı
PA	Polyamide
PC	Polycarbonate
PS	Polystyrene
PP	Propylene
PVC	Polivinilklorür
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
t_e	Enjeksiyon Süresi
$t_ü$	Ütüleme Süresi

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, insanların ihtiyaçları teknolojinin gelişimi ile paralel olarak artmakta ve hatta teknolojik gelişmelere zemin hazırlamaktadır. Bu ihtiyaçlardan biri de sanayinin temel girdisi olan malzeme üretimidir. Malzeme bilimindeki gelişme hızla devam etmektedir. Ancak yeryüzünde sınırlı sayıda bulunan ana malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri nedeniyle teknolojinin gelişmesine ayak uyduramayıp, zaman zaman yeterli olmadığı dönemler olmuştur. Uzay araçlarının yapımına geçildiği asrımızda, çağın yenilikleri ve bilimin gelişmesi paralelinde günün ihtiyaçlarını karşılayabilecek, mevcut malzemelere göre gerek ekonomik, gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yoluna gidilmiştir. Dolayısıyla hem ekonomik, hem daha mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin üretilmesi için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece değişik özelliklere sahip birden fazla malzemenin özel yöntemlerle fiziksel olarak birleştirilmeleri suretiyle elde edilen kompozit malzemeler büyük önem kazanmıştır. Kompozit malzemeler, tasarımda aranan özellikleri verebilecek uygun bir malzeme üretmek amacıyla, makro boyutta iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemelerdir.

Polimer malzemeler, içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli malzemelerinden biri olup, günümüzde günlük hayattan en özel bilimsel uygulamalara kadar hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni, polimer malzemelerin hafif, kolay islenebilir, korozyona dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına sahip olmalarıdır. Polimer malzemelerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının diğer bir nedeni de, farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda farklı türe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kullanım yerleri ve kullanılan polimer çeşitleri farklılaştıkça, gerek malzemenin özelliğine, gerekse kullanım yeri ve amacına göre polimer parçaların üretim yöntemleri de farklılaşmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de termoplastik parçaların üretiminde kullanılan enjeksiyon kalıplamadır.

Enjeksiyon kalıplama, kalıp tasarımından, üretimine ve üretilen kalıpla elde edilen mamulün kalitesini etkileyen malzeme, makine, kalıp ve enjeksiyon prosesini de içine alan geniş bir yelpazede düşünülmüştür. Plastik enjeksiyon kalıplama

yönteminin esası ısıtılarak akıcı bir kıvama gelmiş olan polimer malzemesinin uygun bir mekanik düzenle (enjeksiyon makinesi), parçanın geometrisine uygun olarak hazırlanmış bir kalıp boşluğu içerisine basınç altında doldurulması ve katılaşıncaya kadar bekletilmesidir. Kullanılan yöntemin avantajları, çok sayıda parçanın dar boyut ve yüzey toleransları içinde elde edilebilmesi ve üretim süresinin kısa olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp ve makine ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve dolayısıyla az sayıda parça için ekonomik olmamasıdır.

Enjeksiyon kalıpları ile üretilen ürünlerin kalitesi, uygun tasarım, kalıp malzemesi seçimi, kalıp üretim yöntemleri, enjeksiyon makine seçimi ve enjeksiyon proses işlemleri sonucunda gerçekleşir. Üründeki hatalar, yukarıdaki süreçlerin biri veya birkaçının bir araya gelmesi ile oluşur. Kalıptan meydana gelen hatalar telafisi en zor olanıdır, enjeksiyon makinesinden ve enjeksiyon prosesinden meydana gelen hataların telafisi kalıba nazaran daha kolaydır. Bu nedenle ürünün kalitesi üzerindeki en önemli eleman kalıptır. Doğru tasarlanmış bir enjeksiyon kalıbı ile yüksek ürün kalitesi diğer faktörlerin uygun seçimi ile gerçekleşir. Enjeksiyonda kalıplama yönteminin avantajları şunlardır;

Hızlı bir şekilde parça imal edilebilmeleri, yüksek hacimlerde parça imal edilebilmesi, oldukça değişik yüzey, renk ve şekillerde parça imal edilebilir olması, diğer işlemlere göre daha düşük maliyetli olmaları, otomasyona uygun olması, kalıba metal veya ametallerin eklenerek enjeksiyon yapılabilmesini sağlaması, hemen hemen hiç son işlem gerektirmemesi, üretilen parçaların iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlaması, malzeme kaybı çok az olması, aynı makinede ve aynı kalıpta farklı malzemelerin kullanımına imkan vermesi, düşük toleranslarda çalışılabilmesini sağlamasıdır.

Tasarımların kısa sürede tamamlanması, hataların en aza indirilmesi, tasarım kalitesinin artırılması gibi önemli üstünlükler sağlamasından ötürü, mühendislik alanında BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve önemi artmaktadır.

Plastik enjeksiyon kalıplama işlemi dört aşama sonucunda gerçekleşmektedir. Plastikleşme (polimerin eritilmesi), hammadde enjeksiyon makinesi haznesinden alınarak plastikleşme haznesine gönderilmesi ve burada ergimiş hale getirilmesidir. Enjeksiyon (dolum), helezon yardımıyla plastik ünitesinden alınan ergimiş malzeme

ön kısmına gelerek ve buradan vidanın ön kısmındaki boşluktan plastik ünitesinin lülesinden geçerek kalıp boşluğuna akmasıdır. Ütüleme ve soğutma, kalıbın kapanması ile polimer malzemenin kalıp boşluğuna enjekte edilmesi ve dolum sonrası belirli bir süre beklenmesidir.

Plastik enjeksiyonda kalıplanan parçaların kalitesini belirleyen faktörlerden birisi de 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 araştırmada, kaynak hattının kalitesini ve dolayısıyla kalıplanan parçanın kalitesine etkisi olan enjeksiyon şartlarından; ütüleme basıncı, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon süresinin kaynak hattına etkisi araştırılmıştır. Bağlantı mafsalı Unigraphics yazılım programında ürün tasarımı ve kullanılacağı ortam şartlarına göre seçilen hacimce %30 cam elyaf takviyeli polyamid (PA 6 GFR 30) polimer kompozit malzeme özelliklerine ve ürün bilgilerine göre uygun kalıp tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılmış olan bağlantı mafsalı, seçilen cam elyaf takviyeli polyamid kompozit malzemesi kalıplama parametrelerine göre Moldflow yazılım programında, polimerin akış şekli, basınç ve sıcaklık dağılımları, kaynak hatları ve hava boşlukları incelenmiştir. Böylece en iyi kalıplama yöntemi belirlenerek kalıbın üretime hazır hale getirilmesi sağlanmıştır. Üretilen numunelerin mikroskop altında kaynak hatları incelenmiş, kaynak hattı genişlikleri gözlemlenerek ve çekme deneyine tabi tutularak, enjeksiyon şartlarının kaynak hattına etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Chun (1999) yapmış olduğu çalışmada, enjeksiyonla kalıplama simülasyonunun boşluk dolumu analizinde hava ve kaynak hatları oluşumunu incelemiştir. Çalışma sonunda; tabandaki duvar kalınlığının artırılması, daha çok düz dolum modellerinde yan duvarlarda kaynak hattı oluşum ihtimalini azaltmıştır. Yan duvarlarda ve tabanda duvar kalınlığının arttırılması, daha çok kenar ve yan duvarlarda uniform polimer akışına yardımcı olmuştur ve ayrıca kaynak hatlarının oluşum ihtimalini azaltmıştır.

Chung ve diğerleri (2001) yapmış oldukları çalışmalarında; eriyik sıcaklığının kaynak hattı üzerindeki etkisini incelenmiştir. Çalışma sonucunda; eriyik sıcaklığı arttırıldığında kaynak hattının daha iyi oluştuğu ve dolayısıyla kaynak hattı genişliğinde bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür.

Fellahi ve diğerleri (1995) yaptıkları deneysel çalışmalarında; plastik enjeksiyonda kaynak hatlı olmayan ve kaynak hatlı kalıplanan HDPE/PA6 karışımında mekanik özellikler ve yapı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışma sonucunda; kaynak hatsız kalıplanan çekme çubuğu ilk aşamada daha güçlü paralel akış sağlamıştır. Elde edilen çekme çubuklarına çekme deneyi uygulanmıştır. Kaynak hattı olmayan çekme çubuğunun çekme dayanımı kaynak hatlı çekme çubuğundan %40 daha yüksek olmuştur.

Kim ve Suh (1986) amorf polimerlerdeki kaynak hattı yapısının performansının tahmini üzerinde çalışmalar yapmıştır. Çalışma sonucunda; kaynak hattı oluşacak şekilde enjeksiyonda kalıplanan amorf PS'nin çekme dayanımı; malzeme ve yöntem parametrelerinin bilinmesiyle tahmin edilebilmiştir. Deneysel sonuçların teorik tahminlerle iyi derecede uyuştuğu görülmüştür.

Li (2001) "Enjeksiyon kalıplarının soğutma sistemlerinin tasarımındaki temel özellik yaklaşımları" isimli çalışmasında, yeni tasarım sentezi yaklaşımında ilk tasarımdaki problemleri çözme yollarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda; tasarım sentezi yöntemi ile oluşturulan tasarım örneklerini C-MOLD® ile analiz ederek yapılabilirlik yaklaşımını doğrulamıştır.

Seow ve diğerleri (1996) plastik enjeksiyon kalıplarındaki akış optimizasyonu isimli çalışmalarında, ticari yazılım olan MOLDFLOW®'un arabirimi olan fortran kodlarını birkaç temel geometrik model için bilgisayarda uygulayarak, ürün hatalarının azaltılmasında yolluk yerinin dengelenmesini (akış, kalıplama ve kalıcı gerilme) incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; kalıp boşluğuna dengeli akışın, son ürün kalitesinin geliştirilebilmesinde, ürün geliştirmede esas tasarım adımı olduğunu bulmuşlardır. Tanımlanan optimum iş programının, dengeli akışı elde etmek için, modelin sade olmakla beraber maçalı parçanın üretiminde sağlıklı bir durum gösterdiğini, metodun kolaylıkla öğrenilebileceğini ve ticari yazılımlara uyarlanabileceğini söylemişlerdir.

Tomari ve diğerleri (1993) kaynak hatlarında meydana gelen V şeklinde izlerin dayanımını araştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda; PC'nin kaynak hattı yüzeyi daha homojen iken, PS'nin homojen değildir. PS'nin kaynak hattı dayanımı, PC'den daha azdır. Kaynak hatsız kalıplanan PS ve PC kırılma test çubuklarının özelliklerinin benzer olduğu görülmüştür. Böylece; kaynak hattı özelliklerinin polimer malzeme türleriyle değişebildiği anlaşılmıştır.

Yeung ve diğerleri (1997) enjeksiyon kalıpları, C-MOLD® bilgisayar destekli paket programı, işlem parametreleri tasarımı ve kalite görev yayılımı ve doğru malzeme seçim yönteminin araştırılması isimli çalışmalarında, Taguchi metodu ve yedi modülü (tasarım, gaz akışı, akış, denklik, grup ve soğuma) simülasyon programı olan C-MOLD®'da 90 mm*120 mm*1.5 mm ebatlarında ve malzemesi polipropilen olan parçayla 27 tane deney yaparak 6 tane kalite özelliğini Anova yöntemiyle incelemişlerdir. Deneyler sonucunda; erime sıcaklığı parametresinin en iyi olarak 192 $^{\circ}$C 'deki parametre olduğuna karar verilmiştir. Üç seviye arasından seviye 1'i en iyi seviye olarak belirlemişlerdir. Bu yöntem geliştirilerek kaliteli ürün üretimi için en uygun enjeksiyon basıncını 13 MPa, enjeksiyon süresini 6 s, ve kalıp tutma basıncını %100 bulmuşlardır.

Kagan (1999) kaynatılan ve kalıplanan numunelerinin optimize edilen mekanik performansı konusunda araştırmalar yapmıştır. Çalışma sonucunda; kaynak hatlarını, kalıplanan parçaların tasarımının, eriyik sıcaklığının ve kalıp sıcaklığının etkilediği görülmüştür. Giriş yeri ve sayısının kaynak hattının nerede oluşacağını etkilediği

anlaşılmıştır. Eriyik ve kalıp sıcaklığının artmasıyla kaynak hattının dayanımının artacağı saptanmıştır.

Kharbas ve diğerleri (2002) yapmış oldukları çalışmalarında; kaynak hattı dayanımını ve mikro hücresel enjeksiyonda kalıplanan parçaların, yöntem parametrelerinin nasıl etkilendiğini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda; eriyik sıcaklığı ve enjeksiyon hızının arttırılmasıyla kaynak hattı dayanımının arttığı görülmüştür. Enjeksiyonla kalıplanan parçalar için bu iki parametrenin önemi saptanmıştır. Bu parametre şartlarının optimize edilmesiyle kaynak hattı dayanımı geliştirilebilir. Parça ağırlığını azaltarak yani et kalınlığı verilerek, kaynak hattı dayanımını geliştirmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Leo ve diğerleri, Chang ve diğerleri (1999) çalışmalarında kavite giriş yerleşimi değişiminin, kaynak hatları oluşum yerleri ve adetleri, ayrıca hava kabarcıkları oluşum yerlerinin değiştirilmesi üzerinde etkin bir metot olduğunu ifade etmişlerdir.

Ogadhoh ve Papathanasiou (1997) çalışmalarında; kaynak hattı ve kaynak hattı morfolojisi üzerinde kalıplanan parçaların mekanik performansı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda; kaynak hattı boyunca doldurulan taneciklerin daha çok toplandıkları görülmüştür.

Yao ve Kim (1998), yapmış oldukları araştırmalarında; optimize edilen parça ve kalıp tasarımlarıyla, kaynak hatlarının minimizasyonunu incelenmektedir. Kaynak hatları; uzunlukları ve yerlerine göre değerlendirilmişlerdir. Enjeksiyonla kalıplama simulasyonu kaynak hattı dayanımını iyileştirmek ya da kaynak hattı oluşumunu azaltmak için gerçekleştirilmiştir. Kaynak hattı oluşumu için iki adet parça seçilmiş ve CMOLD yazılım programı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonunda; optimize edilen parça ve kalıp tasarımının kaynak hattını etkilediği görülmüştür. Değiştirilen giriş yeriyle birlikte kaynak hatlarının yerleşiminin ve uzunluğunun da değiştiği görülmüştür.

3. KOMPOZİT MALZEME VE POLİMER TEKNOLOJİSİ

3.1. Polimerler

Polimerler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Dünyamızda uzun yıllar kullanılan metal, odun ve seramik gibi malzeme cinsleri yanında polimerler ancak 20'inci yüzyıl başlarında tanınmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. 20'inci yüzyılın başlarında Amerika'lı bir işadamının iyi bir bilardo topu yaptırmak istemesi ve buna büyük bir maddi bir ödül koyması üzerine Baekeland tarafından sentezi yapılan FenolFormaldehit reçinesi, ile gerçekleştirilmiştir. Keşfedilen her polimer türü, ilk keşfedildiği günden itibaren kullanıma sunulamamış, birtakım gelişmeler geçirdikten sonra kullanıma sunulabilmiştirler (Akkurt 1999).

Günümüze gelene kadar çok hızlı bir gelişim gösteren bu malzeme cinsi, artık birçok özellikleri açısından diğer malzemelerden üstün hale gelmiş, otomotiv, elektronik ve haberleşme başta olmak üzere hemen hemen her sektörde en çok tercih edilen malzeme cinsi olmuştur.

3.1.1. Polimerlerin Genel Özellikleri

Çok çeşitli ve diğer birçok malzeme grubundan daha farklı özelliklere sahip polimerlerin ana özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Metallerden ve seramiklerden daha hafif olan polimerlerin özgül ağırlıkları 0.8 g/cm^3 ile 2.2 g/cm^3 arasında değişir. Bu hafifliklerine karşın yüksek mekanik mukavemete sahip polimerler, en çok tercih edilen hafif malzeme sınıfı haline gelmiştir.

Polimerler, çekme mukavemetleri ve elastikiyet modülleri metallerden düşük olmasına rağmen, geniş sınırlar dahilindedir. Bununla beraber cam-fiber takviyeli polimerlerin bu özellikleri bilinen en hafif metallerden olan alüminyum ile yarışır hale gelmiştir. Hatta günümüzde çeşitli dolgu maddeleri kullanılarak bazı

metallerden daha yüksek mekanik mukavemete sahip polimer malzemeler bile ortaya çıkarılmıştır (Akyüz 2001).

Polimerler çok kolay işlenirler. İşleme sıcaklıklarının 400 ^{0}C'nin altında (genelde 120 ^{0} C ile 320 ^{0} C arası) olması, işlenmeleri için gerekli enerji miktarının da düşük olmasını sağlar. Aynı zamanda polimerler, yüksek miktarlarda üretime imkan veren otomasyon tekniklerine uygun oldukları gibi pahalı ve zaman alıcı son işlemler gerektirmeden çok komplike parçalar üretmeye de uygun malzemelerdir.

Polimerlerin iç ve dış özellikleri, katkı maddeleriyle kolaylıkla değiştirilebilir. Bu katkı maddelerinin önemlileri; malzeme özelliğini geliştirmeyen ve ekonomik nedenlerle malzemeye ilave edilen talaş, mineral, vb. dolgu maddeleri, polimer malzemelerin elastikiyet modülü ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerini değiştiren, genellikle cam veya karbon-fiber gibi takviye edici dolgu malzemeleri, malzemenin boyanmasını sağlayan renk pigmentleri, bazı polimerlere, çalışma özelliklerini ve mekanik özelliklerini değiştirmek için katılan yumuşatıcılardır.

Polimerlerin elektrik ve ısı iletkenlikleri düşüktür. Isı iletkenliklerinin metallerin ısı iletkenliklerinden neredeyse 300 kat daha düşük olması, polimerleri önemli ısı yalıtıcı malzemeler haline getirmiştir. Tabi bu kadar yüksek ısı yalıtkanlığının önemli bir dezavantajı, eriyik haldeki polimer malzemenin kalıp içinde soğutulmak için uzun sürelere ihtiyaç duymasıdır. Düşük elektrik iletkenlikleri, polimerlerin önemli elektrik yalıtıcı malzemeler haline getirmiş olmakla beraber bazen de polimerlerin elektrik geçirmesi istenebilir. Örneğin ayakkabı taban imalinde, kullanıcı üzerinde statik elektrik birikmemesi için taban malzemesinin elektriği geçirmesi istenir.

Yapıları temelde metallerden farklı olan polimerler korozyondan da metaller kadar etkilenmezler. Sadece birçok kimyasal ortama karşı olan dirençleri bile, polimerlere büyük bir pazar payı kazandırmıştır. Buna çesitli ev aletleri, akaryakıta karşı dirençli otomobil parçaları veya gıda ve kozmetik sanayinde ambalajlama amacıyla kullanılan polimerler örnek olarak verilebilir. Bununla beraber polimerlerin organik çözücülerde çözünebilir olması, kullanılacakları uygulamalarda daha dikkatli olunmasını gerektirmektedir.

Polimerler çeşitli metotlarla yeniden kullanılabilir hale getirilebilirler. Ama ekonomik sebeplerden dolayı polimerleri malzeme olarak geriye kazanmaktansa yakarak enerji geri dönüşümünü sağlamak tavsiye edilmektedir.

Polimerleri hammadde olarak üretmek, düşük miktarlarda enerji gerektirdiği icin ucuz da olmaktadır. Ancak enjeksiyon kalıpçılığında kullanılan polimerlerin geri dönüşümlü olmaması tavsiye edilir. Kullanılsa bile çok düşük oranlarda yeni malzemeyle birlikte kullanıllması istenir. Çünkü ürün yüzey kalite düzeyini düşürebilir.

3.1.2. Malzemenin Reolojik Özellikleri

Reoloji tanım olarak malzemenin deformasyon ve akışını inceleyen bilim dalıdır. Bu yüzden polimerlerin reolojik özellikleri enjeksiyon kalıplama prosesinde en önemli rolü üstlenmektedir. Kalıplama esnasında akışkan haldeki malzemenin kalıbı doldurabilmesi için gerekli basıncı ve sıcaklığı bu özellikler tayin eder. Ayrıca, yine bu özellikler kalıplanan bu parça içinde kalan artık gerilmelerin miktarını dolayısıyla da parçanın mekanik özelliklerini tayin eder. Bu yüzden malzemeyi üretenler kadar kalıbı tasarlayanlarında malzemenin reolojik (akış) özelliklerinin prosesi nasıl etkilediği hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir (Akyüz 2001).

3.1.2.1. Dolgu Maddelerinin Etkisi

Dolgu maddeleri veya takviye amacıyla kullanılan fiberler reolojik özellikler üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olabilirler. Hacimsel olarak tipik % 20-40 oranında bir katkı sonucu viskozite gözle görülür bir şekilde artar. Cam kürecikler ile takviye edilmiş polipropilenin kullanıldığı kalıp dolma davranışının test edildiği bir çalışmada cam küreciklerin viskoziteyi önemli miktarda artmasına rağmen kalıp boşluğu içindeki akış özelliğine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür (Rodney 2002).

3.1.2.2. Basınç ve Sıcaklık Etkisi

Bir sıvının viskozitesi artan sıcaklıkla keskin bir şekilde azalır. Bir sıvının viskozitesi aynı zamanda basınca bağlıdır ve basınç azaldıkça viskozite de azalır. Bu hacim ergimiş malzeme içinde moleküller tarafından doldurulmamış ve bu yüzden moleküllerin hareket edebilmesi kolaylaşacak ve bunun sonucu viskozite düşecektir. Sıcaklığın yükselmesi ısıl genleşmeyi dolayısıyla da serbest hacmi arttırır. Bu durum viskozitenin artan sıcaklıkla düşüşünü açıklamaktadır. Öte yandan basıncın artması malzeme içinde sıkışma yaratır ve bu da viskozitenin artması anlamına gelir. Polimerler çok fazla sıkıştırılabilir olmadıkları için serbest hacme bağlı olarak viskozitenin basınçla olan değişimi sıcaklıkla olan kadar önemli değildir (Quinn ve ark. 1999). Çizelge 5.1'de çok kullanılan polimerlerin enjeksiyon sıcaklık ve basınç değerleri verilmiştir.

3.1.3. Polimerlerin Kalıplanmasında Kullanılan Yöntemler

Polimerler birçok yöntem kullanılarak kalıplanabilmektedirler. Bunlar; sıkıştırmalı (basınçlı) kalıplama metodu, transfer kalıplama metodu, enjeksiyon kalıplama metodu, haddeleme kalıplama metodu, şişirme kalıplama metodu, fışkırtma kalıplama metodu ve soğuk kalıplama metodu olarak sıralamak mümkündür. Toplam polimerlerin %25'i enjeksiyon kalıplama metoduyla parça üretiminde kullanılmaktadır.

3.1.4. Polimer Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimer malzemeler termoplastik ve termoset plastikler olarak iki kısma ayrılır. Termoset polimerler, bir defaya mahsus olmak üzere ısıtıldığında istenilen biçimlendirmeyi elde ettikten sonra, yeniden ısıtıldığında eski biçimine dönüştürülemeyen polimer grubudur. Bu polimer türüne, epoksiler (EP), polyester (UP), Melamin-formaldehid (MF), fenolikler, poliüretan (PUR) ve silikon (SI) örnek verilebilir.

Termoplastikler, ısı ve basıncın etkisi altında yumuşayıp, akabilen, bu durumda şekillendirilebilen ve soğutulduğunda sertleşip şeklini muhafaza edebilen şekil alabilen maddelerdir. Bu şekillendirme sırasında kimyasal yapılarında herhangi bir değişiklik olmazken fiziksel özellikleri değişim gösterir. Bu türe verilecek birkaç önemli çeşitler aşağıda verilmiştir. Bu türe verilebilecek örnekler şunlardır:

Akrilonitril Budaien Stiren (ABS), doğal gaz boruları, petrol boruları; atık ve tuzlu tahliye borularında, çok parlak türleri olması sebebiyle, elektronik ve beyaz eşyada, büro makinelerinde, elektrikli ev aletlerinde, darbe ve ısıya dayanımlı olmaları nedeniyle otomotiv ve bavul sektöründe kullanılmaktadır.

Polistiren (PS), enjeksiyon kalıplama ürünleri havalandırma üniteleri buzdolabı veya dondurucu parçaların imalinde kullanılır. Kasetler, radyo, TV, stereo kapakların imalinde yaygınlaşmakta olan bir malzemedir. Darbeye dayanıklı PS, ev aletleri, ayakkabı topukları, oyuncak ve kapak, kamera gövdesi, otomobil aksesuarı buzdolabı gövdesi ve jant kapağı imalinde kullanılmaktadır.

Polietilen (PE), paketleme folyesi, plaka, profil, boru, delikli parça ve kullanım yerinde gerilim çatlağı korozyon tehlikesi olmayan, mekanik özellikler ve yüzey sertliği bakımından fazla zorlanmayan enjeksiyon döküm parçalardır.

Polivinilklorür (PVC), aşındırıcı sıvı gaz ileten boru donanımlarının bağlantılarında, plaka, boru, profil ve folye olarak, kaplama malzemesi olarak, içme ve atık su tesisatlarında boru olarak kullanılır.

Poliamid (PA), dişli çark, çubuk, civata gibi mekanik yüklenen ve ölçü tamlığı aranan yerlerde, armatür, vantilatör, soğutma dolabı parçaları, taşıt, büro makineleri parçaları ve ayrıca yarı mamul olarak (tel, çubuk, boru, profil) kullanılabilir.

3.2. Kompozit Malzeme

Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik olarak, fiziksel olarak birbirinden farklı ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilen, en az iki farklı maddenin bir araya getirilmesi ile meydana gelen malzeme grubudur. Birbirinden faklı bu iki bileşen matriks malzeme ve matriks içinde dağılmış olan takviye malzemesidir. Birleşme genellikle fizikseldir. Yüksek mukavemet ve rijitliğe sahip elyafla, kimyasal dirençli

plastik matriks malzemeden üretilen kompozitin mukavemet ve rijitliği elyafa, kimyasal direnci ise plastiğe yakın olur (Şahin 2000).

Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmedeki amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerin daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, "çok bileşenli malzeme", "çok fazlı malzeme", "donatılı malzeme" ve "pekiştirilmiş malzeme" gibi adlarda verilmektedir. Kompozit malzemelerde genelde dört koşul aranmaktadır:

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzlerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olmasıdır (Ersoy 2001).

3.2.1. Kompozit Malzemenin Genel Özellikleri

Kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerden başlıcalarını sıralamak gerekirse;

Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpılma dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği veya ısıl direnç, elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu, rijitlik, ağırlık ve görünüm gibi benzeri özellikler şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, böylelikle dolaylı olarak malzemenin birim maliyeti de düşürülebilmektedir (Ersoy 2001).

Bu amaca yönelik olarak, kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden hemen hemen tamamı, başlangıçtan beri kullanıla gelen yöntemlerdir. Ancak, hepsinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Bir kompozitin yapısı, "matris" kabul edilen sürekli bir evre ile, onun içinde dağılmış

değişik özelliklere sahip donatılı fazından meydana gelmektedir. Bu yapı özellikle taneli ve lifli kompozit malzemeler için geçerlidir. Tabakalı kompozitlerde üretim ve malzemenin yapısı farklılık göstermektedir.

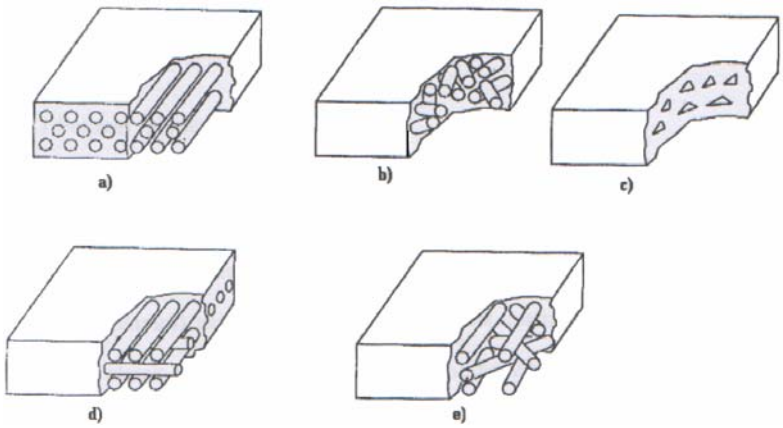
3.2.2. Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matriks adı verilen bir ana bileşenle, yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülüne sahip olan takviye elamanı (fiber, tane, tanecik, pulcuk, tabaka) olarak adlandırılan yapısal bileşenlerden oluşurlar. Bileşen türü ve yapısal açıdan başlıca üç grupta sınıflandırmak mümkündür. Bunlar;

- Elyaf takviyeli kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,
- Partikül katkılı kompozitler.

3.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Takviye malzemesi elyaf halindedir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin özellikleri, fiber/matriks karışım oranlarını değiştirmek ve her bir fazın sahip olduğu nitelikleri düzenlemek suretiyle ayarlanabilir. Özellikleri ve sahip olduğu nitelikleri yönlere göre değişen malzemeler, anizotropik malzemelerdir. Malzemenin anizotropik olmasının en önemli neticelerinden birisi, malzeme davranışlarını izah edebilmek için gerekli olan parametre sayısının artmasıdır. Mesela, izotropik malzemelerin elastik davranışının izah edilebilmesi için yalnızca iki sabit parametre gerekirken, genel anizotropik malzeme için 21 ve ortotropik malzeme için 9 sabit parametrenin bulunması gereklidir. Elyaflı kompozitler yumuşak ve sünek matriks içine sert dayanıklı elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Elyaflı kompozitler şekil 3.1'de görüldüğü gibi, tek yönlü sürekli elyaflı, kırpılmış elyaflı, ortagonal elyaflı, çapraz dizilmiş sürekli elyaflı ve rasgele dizilmiş sürekli elyaflı olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar. (Şahin 2000).



Şekil 3.1 a) Tek yönlü sürekli elyaflar b) Kırpılmış elyaflar c) Ortogonal elyaflar d) Çapraz dizilmiş sürekli elyaflar e) Rasgele dizilmiş sürekli elyaflar

3.2.2.2. Tabakalı Kompozitler

Bu tür malzemede en az iki adet olan farklı fazlar tabakalar şeklinde kompozitin yapısı içinde yer almaktadır. Genelde bu fazlardan biri kompozit özelliklerini kazandıran sürekli faz diğeri ise sürekli fazı oluşturan tabakaları bir arada tutan bağlayıcı fazdır. Organik veya inorganik malzemeler tabakalar halindedir. Teflon ve kauçuk kaplı metalik levhalar örnek olarak sayılabilir.

3.2.2.3. Partikül Katkılı Kompozitler

Bir matris içinde milimetre üzerindeki boyutlarda tanelerin yer aldığı bir kompozit malzeme türüdür. Örnek olarak, bir tür polimer kompozit olan polimer beton yada çimento esaslı beton verilebilir. Çeşitli tanelerin bir bağlayıcı ile bağlanarak bir arada tutulmasıyla elde edilen malzemeye partikül katkılı kompozit denir. Bağlayıcı olarak termoset matriks kullanılıyorsa polimer kompozit olarak adlandırılmaktadır. Polimer kompozitleri oluşturan, taneler kum, bağlayıcı olarak da reçine kullanılıyorsa bu tür polimer kompozitlere de polimer beton ismi verilmektedir. Polimer kompozitler özelliklere sahip olurlar. Bunlar; ortam sıcaklığında hızlı sertleşme, yüksek çekme, eğme ve basma mukavemeti, çoğu yüzeylere iyi bir yapışma, aşındırıcı çözeltilere veya suya karşı düşük bir geçirgenlik, iyi bir kimyasal direnç şeklinde sayılabilir (David 1986).

4. PLASTİK ENJEKSİYON TEKNOLOJİSİ

Plastik enjeksiyon işlemi, polimer eşya üretiminde kullanılan ve kullanımı her geçen gün diğerlerine göre artan en önemli metotlardandır. Hammaddenin tek bir işlemle istenilen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi, bu yöntemi seri mal üretimi için oldukça uygun bir hale getirmektedir (Akyüz 2001).

Enjeksiyon kalıplama metodu, en çok termoplastiklerin şekillendirilmesinde uygulanan bir metottur. Toz ve küçük taneler halindeki termoplastikler, huni yardımıyla, silindir içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan silindirin sıcaklığı, polimer malzemenin cinsine göre ayarlanır. Silindirin içerisinde ısıtılan polimer malzeme, hidrolik pistonla veya helezon vidalı mil yardımıyla silindir sonuna doğru taşınır. Yayıcı aracılığıyla hız kazanan erimiş polimer, enjeksiyon memesinden hızla geçerek, kalıp boşluğunu doldurur. Kalıp iç boşluğun şeklini alan polimer, soğutulur. Kalıp açılarak polimer parça çıkarılır (Karabay ve ark. 1971).

Plastik enjeksiyon işleminin önemli avantajlarından biri, bu metotla otomatize edilmiş üretim hatlarının bir tek basamağında bile çok kompleks yapılara sahip ürün elde edilebilmesidir. Çeşitli oyuncaklar, her çeşit ev eşyaları, çeşitli elektronik parçaları, otomotiv parçaları gibi günlük hayatta rastladığımız polimer ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon işlemi ile üretilmektedir.

Enjeksiyon yönteminin avantajları, hızlı bir şekilde ürün elde edilebilmesi, yüksek hacimlerde üretimin mümkün olması, diğer işlemlere göre düşük maliyetli olması, otomasyona uygun olması, hemen hemen hiç son işlem gerektirmemesi, değişik yüzey, renk ve şekillerde mal üretilebilmesini sağlaması, seri üretim olmayan çok küçük parçaların dahi seri üretimlerin yapılabilmesini sağlamasıdır. Ayrıca, malzeme kaybının çok az olmasını sağlaması, aynı kalıpta ve aynı makinede farklı malzemelerin basılabilmesini sağlaması, düşük toleranslarda çalışabilmeyi sağlaması şeklinde sıralayabiliriz. Enjeksiyon yönteminin dezavantajları ise, sektörde yoğun rekabetten dolayı kar marjının düşük olması, kalıp fiyatlarının pahalı olması, enjeksiyon makinelerinin ve yedek parçalarının pahalı olması, malzeme kontrolünün makine tarafından direkt ve sürekli olarak yapılaması, kalitede sürekliliğin tam olarak tanımlanamaması ve sağlanamaması şeklinde sıralayabiliriz (Erci 1972).

4.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi

Enjeksiyon yönteminin esası, toz ve tanecikli yapıdaki polimer malzemesinin ısıtılmakta olan enjeksiyon makinesi silindirinden eritilerek, silindirin ucundaki lüleden bir basınç uygulanarak kapalı kalıp boşluğuna doğru itilmesi şeklindedir. Bu yöntemde kalıba basılan polimer malzeme kalıp boşluğunun biçimi alarak katılaşmaktadır.

Plastik enjeksiyon makinesinin temel işlevleri şunlardır;

- Polimer malzemenin sıcaklığını basınç altında akış sağlayabilecek dereceye çıkarmak,
- Makinenin kapalı tuttuğu kalıba polimerin itilip, katılaşmasını sağlamak,
- Kalıbı açıp ürünü çıkarmaktır.

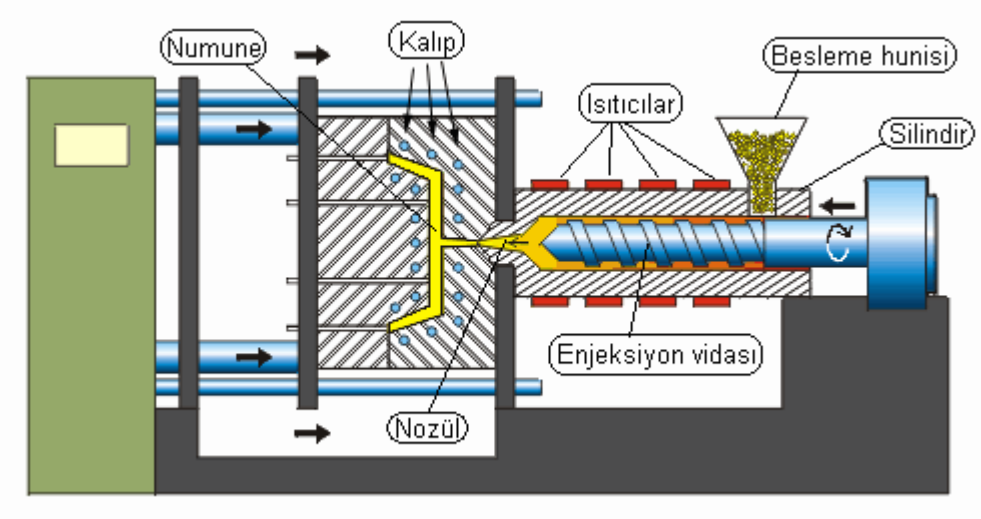
Polimer endüstrisinde büyük çoğunlukla vidalı enjeksiyon presi kullanılmaktadır. Vidalı tip enjeksiyon presi ile yapılan kalıplama işleminde; kalıplama sıcaklığına yükselen polimer maddeye basınç uygulanır. Kalıplanan parçanın şekil değiştirmesin, önlemek için parça kalıp içerisinde bekletilir. Kalıbın otomatik olarak açılması ve kalıplanan parçanın iticiler yardımıyla kalıptan çıkartılması, öncelikle izlenecek yollardan birkaçıdır.

4.1.1. Enjeksiyon Sistemi

Enjeksiyon veya plastikatör kısmı enjeksiyon kalıplama makinesinin en önemli kısmını oluşturur. Enjeksiyon işlemi presin üzerinde bulunan huni içerisine, talaş veya boncuk halindeki polimer madde doldurulur. Besleme kanalı yardımıyla polimer madde enjeksiyon silindirinin arka boşluğuna akar (Karabay ve ark 1971).

Enjeksiyon sistemi, granül veya tanelenmiş haldeki polimer hammaddesinin konulduğu besleyici huni, ileri geri hareketli vida, enjeksiyon silindiri ve enjeksiyon nozülünü içermektedir. Şekil 4.1'de enjeksiyon sistemi gösterilmektedir. Besleme hunisi, küçük taneler veya granül şeklindeki termoplastik malzemenin enjeksiyon

vidasına iletimini sağlayan kısımdır. Malzeme bir sonraki adım olan silindir kısmına iletilmektedir. Silindir, enjeksiyon vidası tarafından desteklenmekte, elektrikli band ısıtıcılar ile ısıtılmaktadır.



Şekil 4.1 Enjeksiyon sistemi

Enjeksiyon vidası üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar besleme bölgesi, dönüştürme bölgesi, dozaj bölgesidir. Vidanın dış çapı sabit kalırken, enjeksiyon vidasının ilerleme derinliği, besleme bölgesinden dozaj bölgesinin başlangıcına kadar azalmaktadır. Bu ilerleme malzemeyi silindirin iç çapına karşı bastırmakta ve bu bölgede viskoz ısınma meydana gelmesine sebep olmaktadır. Enjeksiyon makinesinde üç ve daha fazla farklı sıcaklık ayarları yapabilen ısıtıcı bant veya bölge bulunmaktadır.

Nozül, silindire ve kalıbın yolluk burcuna bağlanmaktadır. Silindir ve kalıp arasında sabitlenmiştir. Nozülün sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığına veya malzeme tedarikçilerinin tavsiye ettiği sıcaklık derecelerine göre ayarlanmaktadır. Silindir işlem esnasında tam ilerlemiş durumdayken, nozülün radyüsü yolluk burcundaki yuvaya yerleştirme halkası yardımıyla tam olarak oturmaktadır.

4.1.2. Enjeksiyon İşleminin Basamakları

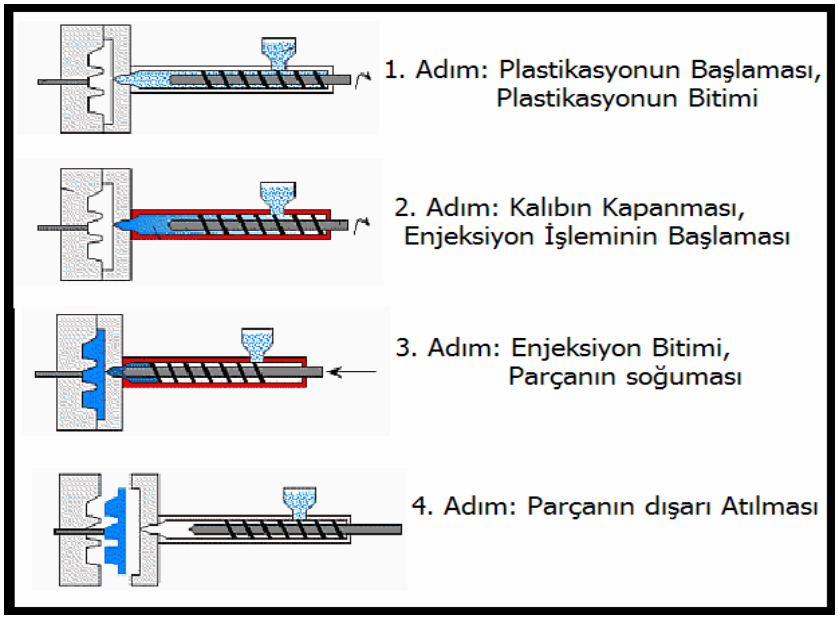
Bir enjeksiyon işlemi aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır. Şekil 4.2'de enjeksiyon işlemi basamakları gösterilmektedir;

1. Plastikasyonun başlaması: Helezon dönerek bir yandan malzeme hunisinden ocağın içerisine polimer hammaddeyi alırken bir yandan da erimeye başlayan malzemeyi ocağa aldığı malzeme sayesinde ileri, meme boşluğuna doğru iter. Helezon bu işlemleri yaparken eksenel olarak geriye doğru hareket etmektedir.

2. Plastikasyonun bitmesi ve kalıbın kapanması: Helezonun dönmesi durur. Memede artık enjeksiyon yapmaya yetecek kadar malzeme vardır. Mengene, kalıp parçaları üst üste gelecek şekilde sıkıca kapanır.

3. Enjeksiyonun başlaması: Helezon dönmeden, eksenel olarak ileri hareketiyle eriyik malzemeyi kalıp boşluğuna doğru iter.

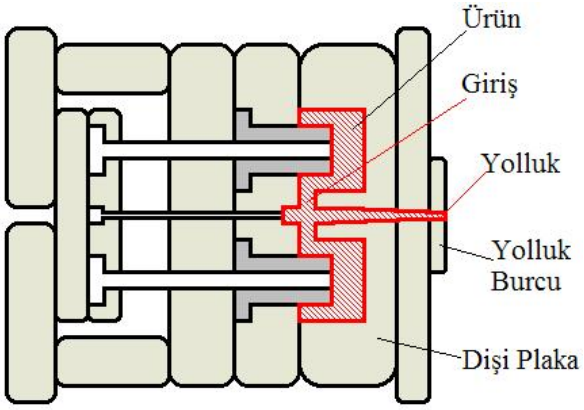
4. Enjeksiyonun bitmesi ve kalıbın içerisindeki malzemenin soğuması: Artık sıcak olan eriyik malzeme kalıp boşluklarını tam olarak doldurmuş ve hemen soğumaya başlamıştır. Kalıba enjekte edilen sıcak mal daha düşük sıcaklıktaki kalıpla temas eder etmez soğumaya başlar ve çekme yapar yani büzüşür. İşte malzemenin bu büzüşmesini engellemek için kalıba biraz daha malzeme nakledilerek işlem gerçekleştirilir (Akyüz 2001).



Şekil 4.2 Enjeksiyon işlemi basamakları

4.2. Plastik Enjeksiyon Kalıp Sistemi

Polimer parçaların bize sağladığı en önemli faydalardan biri kolay bir şekilde biçimlendirilebilmeleridir. Bu işlemin en önemli elemanlarından biri de kalıp sistemidir. Kalıp sistemi, üretilecek parçanın biçimine göre açılmış olan kalıp içerisindeki boşluğa ergimiş haldeki polimerin enjekte edilmesi, böylece polimerin kalıp boşluğunda şeklini almasına yarayan, çeşitli elemanlardan oluşmuş bir düzenektir. Şekil 4.3'de basit bir kalıp sistemi gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Basit bir kalıp sistemi

Plastik enjeksiyon yönteminde ürünün şekli, boyutları, kalitesi ve toleransları öncelikli olarak kalıp tarafından belirlenmektedir. Ergimiş polimer, enjeksiyon memesinden kalıp boşluğuna enjekte edildikten sonra kalıp içerisinde enjeksiyon çevrimi yani iki ürün arasında geçen zaman gerçekleşmektedir (Erci 1972).

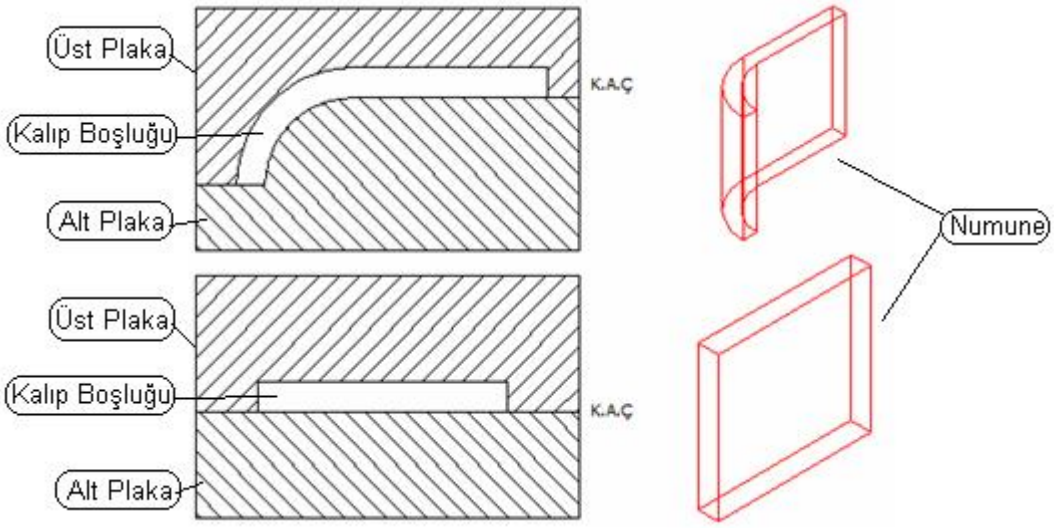
Kalıp tasarlanırken üretilecek ürünün boyutları, yapısı, hassasiyeti ve enjeksiyon parametreleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Kalıp kavitesi, kalıbın içerisine ergimiş polimerin enjekte edildiği yer olup, kalıbın kapanması sırasında kalıplanacak parçanın boşluğudur. Bir boşluktan oluşan kalıplara tek gözlü kalıp (tek bir çevrim sırasında bir ürün elde ediliyorsa), birden fazla boşluktan oluşan kalıba ise çok gözlü kalıp denilmektedir. Ergimiş polimer erkek parça ile dişi parça arasındaki kalıp boşluğu adı verilen boşluk içerisine dolmaktadır.

Kalıbın erkek kısmının bulunduğu kalıp yarımına erkek plaka denilmektedir. Kalıbın erkek kısmı, kalıplanan parçanın iç kısmını oluşturmaktadır. Kalıp boşluğu erkek plaka gibi tek plaka üzerine yerleştirilir. Yerleştirildiği plakaya da kalıbın dişi

plakası denilmektedir. Kalıbın dişi plakası genellikle makinenin hareketsiz plakası üzerine yerleştirilmektedir.

Genellikle yolluk sistemi kalıbın dişi kısmının üzerine yerleştirilmektedir. Kalıplar tasarlanırken yolluk sistemi dişi plakaya, itici sistemi de erkek plaka üzerine yerleştirilmektedir. Ergimiş polimerin soğuması sırasında polimer malzemenin çekme özelliğinden dolayı soğuyan ürün, kalıbın erkek kısmı üzerine doğru büzülmekte ve kalıbın dişi kısmından ayrılmaktadır. Çekme karakteristiğinden dolayı, ürünün kalıbın içerisinden atılabilmesi için itici sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca kalıplanan parçanın kalıptan kolayca çıkabilmesi için kalıplanan parçanın şekline göre kalıp açılma çizgisi tasarlanmaktadır.

Kalıp erkek ve dişi yüzeylerin kapanması sırasında oluşan çizgiye kalıp açılma çizgisi denilmektedir. Kalıplanacak parçanın biçim ve boyutlarına göre, kalıbın birden fazla açılma çizgisi bulunabilir. Açılma çizgisi sayısına göre de kalıplar birkaç parçaya ayrılır, ayrıca kalıplanacak parçanın biçimi, üretim sayısı, parçaya verilecek eğim açısı, boyutsal toleranslar, enjeksiyon kalıplama metodu, parçanın estetik görünüşü, hava tahliye kanalı, parça kalınlığı, kalıplama boşluğu sayısı ve yerleşim planı, giriş kanalı tipine göre kalıp açılma sayısı belirlenebilir. Şekil 4.4'de bazı kalıp açılma çizgisi örnekleri görülmektedir. Kalıptaki karmaşıklığı azaltmak, basılmış olan parçayı kolay bir şekilde dışarıya atabilmek için kalıp açılma çizgileri kalıp tasarımcıları tarafından belirlenmektedir (Turaçlı 2000).



Şekil 4.4 Bazı kalıp açılma çizgisi (K.A.Ç.) örnekleri

Tek açılma çizgili kalıplar, alt ve üst kalıp yarımlarından oluşan ve tek açılma çizgisi bulunan kalıplardır. Bu tip kalıplara uygulanacak ısı kontrol kanalları, destek plakalarına veya dişi kalıpla zımba içerisine açılır. Destek plakalarına açılan kanallar kalıbın soğutulmasında, dişi kalıp ye zımbaya açılan kanallar ise, kalıbın ısıtılmasında kullanılır.

İki açılma çizgili kalıplar, üretim sayısını arttırmak amacıyla birden fazla kalıplama boşluğu bulunan kalıplarda iki açılma çizgisi yapılabilir. Bu tip kalıplarda dişi kalıp veya zımba, çift yönlü kalıplama işlemini görür. Kalıp dayanımını arttırmak için esas kalıp elemanları, destek plakalarıyla takviye edilir. Ayrıca kalıpların içine ısıtma veya soğutma kanalları açılabilir.

Üç açılma çizgili kalıplar, bir merkez çevresinde çoklu kalıplama boşluğu bulunan kalıpların genellikle üç kalıp açılma çizgisi bulunur. Ayrıca, değişik profilli parçaların kalıptan çıkartılabilmesi için de en az iki veya üç kalıplama çizgisinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, çoklu veya değişik profilli parçaların üretilmesinde kullanılan kalıplarda üç açılma çizgisi bulunur. Aksi halde, parçanın kalıptan çıkartılması veya artık polimer maddenin kalıptan alınması zorlaşır ve kalıplama işlemi tam olarak yapılamaz. Plastik enjeksiyon kalıbı ana sistemden meydana gelmektedir. Bunlar;

- Yolluk sistemi: Eriyik malzemenin alınıp kalıp boşluğuna akmasını sağlar.
- Kalıp boşluğu: Eriyik malzemeye son şeklinin verilmesini sağlar.
- Soğutma veya ısıtma sistemi: Eriyik malzemenin soğutulması veya ısıtılmasını sağlar.
- İtici sistemi: Ürün haline gelmiş olan parçayı kalıptan dışarı atar.

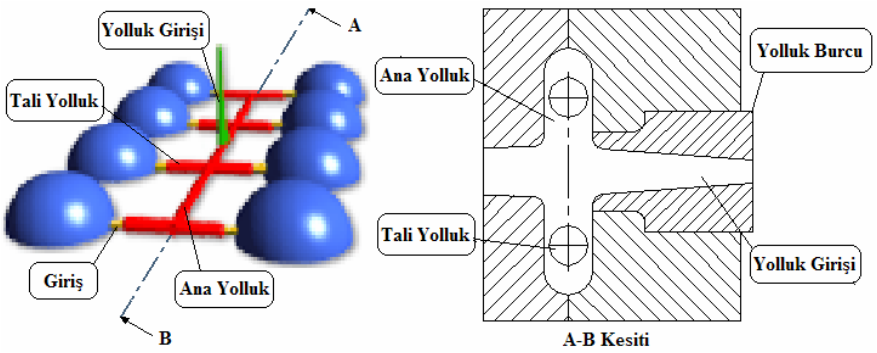
Bu fonksiyonel kısımlardan ayrı olarak kalıbın işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için ek gereksinimler vardır. Kalıp enjeksiyon makinesinin plakalarına bağlanabilmelidir. Hem kalıp taşıyıcı plakaların kapanmasını kolaylaştırmak, hem de polimer ünitesindeki silindirin ergimiş malzemeyi kalıp içerisine gönderen kısmının kalıbın girişine tam olarak oturmasını sağlamak için kalıbın hareketli veya sabit tarafında merkezleme burcu ve kalıp üzerindeki merkezleme elemanları yapar. Parça

geometrileri değişiklik gösterdiği için kalıp tasarımlarında çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir.

Kalıpların makine ve üretilecek makine özelliklerine göre çok çeşitli ve değişik tasarımlarda olabileceği unutulmamalıdır. En basit kalıp olan standart kalıp iki ana parçadan yani itici ve yolluktan oluşmaktadır. Tek yönde açma-kapama bu kalıp tipi çıkıntısız tüm ürünler için uygun yapıdadır (Akyüz 2001).

4.2.1. Yolluk Sistemi

Yolluk sistemi, polimer ünitesinden gelen ergimiş malzemenin kalıp boşluğuna sevk edilmesini sağlar. Boyutları ve parça ile olan bağlantısı kalıbın dolma işlemi dolayısıyla da parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Çabuk katılaşma ve kısa çevrim zamanı gibi ekonomik unsurları temel alarak yapılan bir tasarım özellikle teknik olarak bir takım özelliklere sahip olması istenen parçalardan beklenen kalitenin sağlanması için uygun değildir. Yoluk sistemi denilince bilinmesi gereken yoluklar, dağıtıcı kanallar ve girişlerdir. Şekil 4.5'de yolluk sistemini oluşturan kısımlar gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Yolluk sistemi

Yolluk sisteminin kalite istekleri ve ekonomik beklentiler gibi konularda yerine getirmesi gereken konular vardır. Bunlar çizelge 4.1'de özetlenmektedir. Sıcaklık durumlarına bağlı olarak üç çeşit yolluk sistemi mevcuttur. Bunlar standart yolluk sistemi, sıcak yolluk sistemi ve soğuk yolluk sistemidir.

Standart yolluk sistemi, standart yolluklar doğrudan kalıbın içerisinde imal edilir. Bu yüzden sıcaklıkları kalıp sıcaklıkları ile aynıdır. Bu tür yolluklarda kalıbın ısıtılmasına gerek yoktur. Yani enjeksiyon işlemi kalıp sıcaklığında gerçekleştirilir. Ergimiş polimer malzeme her bir enjeksiyonda yolluklarda donar ve akış sonrası ürün ile birlikte alınır. Termoplastik malzemenin yollukları kırma makinelerinde kırılarak tekrar hammadde olarak kullanılırlar.

Sıcak yolluk sistemi, kalıp manifolt yardımıyla 180-300 °C'ye kadar kullanılan termoplastik malzemenin ergime sıcaklığına bağlı olarak ısıtılır. Bu sistemlerde manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar. Standart yolluklu sistemlerden farklı olarak, termoplastik malzeme yolluklarda akışkan durumundadır ve dolayısıyla enjeksiyon sonrası alınmasına gerek yoktur. Yolluklar bir sonraki polimer akışı için hazırdır.

Belirli bir sıcak yolluk sisteminin seçimi kalıplanacak malzemeye bağlıdır. Günümüzde takviye edilmiş polimer malzemeler dahil hemen hemen tüm polimer malzemeler sıcak yolluk sistemleri kullanılarak kalıplanabilmektedir. Sıcak yolluk sisteminin ekonomik avantajları, yolluklar için kullanılan malzeme miktarında ve malzemenin tekrar kullanılması için gereken kırma maliyetlerinden tasarruf sağlarlar, daha kısa çevrim zamanı sağlar ve yollukların kalıptan çıkarılması için ilave sistemlere gerek kalmaz dolayısıyla lülelerin tıkanma sorunu olmaz.

Dezavantajları ise, ekonomik olarak; kalıp ve yolluk sistemi gerekli sıcaklığa ulaşana kadar daha fazla bozuk malzeme çıkar, kalıp tasarımı için harcanan zaman ve efor daha fazladır, ısıtıcılar, sıcaklık sensörleri ve kontrol üniteleri gibi yardımcı ekipmanların varlığı ve montajı kalıp maliyetini arttırır. Soğuk yolluk sisteminde, sıcak yolluklu kalıplardan farklı olarak termoset ve kauçuk malzemenin kullanıldığı tasarımlarda kullanılmaktadır. Yolluk 80-120 °C'de tutularak malzemenin erken reaksiyona girmesi engellenir (Akkurt 1999).

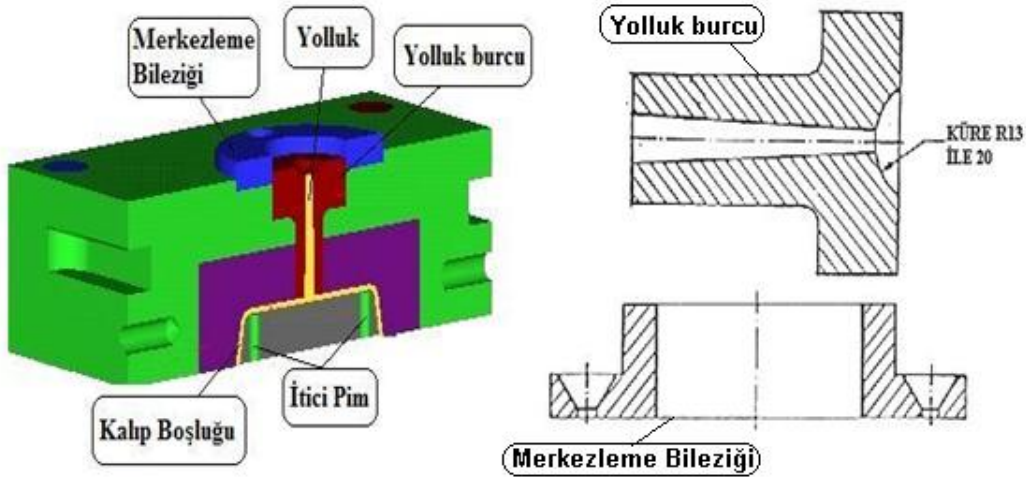
Çizelge 4.1. Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler

1. Kavite en az birleşme hattı oluşumu ile dolmalı
2. Akışı zorlaştıran engeller mümkün olduğu kadar az olmalı
3. Kalıptan kolay çıkabilmeli
4. Parça etkilenmemeli
5. Toplam ağırlık içindeki payı mümkün olduğu kadar az olmalı
6. Uzunluk, basınç, sıcaklık ve malzeme kayıpları minimum düzeyde tutacak şekilde teknik açıdan mümkün olduğu kadar kısa olmalı
7. Donma zamanı tutma basıncının etkili olabilmesi için parçanın ki ile aynı veya biraz daha fazla olmalı
8. Yolluk sistemi çevrim zamanını etkilememeli veya az etkilemeli
9. Parça girişi en kalın parça kesitinden yapılmalı
10. Girişin yeri jetting olayını önleyecek şekilde seçilmeli

Yolluk, erimiş haldeki polimer akışkanın enjeksiyon makinesi memesinden (nozzle) kalıba ilk giriş yaptığı açıklıktır. Yollukların uzunluğu kısa olmalı ve eğer mümkünse bükülmeler olmamalıdır. Her bir kaviteye (kalıp boşluğu) aktarılan malzemenin sıcaklığı ve basıncı aynı olmalıdır, yani dengelenmiş olmalıdır. Yollukların şekli ve boyutları aynı olmalıdır. Yolluk imalatında yüzey pürüzlülüğü çok önemlidir. Yollukların ana fonksiyonları; ergimiş haldeki malzemeyi kalıp boşluğuna en az ısı ve basınç kaybı olacak şekilde hızlı olarak aktarır, malzeme kalıp boşluğuna veya boşluklara memelerden aynı zamanda aynı basınç ve sıcaklıkta girmelidir ve malzeme tasarrufu açısından kesit alan en az tutulmalıdır.

Yolluk burcu, erimiş malzemeyi plastik ünitesinden alır ve genellikle kendisine dik olan ayırma yüzeyi boyunca ona kılavuzluk eder. Diğer bir deyişle, plastik enjeksiyon makinesi memesine yuvalık yapar. Polimer malzemenin dağıtıcı kanallara, oradan da kalıp boşluğuna akmasını sağlar. Yolluk burcun polimer malzeme giriş ağzı, içe doğru küresel yüzeyli yapılır. Dışa doğru küresel yüzeyli olan, enjeksiyon memesinin içbükey yüzeye oturması sağlanır. Yolluk burcu içbükey küre yarı çapı, enjeksiyon memesi dışbükey yarı çapından biraz daha büyük yapılır. Bunun sebebi, yolluk burcu giriş ağzında sertleşen polimer malzemenin memenin oturma yüzeyine yapışıp kalmasına mani olmak içindir (Ataşimşek 2002).

Yolluk burcu içindeki delik konik yapılır. Nedeni, soğuyarak katılaşan polimer malzemenin, çekilip alınması kolay olur. Cüruf denilen polimer artık malzeme, yolluk burcun içerisinde kalırsa delik tıkanmış olur ve enjeksiyon işlemi gerçekleşmez. Bu yüzden yolluk burcunun temizlenmesi gerekir. Değişik şekil ve ölçülerde enjeksiyon yolluk burçları kullanılır. Yolluk burçları kaliteli çelik malzemeden yapılırlar. Her kalıplama çevrimi sonunda, kalıp açıldığında yollukta donan malzemenin dışarı rahatça atılabilmesi için, yolluk burcu içerisine 3°-5° koniklik verilmiştir. Şekil 4.6'da yolluk ve yolluk burcu gösterilmektedir.

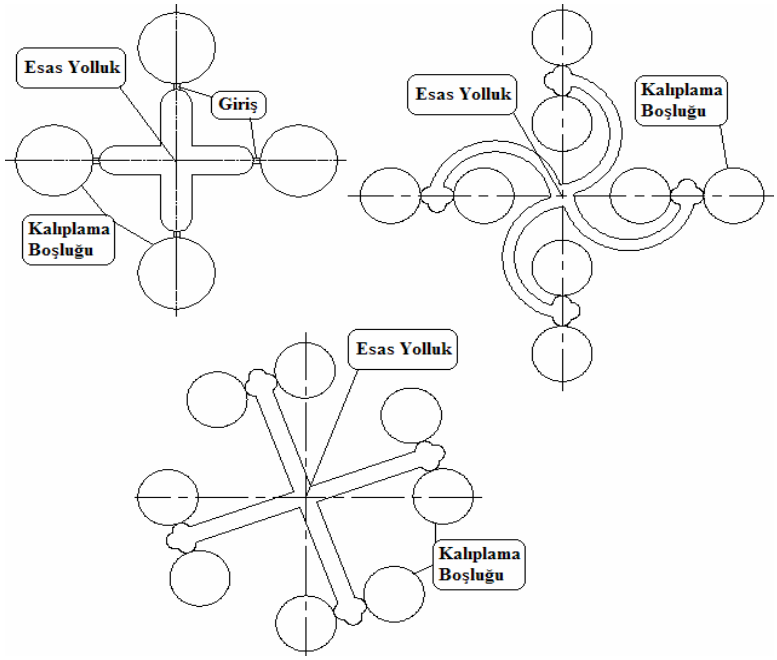


Şekil 4.6 Yolluk, yolluk burcu ve merkezleme bileziği

Dağıtıcı kanallar, yolluk ve giriş kanalı arasındaki bağlantıyı sağlayan kısımdır. Eşit basınç altında ve aynı anda bütün kalıp boşluğuna veya boşluklarına eriyik polimer malzemeyi dağıtmak başlıca görevidir (Daniel 2000). Dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları, kalıp tasarımında düşünülmesi gereken en önemli kısımlardan biridir. Enjeksiyon basıncı kaybını en aza indirecek ve polimer malzemenin akışına hız kazandıracak boyutlarda olmalıdır. Ancak polimer malzemenin donmasına sebep olabilecek değerde olmamalıdır. Kalıp tasarımı yapılırken dağıtıcı kanalların biçim ve boyutları da beraber tasarlanır (Ataşimşek 2002).

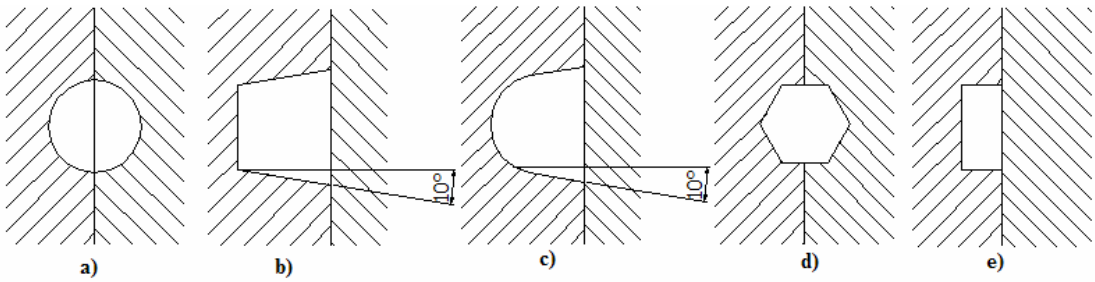
Dağıtıcı kanalların ölçüleri; kalıplanacak polimer malzemenin cinsine, üretilecek parça boyutlarına ve kalıbın tasarımına bağlıdır. Tasarım aşamasında dikkat edilecek bir husus da parçanın büyüklüğü ve kesit kalınlığı olarak dağıtıcı kanalın şeklini değiştir. Büyük kesitlerde kalıbı doldurmak kolaydır. Çünkü ince kanallardan büyük boşluklara akış daha kolaydır. Şekil 4.7'de değişik tipte dağıtıcı kanalların durumları gösterilmektedir. Enjeksiyon kalıplarında kalıp boşluğuna dolan

ergimiş polimerin debisini hızını etkileyen dağıtıcılar, polimerin akışı, basıncı ve sıcaklığı gibi parametreleri etkilemektedir. Çok gözlü kalıplarda yolluğa yakın kalıp boşluğu ile yolluktan uzak olan kalıp boşluklarının aynı sürede dolması ve polimerin her bir kalıp boşluğuna aynı basınç ve debi ile dengeli olarak iletilmesi dağıtıcı sistemine bağlıdır (Erci 1976).



Şekil 4.7 Dağıtıcı kanalların dengeli dağılım durumları

Şekil 4.8'de dağıtıcı kanalların geometrik yapıları görülmektedir. Enjekte edilen ergimiş polimerin akma ve donma karakteristikleri dağıtıcı kanalların geometrileri tarafından belirlenmektedir. Çünkü ergimiş olan polimer dağıtıcı sistemlerinden geçerken, kalıp sıcaklığının düşük olması nedeniyle temas ettiği yüzeylerde donarak kabuk şeklinde bir tabaka oluşturacaktır. Oluşan bu kabuk, hem kesitin daralmasına neden olmakta hem de yalıtıcı görevi görerek ergimiş olan polimerin merkezinin sıcak kalarak akmasına neden olacaktır (Thayer ve ark. 1959).

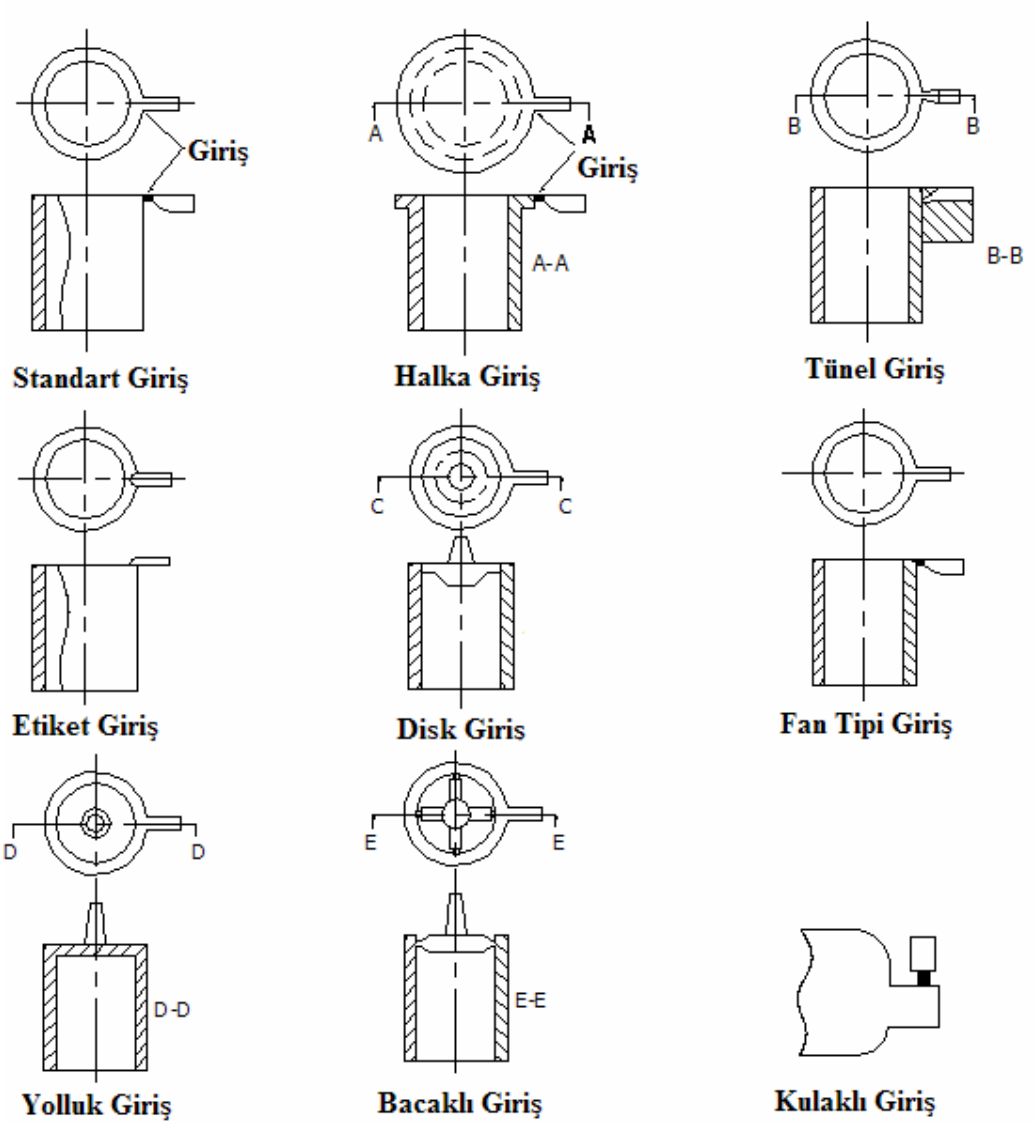


Şekil 4.8 Dağıtıcı kanal tipleri, a) Daire, b) Trapez, c) Yarım daire, d) Altıgen, e) Dikdörtgen

Yuvarlak kesitli dağıtıcılar, basınç ve sıcaklık kaybını önleyen en iyi yolluk ve giriş bağlantı kanalıdır. Avantajları; kesiti en küçük, soğuma oranı en yavaş, düşük ısı ve sürtünme kayıpları azdır. Dezavantajı, her iki kalıp yarısına işlenmesi zor ve pahalıdır. Trapez kesitli dağıtıcı kanallar, kalıp yarımlarından birine açılır. Dezavantajı, parabolik kesite göre daha fazla artık malzeme ve ısı kaybı oluşur. Yuvarlak kesitli dağıtıcı kanalların açılması mümkün olmayan kalıplara açılır. Parabolik kesitli dağıtıcı kanallar, kesit olarak en iyisi sayılır, plakanın birisine açıldığı için işlenmesi basittir. Dezavantajı, yüksek ısı kaybı ve artık malzeme dairesel kesittekinden fazladır. Yarım yuvarlak ve dikdörtgen kesitli dağıtıcı kanallar kullanışsızdırlar ve tercih edilmezler. Sonuç olarak, hem kanalların açılmasının kolaylığı hem de akış ve kalıptan atılma karakteristiklerinin iyi olmasından dolayı genellikle tek plaka üzerine açılan yarım daire ve trapez kesitli dağıtıcı sistemleri tercih edilmektedir (Rosato 1986).

Dağıtıcı sistemler tasarlanırken, en çok dikkat edilmesi gereken nokta, dağıtıcı kanalların kesiti ve boyutu olmaktadır. Dağıtıcı kanalların gereğinden fazla uzun olması hem artık malzeme miktarını arttırmakta hem de ergimiş polimerin akış direncini ve basıncı etkilemektedir. Bu nedenle kanallar her bir kalıp boşluklarını eş zamanlı ve dengeli doldurabilmesi için uygun bir kesit ve uzunlukta tasarlanmalıdır. Yapışkanlığı az olan polimer maddenin kalıplanmasında yolluk burcu ile kalıplama yolluğu arasındaki mesafe 125 mm'nin altında ise 3-6,5 mm çapında yuvarlak kesitli dağıtıcı kanallar kullanılabilir.

Giriş, dağıtıcı kanalın ucundan kalıp boşluğuna kadar olan kısa boyda ve dar kanallardır. Giriş kanalları, çok karışık olan polimer malzeme akışını düzene sokar. Üretilecek olan polimer parçaya daha iyi bir görünüş verir. Böylece kalıplanan polimer parçanın çekme payını bir miktar azaltır. Genellikle bütün sistemin en ince noktasıdır. Boyutu ve yeri gerekli gereksinimler dikkate alınarak belirlenir. Malzemenin kalın kesitlere, kaburgalara, paralel cidarlara veya herhangi açık alanlara girişi sonucu, çekmeden doğan çöküntü ve izlerden kaçınmak gerekir. Girişler boşluğun dolması için gereken genişlikten fazla değildir. Küçük girişler dağıtıcı ve yollukların parçadan alınmasına kolaylık sağlar ve malzemenin akma özelliğini arttırır (Ataşimşek 2002).



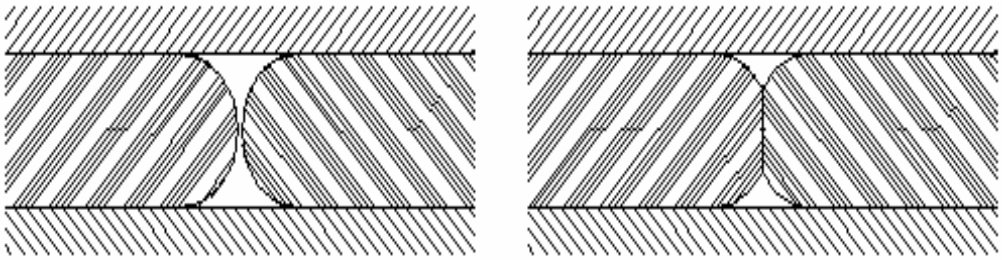
Şekil 4.9 Giriş tipleri (Rosato 1986)

Şekil 4.9'da belli başlı enjeksiyon kalıplamada kullanılan giriş tipleridir. Yolluk giriş tipi, tek boşluklu tasarımlar ve geniş kalıplama parçaları için kullanılmaktadır. Bu yolluk kesiti yuvarlaktır ve kalıptan kolayca çıkması için 3° ile 5° arası konik açıya sahiptir. Film giriş tipi, düz, et kalınlığı az olan veya cam fiber takviyeli malzemelerin kalıplanması için uygundur. Bilezik giriş tipinin en önemli özelliği göbeğin kalıbın her iki tarafına da monte edilebilir olması, dezavantajı ise son işlem gerektirmesi ve küçük kaynak hatlarının oluşumuna neden olmaktadır. Dikdörtgen giriş, kalıp ayırma hattının üstünde ya da altında oluşturulabilir. Giriş boyutları kolayca ve hızlı bir şekilde değiştirilebilir. Tünel giriş, daha çok giriş yanal olarak yerleştirilebildiği birden çok boşluğa sahip kalıplar için uygundur (Li 2000).

5. KAYNAK HATTININ ÖNEMİ

5.1. Kaynak Hattı

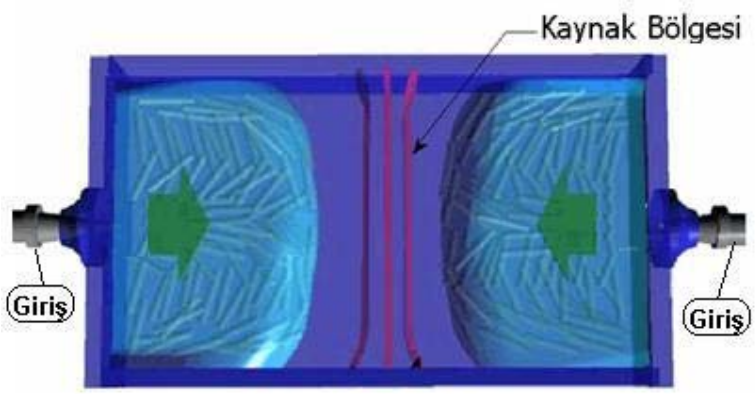
Kaynak hattı, enjeksiyon işlemi esnasında kalıp boşluğu içerisinde eriyik haldeki akışkanın birden fazla sayıya bölünerek ve belirli bir süre sonunda tekrar birleşmesi sonucunda meydana gelmesidir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Polimer kompozit eriyiğin birleşmesi

Kalıp içerisinde akan polimer eriğin akış önleri yuvarlaktır. Bu akış önleri birbiri ile karşılaştıklarında düzleşerek birbiriyle birleşirler. Bu birleşme yüksek vizkositeli akan polimer eriğin ön kısmının çekilmesine sebep olmaktadır. Eğer sıcaklık ve basınç yeterli miktarda değil ise, akmakta olan polimer eriyiğin ön kısımlarının köşeleri tamamen birleşemez ve kaynak hattının oluşmasına neden olur. Hareket eden polimer eriyik önünün akış özelliği, iki akış önlerinde ön şekli düzenlenmemiş moleküller oluşturur. Bu tamamlanmamış moleküller karışma ve kaynama yüzeyi boyunca homojen bir yapı oluşumunu engeller. Bu nedenle, parçadaki kaynak hattını, kaynak hatsız alandan daha dayanıksız olmasına neden olur.

Dolum aşaması sırasında iki veya daha fazla akış yolları ile karşılaşıldığı zaman, kaynak hattı zayıf ya da görülebilir bir kusurdur. Karşılaşmada birbiri içerisine iyi bir şekilde yayılmadan önce iki akışın önleri soğursa kalıplama parçasında zayıflamaya neden olur. Çizgi, çentik yada renk değişimi gibi görülebilmektedir (Şekil 5.2)(Daniel 2000).



Şekil 5.2 Kaynak hattı

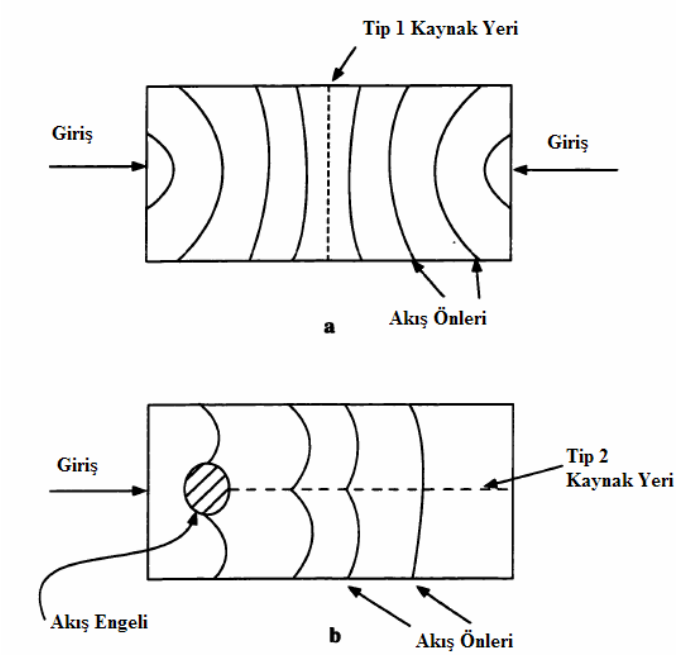
Polimerdeki kaynak hattı genelde optik ve mekanik zayıflığın göstergesidir. İz veya renk değişimi şeklinde görülmektedir. İzler özellikle koyu veya düz yüzeyli çok parlatılmış saydam parçalarda belirgindir. Renk değişimi, metal etkisi yapan pigmentli boyalı parçalarda görülür (Turaçlı 2000).

Kaynak hattı, ayrılmak zorunda kalan ve birbiri ile karşılaşan polimer eriyik akışların bulunduğu her yerde oluşmaktadır. Parçanın diğer bölümündeki özelliklerden bu hatların civarında yer alan malzemenin özellikleri oldukça farklı olduğundan kaynama hatları son derece belirgin bir şekil almaktadır. Genelde bu hatlar önemli ölçüde zayıf olduğundan, parçanın büyük bir ihtimalle bozulma noktalarını veya bölgelerini şekillendirmektedir.

Bir polimer parçanın kalıplanmasında, akış uçları buluşuyorsa deneyimli tasarımcı bunun üzerinde daha fazla gayret gösterebilir. Ayrıca, 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 birleştiğinden dolayı 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. Mukavemet azalmasının nedeni akan malzemenin geçtiği yerlerden havayı, nemi ve yağlayıcı malzemeleri süpürmesi ve yabancı maddeleri birleşme yüzeyine taşımasıdır (Kuzman ve ark. 2001).

Kaynak hattı akış etrafında tıkanıklık olmasına, akarken soğumasına, tekrar malzemenin birleşerek yüksek sıcaklık ve basınç altında daha kuvvetlenmesine sebep

olmaktadır. Kaynak hatları, akışkan haldeki malzemenin kalıp boşluğuna dolumları sırasında kalıp çoklu girişlere sahip olduğunda veya akış önündeki engellerle karşılaştığında belirli bir form alırlar. Şekil 5.3'de giriş yerinin fazla olması ve engel karşısında akışın oluşturmuş olduğu kaynak hattı gözükmektedir (Pitchamuthu 2003). Şekil 5.3'de a'ya baktığımızda tip 1'de iki farklı giriş seçilmesi sonucunda oluşan kaynak hattını, b de ise tek bir giriş ve giriş ön kısmında bir engelin olması sonucunda oluşan kaynak hattını göstermektedir.



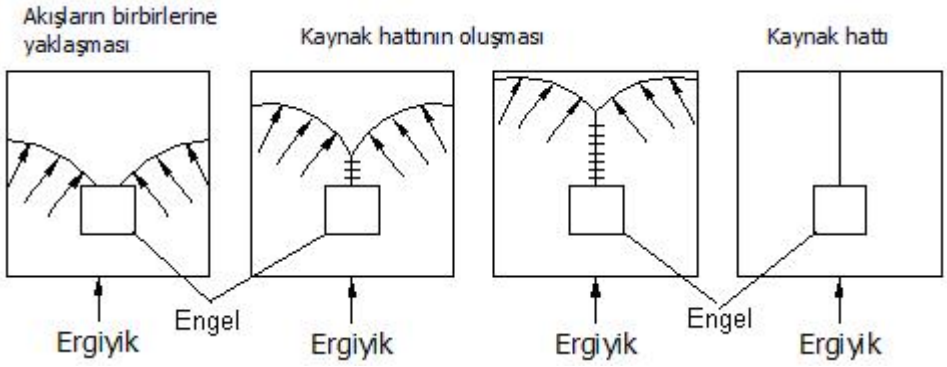
Şekil 5.3 Değişik tipte oluşan kaynak hatları

5.2. Kaynak Hattı Oluşumu

Kalıp içerisinde kaynak hatlarının oluşma yerlerini, genellikle delikler, maçalar, çok girişli kalıp boşluğu sistemleri, değişebilir cidar kalınlığı, duraksamanın meydana geldiği noktalar olarak ifade etmek mümkündür. Kaynak hatlarının düşük gerilmelerin oluşacağı, parçada görünüş olarak pek ortada olmayan yerlere gelebilecek şekilde, uygun geçit tipi ölçülerinin tespit edilmesiyle pozisyonlanması parça kalitesi için tasarım aşamasında gerekmektedir. Kaynak hatlarının dayanıklılığının bulundukları bölgedeki sıcaklığın ve basıncının yükseltilmesiyle arttırılabilmesi mümkündür. Şekil 5.4'de kaynak hattının oluşumu aşaması

gösterilmektedir. Kaynak hatlarının oluşumunda dikkat edilecek hususları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Kaynak hatlarının düşük gerilme içeren ve görünüşü pek etkilemeyen yerlerde oluşturulmasına ve geçit yerlerinin doğru seçilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Gerektiği taktirde geçit ve yolluk ölçüleri büyütülmemesinde sakınca bulunmamaktadır.
- Kaynak hatları yüksek sıcaklık ve yüksek tutma basıncı altında oluşmaktadır.
- Kaynak hatlarının oluşma bölgesinde buradaki dayanımı düşürmemesi açısından hava emişlerinin olmaması için havalandırmanın yerleştirilmesi gerekmektedir.
- Kalıplama işlemi esnasında eriyik sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncını artırmak gerekmektedir.



Şekil 5.4 Kaynak hattının oluşumu işlemi

Enjeksiyonla kalıplanmış polimer parçaların üretim kalitesini malzemelerin kimyasal birleşimi, parça ve kalıp tasarımı, üretimde kullanılan enjeksiyon şartları tayin emektedir. Enjeksiyonla kalıplanmış parçalar için kenetlenme çizgiside denilen kaynak daima bir kalite problemi olmuştur (Picthamuthu 2003).

5.3. Kaynak Hattı Etkilerinin Önlenmesi

Enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen parçaların geometrisi ve kalitesini malzeme, kalıp ve enjeksiyon işlemleri belirlemektedir. Üretilen parçanın dayanımı,

kalitesi, enjeksiyon parametrelerine bağlıdır. Kalıp hataları belirli bir miktar giderilse de, bu hataların ürün üzerindeki etkilerini tamamen yok etmek mümkün olmamaktadır. Aynı zamanda, kaynak hattı problemi de enjeksiyon kalıplama yönteminde engellenemeyen bir durumdur.

Enjeksiyonla kalıplanan polimer parçanın şekli, birden fazla polimer eriyik önünün oluşmasını gerektiriyorsa kaynak hatları oluşumu kaçınılmaz bir problemdir. Kaynak hattı oluşumuna yardımcı olan birçok etken mevcuttur. Bunlar; tasarım esnasında kullanılan kalıbın gerektirdiği maçalı sistemler, kalıp içerisinde bulunan delikler, parçanın durumuna göre kalıptaki çoklu girişler ve kalıplanacak olan parçadaki kalınlık farkları neden olmaktadır.

Kaynak hatlarının ve kaynak hatlarına sahip bir çok polimer üründe kaynak hattı kalitesinin attırılabilmesi için, polimer malzemenin seçimi, parça ve parçaya bağlı olarak kalıp tasarımı, enjeksiyon işlemi şartları yani, ergimiş plastiğin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve zamanı, ütüleme basıncı ve zamanı, soğutma sürelerinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir (Rodney 2002).

5.3.1. Polimer Malzemenin Seçimi

Plastik enjeksiyon işleminde, malzemenin akış özelliklerinin bilinmesi iyi bir enjeksiyon işleminin gerçekleşmesi için önemlidir. Çünkü, her malzemenin enjeksiyon işlemi için kalıplama sıcaklıkları ve akış özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Kolay akan malzemeler genellikle problemsiz olarak kalıplanabilirler. Ancak daha zor akanlar daha yüksek enjeksiyon basıncı gerektirirler. Ayrıca, bu tür malzemelerin kalıplandığı kalıplarda merkezleme elemanlarının hassasiyeti ve dayanımı daha yüksek olmak zorundadır. Malzeme seçiminde iki ana temel düşünce vardır. Malzemenin işlevini sağlama yeterliliği ve maliyetidir. Belli bir kullanım için seçilen malzemenin fonksiyonunu yerine getirmesi özelliklerine bağlıdır. Malzemenin mekanik, elektriksel, kimyasal ve daha birçok özelliği, seçiminde değişik ağırlıkta rol oynar (Ezdeşir ve ark. 1999).

Polimerlerin reolojik davranış şekilleri yani akış özellikleri, enjeksiyon grubundaki ve kalıptaki tüm akış özelliklerini etkilediğinden polimer malzemelerin işlenme şartlarını ve dolayısıyla kalıplanan parça kalitesini de belirleyen önemli

etkenlerden biridir. Reolojik özellikler malzemenin deformasyonundan ve akışından olduğu kadar, akma sona erdikten sonraki gerilme değişimlerinin oluşumundan da sorumludur. Reolojik özelliklerden viskozite, ısıl özelliklerle birlikte ergimiş malzemenin yolluklardan ve girişlerden geçerek kalıp boşluğunu doldurabilmesi için gerekli olan basıncı tayin eder.

Eriyik haldeki polimer malzemenin reolojik davranışı visko-elastik olarak nitelendirilir. Bu nitelendirme, eriyik haldeki polimerin hem sıvı (viskoz) hem de elastik katı (elastik) özellikler göstermesiyle ilgilidir. Yalnız eriyik haldeki polimerin viskoz özellikleri genelde elastik özelliklerinden daha ağır basmaktadır. Akışkan bir malzemenin viskoz özelliklerinin toplamı viskozite olarak adlandırılabilir. Viskozite, sıvı haldeki malzemenin akmaya karşı göstermiş olduğu iç dirençtir.

Polimer malzemelerin moleküler ağırlığının viskozite üzerinde önemli derecede rol üstlenmektedir. Yüksek moleküler ağırlıklı bir polimer, düşük ağırlıklı bir polimerden daha zor akmaktadır. Eğer polimer içerisinde doldurucu veya takviye edici, cam tanecikleri gibi katkı malzemeleri viskoziteyi arttırır. Bu tür malzemelerin kullanılması gerektiği durumlarda yeterli derecede akış sağlamak için daha yüksek basınçlar gerekmektedir. Viskozite sürülme hızı ve sıcaklığına da bağlıdır. Sürülme hızı veya sıcaklık arttırıldığında viskozite azalmaktadır. Basınç ile birlikte viskozitede değişmektedir. Basınç yükseldikçe viskozite artmaktadır. Basıncın viskozite üzerindeki etkisi sürülme hızı ve sıcaklıktan çok daha az olduğu için genellikle ihmal edilmektedir (Akyüz 2001).

Malzeme belirlenirken yapılması gereken ilk iş hedeflenen mamulden beklenenlerin detaylı olarak belirlenmesidir. Mamulün kullanım alanına yönelik gereksinimler önem sırasına göre sıralanmalıdır. Belirlenen özelliklerden bazıları bazen birçok polimer grubunu seçim dışı bırakır. Her mamul için ihtiyaç duyulan özellikler değişiktir. Mamulden beklenen fonksiyonlar arttıkça malzeme seçimi de daha zor olur. Örneğin cetvel yapımı için birçok polimer ailesi uygundur ama uzay aracı parçası için gerekli o kadar çok fonksiyon olabilir ki, bazen bilinen malzeme gruplarının hiçbiri istenilen fonksiyonları yerine getiremediği için yeni malzemeler geliştirilmektedir.

Polimer kompozit malzeme seçiminde istenilen mekanik özellikler; sağlamlık, dayanıklılık, şeklini koruma özelliği, yük değişimine dayanım, aşınmaya karşı

dirençli ve esneklik veya sertlik vb. şeklinde sıralanabilir. Termal özelliği; mamulün kullanılacağı en yüksek ve en düşük sıcaklık aralığı veya malzeme özellik değişimleri dikkate alınmalıdır. Malzemenin ısı geçirgenliği, genleşmesi, erimesi termal özelliklerden bazılarıdır. Elektriksel özellikler; malzemenin iletkenlik ve yalıtım özellikleri yer almaktadır. Estetik özellikleri; mamulün görünümü bazen çok önemlidir. Dolayısıyla malzemeyi güzel gösterecek, süsleyecek tekniklerin malzemeye uygunluğuna da bakılır. Polimer malzemelerin en büyük görsel avantajı çok kolay renklerinin değiştirilebilmesidir (Ezdeşir ve ark. 1999).

5.3.2. Parça Tasarımı

Tasarımdaki biçim ve toleranslar bazen giderilmesi mümkün olmayan enjeksiyon hatalarına yol açmaktadır. Tasarımcının polimer malzemenin özellik ve davranışıyla enjeksiyon prosesi konusunda bilgili olmasının yanında ürünün kullanım şartlarından ve performans beklentilerinden haberdar olmaları gerekmektedir. Parça tasarımındaki yanlışlıkların enjeksiyon prosesindeki etkisini bilmeli ve bu konuda dikkat etmesi gerekli olduğu kriterleri yerine getirmelidir.

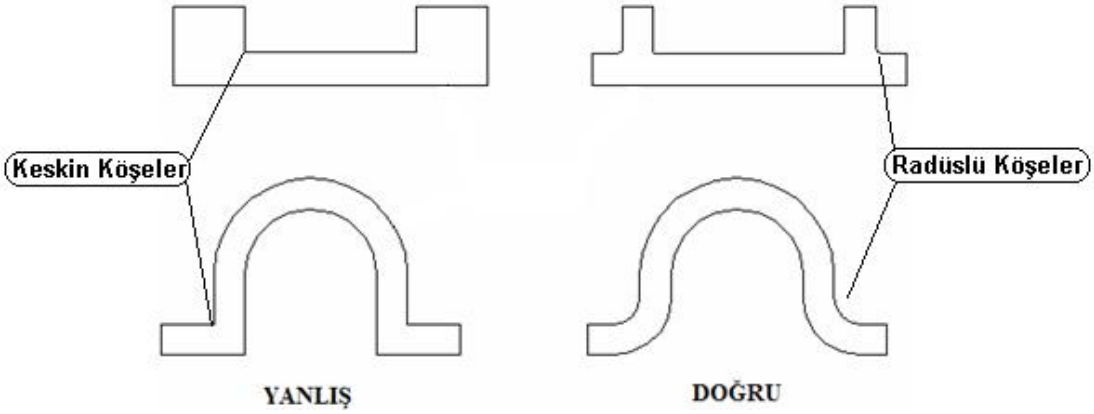
Enjeksiyonla kalıplama yapılacak parçaların tasarım aşamalarında kaynak hattı belirlenmek zorundadır. Parçadaki kalınlık farklılıklarının kaynak hattı oluşturduğu bilinmektedir. Et kalınlıklarının doğru tespiti ürünün görüntü ve performansı açısından hayati öneme sahip olduğu kadar enjeksiyon kalıplama prosesinin ne kadar başarılı ve verimli olacağını da belirler. Parça kalınlığı mümkünse parçanın her tarafında sabit olmalıdır. Aksi taktirde parçanın kalın kısmından ince kısmına bağlantısı eğimli olmalıdır. Bu olmasa, burada polimer akması ve farklı soğuma oranından dolayı gerilimler oluşmaktadır (Turaçlı 2000).

Mukavemet şartlarının gerektirdiği en az et kalınlığı verilmelidir. Bu malzeme sarfiyatının azalttığı gibi enjeksiyon çevrim süresini de kısaltır. Polimer malzeme enjeksiyonu sonrasında malzeme sertleşmesi dış yüzeyden iç yüzeye doğru olduğundan çökmeler kalın kesitli bölge yüzeyinde olmaya çalışır (Akyüz 2000).

Plastik enjeksiyonda akışın sağlanması için yüksek basınçlara çıkılmaktadır. Keskin köşeler akışı engelleyici etki yaparlar ve buralarda gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu nedenle parçanın bu kesitlerinin darbeye karşı mukavemeti azalır.

Ayrıca parçanın kalıptan kolaylıkla sıyrılması engellenir. Hem akışın, hem de parçanın kolaylıkla çıkabilmesi yanında parçadaki gerilimlerin dağıtılması bakımından iç ve dış köşelere radüs verilmelidir. Böylece erimiş polimerin engelsiz ve uzun akması sağlanabilir. Şekil 5.5'de doğru ve yanlış tasarım ürünü enjeksiyon parçaları verilmektedir (Tomari ve ark. 1963).

Kaynak hattının parçanın neresinde olacağı iyi belirlenmelidir. Kaynak hattının parça üzerindeki etkisi yok edilemez ama parça üzerinde kritik olmayan yerlerde oluşması sağlanabilir.



Şekil 5.5. Doğru ve yanlış enjeksiyon parçaları

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın tasarımcı parça üzerinde verilen toleransların uygun elde edilebilir olduğundan emin olmalıdır. Tasarımcı aynı zamanda parça boyutlarının işlem sıcaklığına bağlı olduğunu ve bazı durumlarda parçanın çekmesinin kalıplama işlemi bittikten sonra saatler hatta günler aldığını unutmamak zorundadır. Bazı kritik ölçüler ve belirli malzemeler için parçanın hangi koşullarda ve ne zaman ölçüleceği de bilinmelidir. Çekme, polimer malzeme kalıplandıktan sonra elde edilen polimer parçadaki ölçülerin küçülmesidir. İşte böyle çekmeden dolayı parça ölçülerinde meydana gelen değişimi, direk olarak kalıp tasarımcısını ilgilendiren önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle polimer kalıp tasarımcısı, polimer çeşitlerini ve bunlarla ilgili kimyasal ve fiziksel özellikleri iyi bilmelidir (Ataşimşek 2002).

Parça tasarımı esnasında parça üzerinde enjeksiyon işleminden kaynaklanan kaynak hatları, çeşitli analiz programlarından yaralanılarak kontrol altına alınabilmektedir.

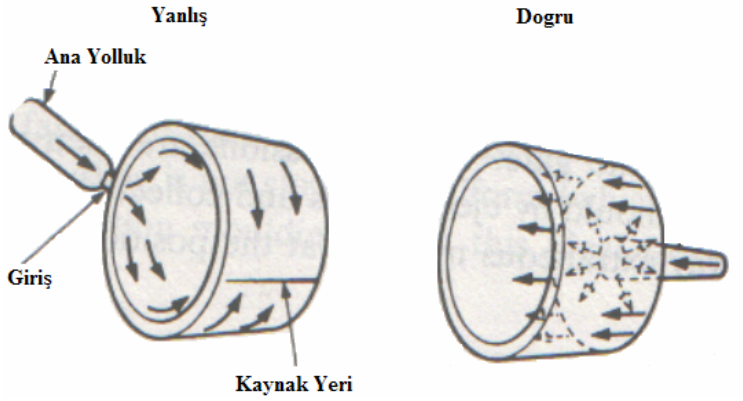
5.3.3. Kalıp Tasarımı

Enjeksiyon işleminin en önemli elemanlarından biri, hatta en önemlisi kalıptır. Çünkü sıvı haldeki polimer malzeme kalıp içerisine enjekte edilir. İki veya daha fazla parçadan oluşan kalıplar üretilen her parça için farklı yapıda ve özelliktedir. Yalnız kalıpların makine ve üretilecek parça özelliklerine göre çok çeşitli tasarımlarda olabileceği unutulmamalıdır. Genel olarak bir kalıbın esas görevleri; erimiş haldeki bir malzemenin tüm boşluklara homojen bir şekilde rahatça dağılmasını sağlayabilmeli, erimiş haldeki malzemeye istenilen son şeklini verebilmeli, son şeklini almış malzemeyi uniform ve hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlayarak ürün haline getirebilmeli ve ürünü sağlıklı bir şekilde dışarı atabilmelidir (Daniel 2000).

Ayrıca bunların yanında üzerinde oluşan kuvvetlere karşı koymak, hareketleri doğru bir şekilde transfer etmek ve hareketli parçalara yataklık yapmak görevleri arasında yer almaktadır. Temel olarak, kalıp malzemesi, maça pimleri, kalıp açılma çizgisi, yolluk, dağıtıcı ve giriş kanalları, itici pimleri, kalıp sıcaklığı kontrol eden kanalların ölçüleri ve yerleşim planı, hava tahliye kanalları ilk etapta belirlenip uygulanmaktadır. Ayrıca kalıbın birlikte çalışacağı makine, ürün sayısı ve parçanın üretileceği hammadde seçimi de ilave olarak gerekli bilgilerdir.

Kalıp tasarlanırken üretilecek ürünün boyutları, yapısı, hassasiyeti ve enjeksiyon parametreleri dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Çoklu kaviteye (kalıp boşluğuna) sahip bir kalıp, eriyik malzemenin aynı anda düzgün biçimde bütün boşluklara aynı ısı ve aynı basınçta dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi durumda, baskıda üretilen ürünlerin kaliteleri ve özellikleri birbirinden çok farklı olabilir. Kalıp kavitesi girişleri, kaynak oluşumunu önleyebilecek veya en azından minimuma indirilecek şekilde tasarlanmalıdır (Akyüz 2001).

Kalıp yolluk sisteminin önemi, kalıba enjekte edilen eriyik malzemeyi kalıp kavitesine dağıtmaktır. Yolluk sisteminin geometrisi, boyutları ve hacminin kaliteli parça üretimine doğrudan etkisi vardır. Ergimiş polimerin aktığı yolun mümkün olduğunca kısa, düzgün ve az dönemeçli olması istenir. Aynı zamanda giriş yerinin doğru belirlenmesi muhtemel oluşabilecek kaynak hattını engelleyebilmektedir. Şekil 5.6'da giriş yerinin değişimi ile kaynak hattının oluşumunu göstermektedir.



Şekil 5.6 Giriş yerine göre kaynak hattı oluşumu

Yolluğun sonuna erimiş haldeki akan polimerin önündeki soğumaya başlamış polimeri hapsetmek için boşluk yapılmalıdır. Bu boşluk, kalıp boşluğu içerisine soğumuş malzeme akışını engelleyecektir. Kalıp boşluğu girişleri mümkün olduğu kadar parçanın et kalınlığının en fazla olduğu bölgelerde olmalıdır. Kaynak hattının uzunluğu giriş yerinin değiştirilmesi ile boyutlarında değişiklik yapılabilir. Bu da kaynak hattının daha estetik ve dayanıklı bir görünüme sahip olmasını sağlar. Ayrıca giriş kısmının değiştirilmesi ile meydana gelecek kaynak hattının parça üzerinde görülmeyecek bir yerde oluşması sağlanabilir (Mccrum ve ark. 1997).

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).

Enjeksiyon kalıplarının işlem esnasında belirli bir sıcaklığa sahip olması gerekmektedir. Kalıp sıcaklık değerleri çeşitli malzemeler için farklılık göstermektedir. Kalıp sıcaklığının gerekenden az olması, malzemenin, kalıbın tüm

boyutsal ölçüleri soğuyup katılaşmaya başlamasına neden olmaktadır. Kalıp sıcaklığının yükselmesi ile kendini çekmenin artması kalıp içi basıncı artırmaktadır.

Kalıbın havalandırılmasının parça kalitesine ve kaynak hattına etkisi büyüktür. Kalıp, gaz oluşum problemi için havalandırılmalıdır. Bu havalandırma kaynak hattına yakın bir yerde ve kalıbın en son dolduğu bölgede olmalıdır. Kalıp dolma sürecinde kalıp içerisine giren erimiş polimer kalıp içerisindeki havanın sıkışarak kalmasına sebep olur. Kalıpta sıkışan bu havanın atılması gerekir. Sıkışan havanın atılmasıyla kaynak hattına ve parçaya etkisi en aza indirilmiş olmaktadır (Dininger 1994).

5.3.4. Enjeksiyon İşlem Şartları

Ürün geometrisi ve malzeme özellikleri yanında, enjeksiyon prosesinin kendisinin de ürünün ve son özelliklerinin üzerinde kesin etkileri vardır. Belki kalıp tasarımındaki hatalar kolay kolay düzeltilemez. Ama bu hataların prosese etkileri, belirli oranlarda azaltılabilir ve istenilen kalitede ürünler elde edilebilir. Kalıp haricinde çevre şartlarının ve makine çalışma şartlarının, enjeksiyon işlem şartlarının bilinmesi de yüksek kaliteli ürün imali için şarttır (Akyüz 2001).

Enjeksiyon şartlarının, kalıp enjeksiyon makinesinin, ürün tasarımı, kalıp tasarımı ve malzemenin bilinçsizce kullanılması enjeksiyon hatalarını doğurmaktadır. Enjeksiyon hataları genel olarak iki grupta incelemek mümkündür. Birinci olarak ürünün kullanım yerinde ve kullanım süresinde performansını etkileyecek hatalar diğeri ise parçanın estetiğini ve satışını etkileyebilecek olan görünüm bozukluklarıdır. Genel olarak karşılaşılan hataların başında; eksik ürün, parçaların kalıpta kalması, akış izleri, kaynak hatları, çapaklı ürün, parça yüzeyinde çöküntüler, kalıptan çıkarken veya çıktıktan sonra parça üzerinde çarpılmalar, yüzey görünüşünün pürüzlü olması ve yüzeydeki lekeler şeklinde sıralayabiliriz. Deney çalışması süresince pilot çalışma esnasında, enjeksiyon şartlarından kaynaklanan hatalar gözlenmiştir. Bu hatalar şekil 7.20 ve 7.21'de gösterilmektedir.

Enjeksiyonla kalıplama işlemi sürecinde parça üzerinde meydana gelebilecek kaynak hattı problemini azaltmak için enjeksiyon işlem şartlarının oldukça iyi belirlenmesi gerekilmektedir. Bu nedenle plastik enjeksiyonla kalıplanan parçanın

kalitesini artırmak ve parça üzerindeki kaynak hattı problemini azaltan başlıca enjeksiyon parametreleri, polimer eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve zamanı, ütüleme basıncı ve zamanıdır.

5.3.4.1. Eriyik sıcaklığı

Eriyik ve kalıp sıcaklığının plastik enjeksiyon işleminin sonucu üzerinde direk bir etkisi bulunmaktadır. Bu iki parametrenin parça kalitesi üzerinde görülebilir etkileri kendini çekmeler ve çarpıklıktır. Parça kalitesini direk olarak etkileyen söz konusu hataların önlenebilmesi için enjeksiyon parametreleri üzerinde ayarlama yapılması gerekmektedir (Chang ve ark. 2001).

Soğuk taneli haldeki polimer malzemeyi viskoz bir akışkana dönüştürüp kalıba enjekte edebilmek için belirli miktarda enerji vererek ısıtmak gereklidir. Bu işlem için enjeksiyon makinelerinde elektrikli ısıtıcılar ve basınçlı sonsuz vida yardımıyla gerçekleştirilir. Sert polimer granüller enjeksiyon ünitesindeki vida yardımıyla içeri alınır. Vidanın polimer malzemeye uyguladığı mekanik enerji ısıya dönüşürken vida dış çeperlerine yerleştirilmiş olan ısıtıcı bantlar da ilave bir ısı vererek malzemeyi akıcı bir duruma getirmektedir. Bu erimiş polimer enjeksiyon ünitesinin memesine iletilir. Burada; ocak duvarlarından ve vida dönmesiyle elde edilen sıcaklık, eriyik sıcaklığıdır. Eriyik halde ve oldukça yüksek bir sıcaklıkta kalıp boşluğuna giren polimerin soğutulup kalıptan çıkarılabilmesi için kalıba soğutma uygulamak gerekir. Burada sıcaklığın düşük tutulması kalıp içerisine gönderilmiş erimiş polimerin daha erken soğuyup kalıplanan parçanın kalitesinin istenilen düzeyde olmasını engeller. Eriyik sıcaklığının yüksek tutulması erimiş polimerin kalıp içerisinde daha geç soğumasına parçanın kalitesinin arttırılmasına sebep olur (Kharbas ve ark. 2002).

Erime sıcaklığı aşırı düşük veya aşırı yüksek olabilir, bunların ikisi de yanlıştır. Bunlara ilave olarak erimiş polimerdeki sıcaklığın eşit dağılımları da akılda tutulması gereken faktördür. Aşırı yüksek sıcaklık polimerin bozulmasına, diğer yandan erimiş polimerdeki diğer katkı maddelerinin bozulmasına neden olur. Sonuç olarak kötü bir yapının oluşması, yüzey bozuklukları ve hoş olmayan bir koku kendini gösterir. Erime sıcaklığı aşırı yüksek olduğu zaman, homojen yapı oluşmaz.

5.3.4.2. Enjeksiyon basıncı ve süresi

Kalıbı doldurma esnasında yüksek hızla kalıbı doldurmak için yüksek basınca ihtiyaç duyulabilir. Kalıp dolduktan sonra yüksek basınç gerekli değildir veya arzu edilmeyebilir. Birçok baskıda yüksek ilk basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip eder. Asetal, naylon gibi bazı yarı kristal termoplastiklerin baskısı esnasında bu ikinci baskıya ihtiyaç olmayabilir. Çünkü ani basınç değişimi kristal yapıda istenmeyen değişikliğe sebep olur (Ataşimşek 2002).

Enjeksiyon işlemi esnasında enjeksiyon ünitesi memesinden erimiş haldeki polimer kalıba enjekte edilmektedir. Enjeksiyon ünitesindeki vidanın ileri doğru hareketiyle erimiş polimere basınç uygulanır. Yeterli basınçtan sonra erimiş polimer enjeksiyon memesinden kalıba geçer. Basınç, kalıp içerisine erimiş polimer tamamen doluncaya kadar devam eder. Burada enjeksiyon basıncının düşük olması durumunda kalıp içerisine yeterli miktarda polimer girmez. Böyle bir durumda kaynak hattının ve dolayısıyla kalıplanan parçanın istenilen kalitede olması engellenmiş olur. Bu nedenle kaynak hatlı üretilecek parçalar için enjeksiyon basıncı daha yüksek olmalıdır (Turaçlı 2000).

Enjeksiyon ünitesindeki vidanın piston gibi hareket ettiğinde, kalıbın dolma hızına enjeksiyon hızı denir. İnce kısımları olan parça imalatında yüksek enjeksiyon hızı kullanımı kalıba polimer malzeme katılaşmadan doldurmak için gereklidir. Fakat kalın kısımları olan parçada daha iyi yüzey yavaş enjeksiyon hızı kullanılarak elde edilir. Genelde enjeksiyon hızı 1 cm/s civarındadır. Bir çok baskı hatası değişik enjeksiyon hızı kullanılarak üstesinden gelinir. Makine ayarında hangi enjeksiyon hızı kullanılırsa kullanılsın enjeksiyon süresi ile kayıt edilmelidir. Bu zaman ilk enjeksiyon basınç değerine ulaşmak için önemlidir. 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.

Enjeksiyon kalıplarında çeşitli nedenlerden dolayı çoklu geçit sistemlerinin yapılmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda, düşük enjeksiyon basıncı ihtiyacı doğmakta bu da bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Çoklu geçit

sistemlerinde görünür kaynak hatları meydana gelmekte ve bu kaynak hatlarının oluşumunu engelleyebilmek için, en azından parça üzerinde arzu edilen bölgede bulunmasını sağlayabilmek için karmaşık yolluk sistemlerinin tasarımını yapılmasına gerek duyulmaktadır. Enjeksiyon ünitesi memesinin (nozzle), kalıp yolluk burcuna yerleştikten ve enjeksiyon işlemi için yeterli basınca ulaşıldıktan sonra, erimiş polimer malzemesinin kalıba dolması ile ütüleme işleminin uygulanmaya başlamasına kadar geçen süreye enjeksiyon süresi denmektedir. Bu zaman, yapılacak olan işlem sırasına ve üretilecek parçanın boyutlarına bağlı olarak bir saniyeden kısa olabileceği gibi çok daha uzun da olabilmektedir. Bu zamanın gerekli miktardan kısa olması, enjeksiyon basıcının erken kaldırılmasına ve bunun sonuca olarak kalıp içerisine istenilen miktardan az erimiş polimer malzeme gitmesine sebep olmaktadır. Kalıp içerisine daha az giren malzeme kalıplanan parçanın kalitesini olumsuz etkiler (Akyüz 2001)

5.3.4.3. 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).

6. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZ

Bir parça ya da kalıbın sonlu elemanlar analizi ile öngörülen şartlarda mekanik davranışlarının tespiti işlemi, bilgisayar yardımı olmadan uygulanması çok zordur. Son yıllarda bilgisayarların ve bilgisayar programcılığının çok gelişmesi sonucu çok basit kullanımlı ve hızlı sonuç verebilen bilgisayar programları ortaya çıkmıştır. Bunlara örnek olarak MOLDFLOW, FLUENT, ANSYS, MARC, NASTRAN ve ABAQUS verilebilir.

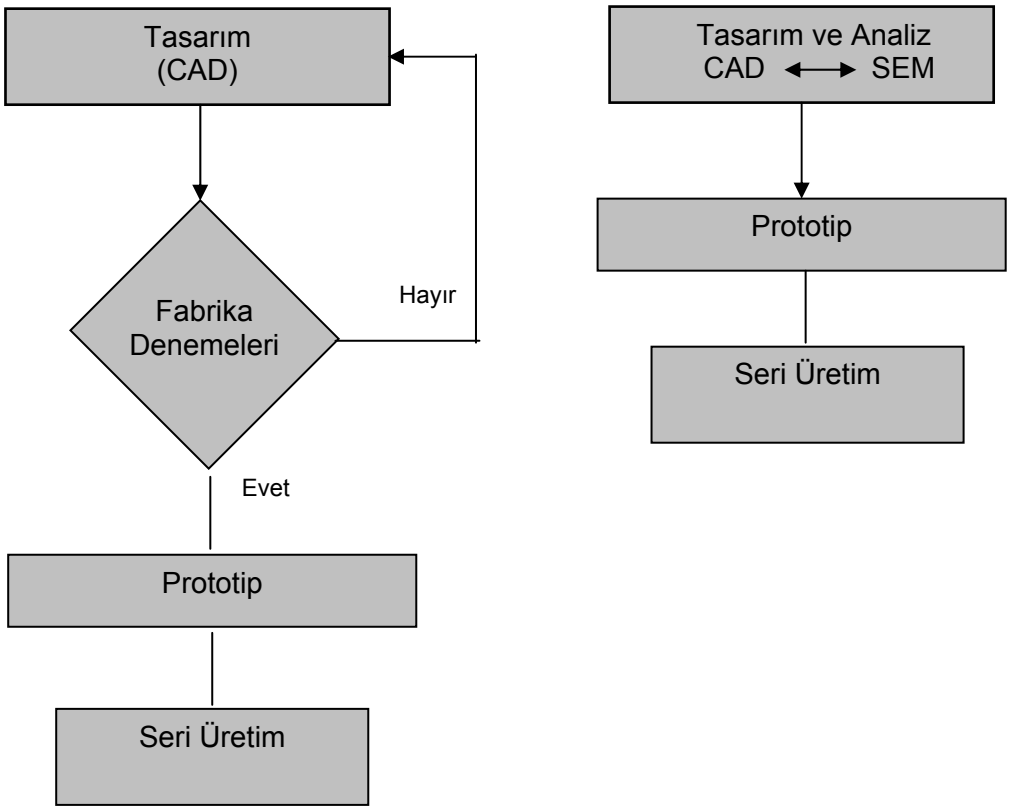
Bilgisayarların ucuzlaması ve yaygınlaşmasına paralel olarak bilgisayar ortamında birçok mühendislik çalışması yapılır hale gelmiştir. Bilgisayar ortamında hareketli mekanizmaların simülasyonu, enjeksiyon kalıplarında enjekte edilen parçanın akış analizleri gibi uygulamalar bunlara örnek verilebilir. Bilgisayar destekli analiz sayesinde; tasarımların kısa sürede tamamlanması, hataların en aza indirilmesi, tasarım kalitesinin artırılması gibi önemli üstünlükler sağlamaktadır. Ayrıca üretilecek malzemenin, üretime geçilmeden önce kullanılacağı yer bilgisayar ortamında analiz edilerek malzemenin kullanılırken maruz kalacağı kuvvetler bilgisayar ortamında uygulanır. Üretilecek malzemenin bu kuvvetler etkisinde ne gibi şekil değişikliğine sebep olacağı gözlemlenerek gerekli modifikasyonların yapılması sağlanmış olur. Böylece prototip üretilmeden önce ideale yakın bir tasarım gerçekleştirilir. BDT sayesinde, geleneksel yöntem olan deneme yanılma yönteminin maliyetini ortadan kaldırarak zamandan kazanç sağlar.

6.1 ANSYS

ANSYS sonlu elemanlar analiz programı, şu anda dünyadaki en popüler sonlu elemanlar analizi programlar arasında yerini almaktadır. Kolay kullanım özellikleri ve zengin eleman kütüphanesi ile özellikle uçak, otomotiv, tıbbi cihazlar, elektronik cihazlar, endüstriyel ürünler alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS ile mekanik analiz, ısı transferi analizi, akışkanlar mekaniği analizi ve elektromanyetik analizi yapılması mümkündür. Endüstride ürün kalitesine yönelik olarak sürekli artan talepler, daha kısa geliştirme süreleri ve düşük maliyetli üretim beklentileri, kavramdan geliştirmeye ve üretime kadar bir dizi yeni tasarım yöntem stratejilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi; sürekli bir sistemi, problemin karakterine uygun sonlu elemanlara ayırarak elde edilen elemanlar üzerinde bağıntıların kurulması ve sonra bu elemanların birleştirilmesi ile gerçekleştirilen uygulamadır. Elemanlar üzerinde, sisteme ait özellikler dış yüklerin sürekli ya da ani değişimleri kolayca göz önüne alınabilir. Dolayısıyla sonlu elemanlar yöntemi analitik metotlarla çözülemeyen karışık problemlere uygulanabilir. Yüzeysel sistemin tipik bölgelerinde eleman boyutları küçültülerek o bölgenin daha hassas incelenmesi mümkün olur.

Şekil 6.1'de şekillendirilecek bir ürünün, prototipten seri üretime kadar geçirdiği işlem basamakları ana hatlarıyla gösterilmektedir. Maliyeti etkileyen faktörlerden biri de şimdiye kadar edinilen işletme tecrübesi veya prototiplemedir.



a) b)

Şekil 6.1 Herhangi bir numunenin üretim şeması a) Geleneksel yöntem b) Sonlu elemanlar yöntemi

6.2 MOLDFLOW

Oluşturulmuş olan modeller, kalıbın üretim aşaması işlemine geçilmeden önce yapılmış olan kalıp tasarımının hedeflenen amaca ulaşılabilirliğinin analiz işlemi açısından da pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Bu tip yazılımlar sayesinde kalıbın iyileştirilmesine yönelik analizleri gerçekleştirmek mümkündür. Sonuç olarak, ileride çıkabilecek olan problemleri analizler yardımıyla önceden belirlenerek giderilmesi ve böylelikle maliyetin azaltılması, üretim zamanının azalması ve kalitenin artmasına yardımcı olmaktadır. Analizler yardımıyla kalıplanacak olan malzemenin kalıp boşluğu içerisindeki davranışları incelenebilmekte, malzemenin akışı, kavite (kalıp boşluğu) sayısının belirlenmesi, kalıbın soğutulması ve yolluğun konumlandırılması gibi işlemler önceden belirlenerek giderilebilmektedir. Buradan alınan sonuçlar doğrultusunda güvenilir ve uygun kalıp elde etmek mümkündür.

MOLDFLOW akış analizi programı, sadece analiz üzerine yoğunlaşmıştır. Programda model tasarım işlemleri gerçekleştirilemediğinden modelin programa uyumlu CAD programlarında çizilerek uygun dosya uzantısıyla kaydedilerek açılması gerekmektedir. MOLDFLOW programı, adv, mpa, stl, mda gibi uzantılarda dosyaları açmaktadır. Bu akış analiz programında iki tip modül bulunmaktadır. Tek model üzerinde analiz yapan parça rehberi (PART ADVİSER) ve kullanıcıya istediği şekilde yerleşim planı yapma olanağı sağlayarak kalıp üzerinde analiz yapan kalıp rehberi (MOLD ADVİSER) olmak üzere iki alt programdan oluşmaktadır.

PART ADVİSER, ürün tasarımının başlangıç aşamasında polimer parçanın imal edilebilirliği ile ilgili analizini yapar ve bulunan problemlerin giderilmesi için önerilerde bulunur. Parça rehberi, kaynak hatları ve gaz boşluklarını hassas bir şekilde tespit eder ayrıca, polimerin dolum şekli, basınç ve sıcaklık dağılımı ile ilgili grafikler oluşturur. MOLD ADVİSER, kalıp tasarımının başlangıç aşamasında polimer parçanın imal edilebilirliği ile ilgili analizini yapar ve bulunan problemlerin giderilmesi için önerilerde bulunur. Her iki modül içerisinde de bize değişik alternatifler sunmaktadır. Bunlar; Analiz seçme diyalogu kalıplama penceresi (molding window), giriş yeri (gate location), plastik akış (plastic flow), soğuma kalitesi (cooling quality), çökme izleri (sink marks) ve dağıtıcı dengesi (runner balancing), maliyet rehberi (cost adviser), seçeneklerinden oluşmaktadır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Buradaki tez çalışmasında bağlantı mafsalının, plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analiz aşaması işlemlerinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi ve üretilen parça üzerinde meydana gelen parçanın görünüm, dayanım ve estetiğini olumsuz yönde etkileyen kaynak hattı problemi incelenmiştir. Kaynak hattını önemli ölçüde etkileyen enjeksiyon işlemi şartlarından; enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı değerlerinin polimer kompozit parça üzerindeki etkileri araştırılarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Burada;

1. Üretilecek olan parçanın modelinin CAD-CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim) programı yardımıyla çizilmesi işlemi,

2. MoldFlow yazılım programı kullanılarak üretilecek numune için en uygun giriş yeri ve kavite sayısının belirlenmesi işlemi, parçanın akış analizlerinde; Dolum süresi sonuçları, enjeksiyon basıncı sonuçları, basınç düşmesi sonuçları, dolumun güvenilirliği sonuçları, yüzey sıcaklık değişimi sonuçları, soğuma kalitesi sonuçları, kaynak hattı, hava kabarcığı yerleri sonuçlarının incelenmesi işlemi,

3. Kalıp tasarımı işleminin yapılması işlemi ve parçaların üretilmesi işlemi,

4. Enjeksiyon makinesinde belirlenen ütüleme basınçları, enjeksiyon basınç ve zamanları doğrultusunda numunelerin üretilmesi işlemi,

5. Enjeksiyon şartlarının değiştirilmesi ile üretilen numunelerin mikroskop altında incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi işlemi,

6. İdeal şartlarda üretilen numunelerin SEM mikroskobu altında incelenmesi,
7. Enjeksiyon şartlarının değiştirilmesi ile üretilen numunelerin çekme dayanımı deneyinin yapılarak incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamalarını içermektedir.

7.1. Parça Malzemesi Seçimi İşlemi

Burada kullanacağımız malzeme parçanın kullanım alanı göz önüne alındığında ve bu parçaların üretimi esnasında endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen ve kullanılan polyamid (PA 6 veya PA 66) diğer bir ismiyle naylon 6 / naylon 66'nın tercih edildiği görülmektedir. Buradaki çalışmada hacimce %30 cam elyaf takviyeli polyamid (PA 6 GFR 30) polimer kompozit malzeme tercih edilmiştir.

Naylon poliamidlere verilen genel isimdir. Poliamidler yüksek kristal yapıya sahip bünyesinde amid grubu bulunduran, molekül ağırlığı yüksek olan linear polimerlerdir. Sert ve dayanıklı olan poliamidlerin birçok çeşitleri vardır. Nylon 6, nylon 66, nylon 610, nylon 11 ve nylon 12 bunların bilinenleri ve bunlardan da nylon 6 ve nylon 66 en çok kullanılan ve en önemlileridir. Yoğunluğu 1.14 kg/dm^3'tür. Çizelge 7.1'de kullanılan PA 6 GFR 30 malzeme ile ilgili bilgiler ve tavsiye edilen işleme şartları gösterilmektedir.

Çizelge 7.1 PA 6 GFR 30 malzemesi ve tavsiye edilen işleme şartları

Malzeme Adı:	POLYAMIDES (NYLONS)
Malzeme Aile Kısaltması:	PA 6
Katkı Maddesi	CAM ELYAF (GFR)
Katkı Maddesi Oranı	%30
Kullanılan Malzeme	PA 6 GFR 30
Malzeme Ticari Adı:	Durethan KU 2-2184
Malzeme Yapısı:	Kristalli
İmalatçı Firma:	Bayer
Tavsiye edilen İşleme Şartları	
Kalıp Sıcaklığı	60 °C
Eriyik Sıcaklık Değişimi	240-280 °C
Eriyik Sıcaklığı	280 °C
Ütüleme Basıncı	750 Bar
Kalıp Sıcaklık Değişimi	60-120 °C
Enjeksiyon Basıncı	900 Bar

Cam elyaf takviyeli polyamid de baskı süresi camsız naylondan daha hızlı olmaktadır. Ürün kalıptan sıcak olarak alınabilir. Ürün camsız naylon ürünün kullanıldığı sıcaklığın oldukça üzerinde kullanılır ve kullanma yeri daha geniştir. Örneğin portatif alet kutusu ve elektriksel parçalar, otomobillerde dişli, pervane, filtre, conta vs. yerlerde kullanılmaktadır.

Deney sırasında cam takviyeli olmayan polyamidlerde eriyik sıcaklığı 240 °C kullanılırken cam elyaf takviyeli polyamid'te 280 °C kullanılmıştır. Erime sıcaklığı PA 66'dan daha düşüktür ve işlem sıcaklığında yaklaşık 25 °C değişim gösterebilir. Biraz daha açık renklidir. Kolay akan bir maddedir. PA 66'dan hafifçe sert bir malzemedir.

Darbeye dayanıklı bir malzemedir. Soğutma çok hassas ve sabit derecede gerçekleşmelidir. Bütün yolluk girişleri kullanılabilir. Cam elyaflı polyamidler de daha geniş yolluğa ihtiyaç vardır. Enjeksiyon hızı cam elyaflı gradlarda düz, mat yüzey elde etmek için yavaş hız kullanılır. Hızlı dolma parlak yüzey verir fakat hafifçe kabarıktır. Yüksek sıcaklıklarda daha iyi mekanik özellikler ve ısı altında yüksek eğilme direnci gösterirler.

Deneyde; MOLDFLOW akış analizi programında bütün yolluk girişleri uygulanarak analizler gerçekleştirildi. Analizler sonucunda ve endüstriyel alanda en çok tercih edilen cam elyaf takviyeli polyamid malzeme için en ideal olan yolluk girişinin yarım daire yolluk girişi olmasına karar verildi ve bu doğrultuda tasarım işlemi gerçekleştirildi. Ürünün üretimi sırasında kullanılacak olan %30 cam elyaf takviyeli polyamid (PA 6 GFR 30) malzemesinin analiz raporu ek 2'de verilmiştir. Çizelge 7.2'de PA 6 GFR 30 malzemesi içerisindeki cam elyafın özellikleri verilmektedir.

Çizelge 7.2 Cam elyafın genel özellikleri

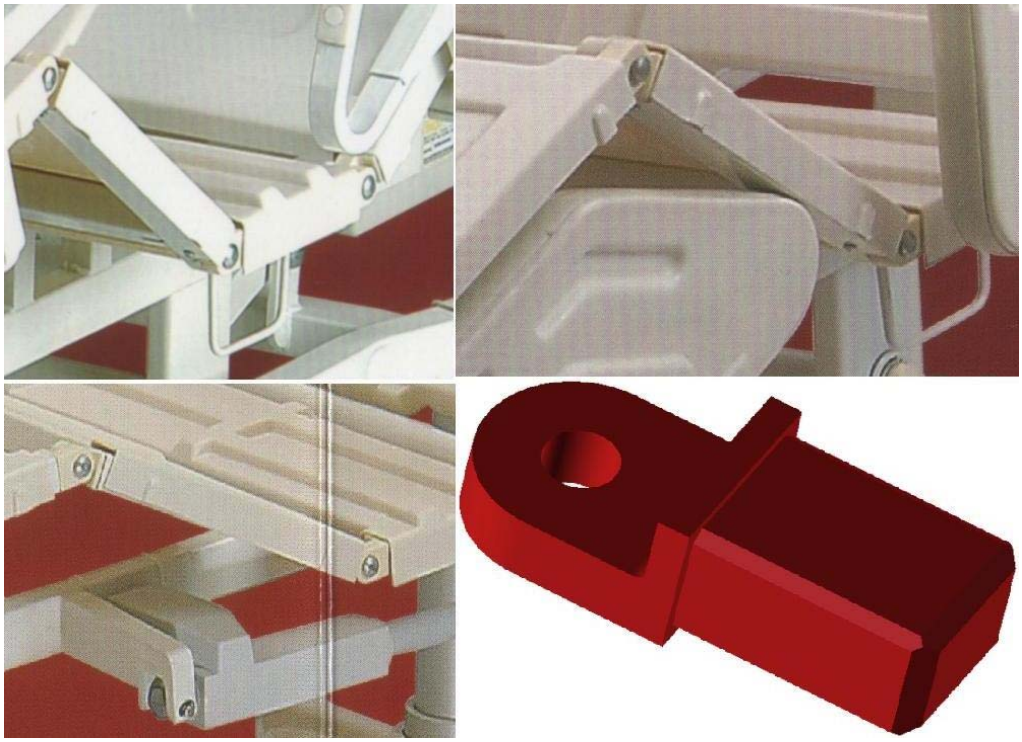
Kompozit Polimer Numune İçerisindeki Cam Elyaf Özellikleri	
Genel Özellikler	Kolay akma, iyi işlenebilirlik, çok iyi mekanik dayanım
Cam Tipi	E
Elyaf Çapı (μ)	10.5
Nem Miktarı (%)	Max. 0.07
Bağlayıcı Türü	Silan
Bağlayıcı Miktarı (%)	0.75 ± 0.15
Akma Özellikleri	Çok iyi
Reçine Uyumu	Poliamid
Kırpma Boyu (mm)	3 – 4

7.2. Tasarım Aşaması İşlemi

Burada tasarım aşaması işlemi katı model tasarım programı olan Unigraphics programı ile gerçekleştirilmiştir. Katı ve yüzey modellemeyi aynı anda parametrik olarak çalışabilme imkânı sağlayan profesyonel bir CAD-CAM programıdır. Çalışılan yüzey modeli aynı anda dolu bir katı modele dönüştürebilir, üzerinde yüzey ve katı haliyle modifikasyon yapılabilir.

7.2.1. Parça Tasarımı

Enjeksiyonla kalıplanacak olan numune, endüstriyel alanda birçok yerde kullanılabilen iki veya daha fazla mekanizma arasında harekete yardımcı olan ve bazı durumlarda yüke maruz kalan bağlantı mafsalı ele alınmıştır. Bağlantı mafsalı kullanım alanı ve kullanma yeri dikkate alınarak tasarım işlemi Unigraphics programı ile gerçekleştirilmiştir. Cam elyaf takviyeli polyamid ürünün ölçüleri ek 1'de verilmiştir. Şekil 7.1'de bağlantı mafsalı ve mafsalının kullanıldığı yer gösterilmektedir. Çizelge 7.3'de ise bağlantı mafsalının ürün bilgileri gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Bağlantı mafsalı ve kullanım yeri

Çizelge 7.3 Bağlantı mafsalı ürün bilgileri

Parçanın Adı:	Bağlantı Mafsalı
Parçanın Görevi:	Mekanizmanın baş kısmının, gövde ve ayak kısmının hareketine yardımcı olmak,
Parçadan Beklenilen Özellik:	Mukavemet özelliğinin iyi olması, Aşınmaya karşı dirençli olması
Özellikler	
Parçanın Ağırlığı:	53.0515 g
Parçanın Hacmi:	41.0915 cm^3
Parça Yüzey Alanı:	88.6025 cm^2

7.2.2. Akış Analizi

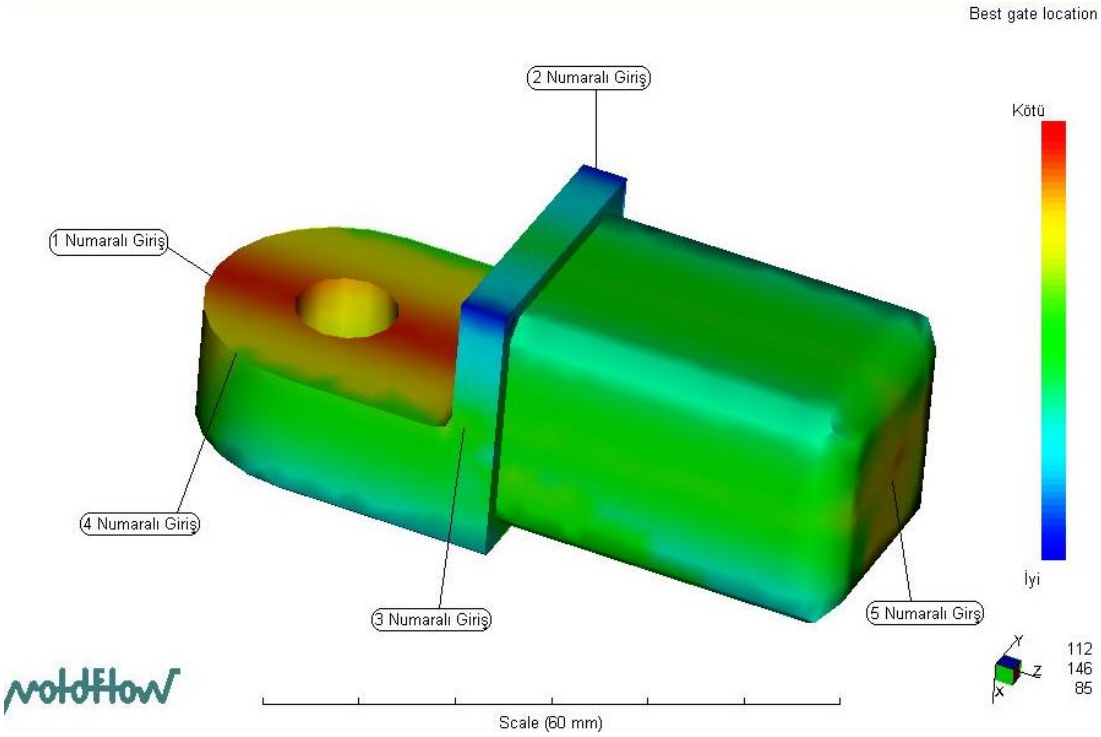
Burada akış analizleri işlemlerini MOLDFLOW yazılım programında gerçekleştirilmiştir. MOLDFLOW akış analizi programı, sadece analiz üzerine yoğunlaşmıştır. Programda model tasarım işlemleri gerçekleştirilemediğin modelin programa uyumlu CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programlarında çizilerek uygun dosya uzantısıyla kaydedilerek açılması gerekmektedir. MOLDFLOW programı adv, mpa, stl, mda gibi uzantılarda dosyaları açmaktadır. Burada akış

analizi işlemi ile en ideal giriş yeri seçimi belirlenerek polimer kompozit numunenin rahat ve güvenli bir şekilde dolumu sağlanmaktadır.

7.2.2.1. Giriş yeri belirleme işlemi

Tasarım işleminden önce çizilmiş olan numune üzerinde polimer akışın rahat ve güvenilir bir şekilde kalıp boşluğuna akması için giriş yerinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilecektir. En iyi kavite giriş yeri, Best Gate Location analizi ile parçaya ait kavite boşluğuna en iyi girişin verilmesi için bize bilgi vermektedir. Bu analiz bütün parça ölçülerini göz önünde bulundurur. Bu gelişmiş özellik giriş yeri için en iyi ve en kötü yerleri göstererek daha iyi analiz yapma imkânını sağlar. Kalıp açılma yerleri, giriş yeri sayısının belirlenmesi, yolluk sisteminin yerleştirilmesi vb. işlemler polimer kompozit numune üzerindeki kavite giriş yeri göz önüne alınarak yapılmaktadır.

Polimer kompozit numune CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programında STL formatıyla kayıt yapılarak Moldflow programında açılmaktadır. Menü çubuğu üzerinde Adviser menüsü içerisine girerek Molding Parameters kısmına girilir. Burada kullanılacak olan malzeme seçilerek malzeme için en uygun enjeksiyon parametreleri değerleri girilerek onaylanır. Adviser menüsü içersinden Analysis Selection kısmına girilerek Best Gate Location bölümü seçilerek onaylanır. Best Gate Location analiz aşamasının yapılmasıyla 5 değişik bölge için en iyi giriş bölgelerini simgeleyen mavi renk dağılımlarının, daha sonra yeşil, kırmızı ve açık mavi yerlerin oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 En iyi giriş yeri belirleme işlemi

Şekil 7.2'ye baktığımızda bağlantı mafsalı için en iyi kalıp boşluğu giriş yerlerinin mavi renkler, giriş yeri uygun olmayan bölgelerin kırmızı renkli bölgeler olduğu gösterilmektedir. Burada giriş yeri tespitinde kalıp tasarımda dolumun rahat ve homojen bir şekilde yapılması, kalıp maliyetinin uygun olması ve kaynak hattı ve gaz sıkışmalarının minimum seviyede olması göz önünde bulundurulmalıdır. Giriş yerinin yanlış seçilmesiyle enjeksiyon sonrası kaynak hatları ve gaz boşluklarının parça üzerinde oluşturduğu yüzey görünüm bozuklukları ve sıkışan gazların oluşturduğu çukurlar nedeniyle mukavemet kayıpları gibi problemleri beraberinde getirmektedir.

Seçilen 5 bölge için, en ideal bölgenin seçilmesinde her bir bölge ayrı ayrı seçilerek akış analizi işlemi yapılmıştır. Akış analizi işleminde her bölge için kaynak hatları, enjeksiyon süreleri, enjeksiyon basınç değerleri, hacimsel çekmeleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bölge için yapılan analiz çalışması sonuçlarından enjeksiyon süresi ve hacimsel çekme değerleri çizelge 7.4'de verilmiştir. Seçilen 5 bölge için yapılan analizler sonucunda her bir bölge için oluşan kaynak hattı yerleri şekil 7.4 ile şekil 7.8 arasında gösterilmektedir.

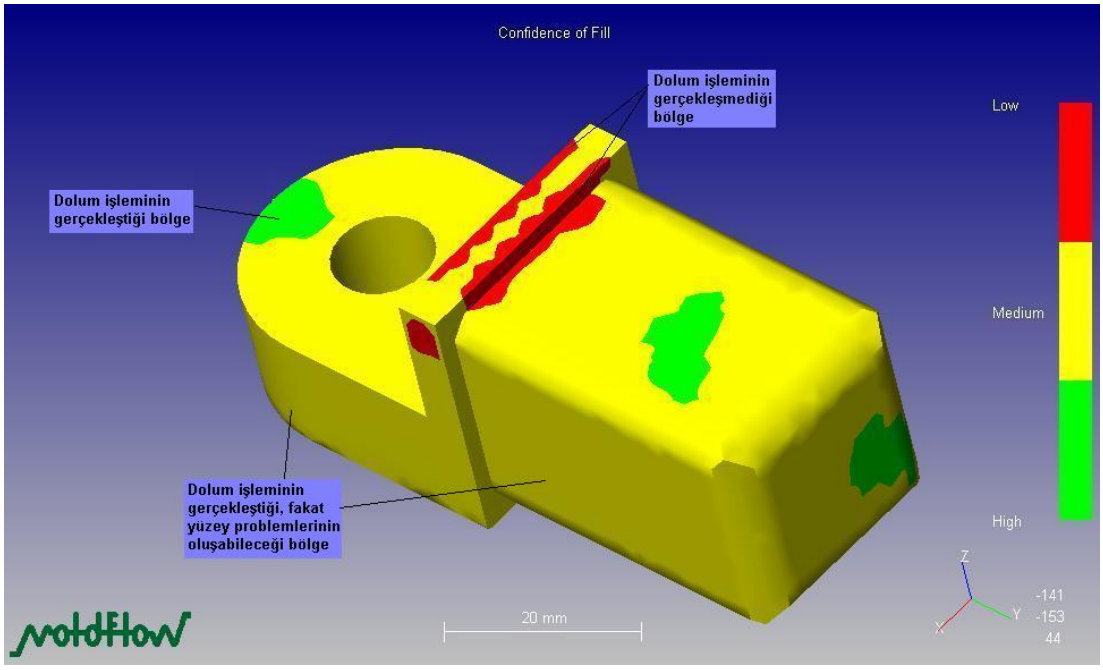
Çizelge 7.4 Giriş bölgeleri analiz sonuçları

Giriş Yeri	Enjeksiyon Süresi (s)	Hacimsel Çekme (%)
1 Numaralı Giriş	3.98	12.41
2 Numaralı Giriş	3.26	11.37
3 Numaralı Giriş	3.30	10.18
4 Numaralı Giriş	3.54	12.08
5 Numaralı Giriş	3.86	12.02

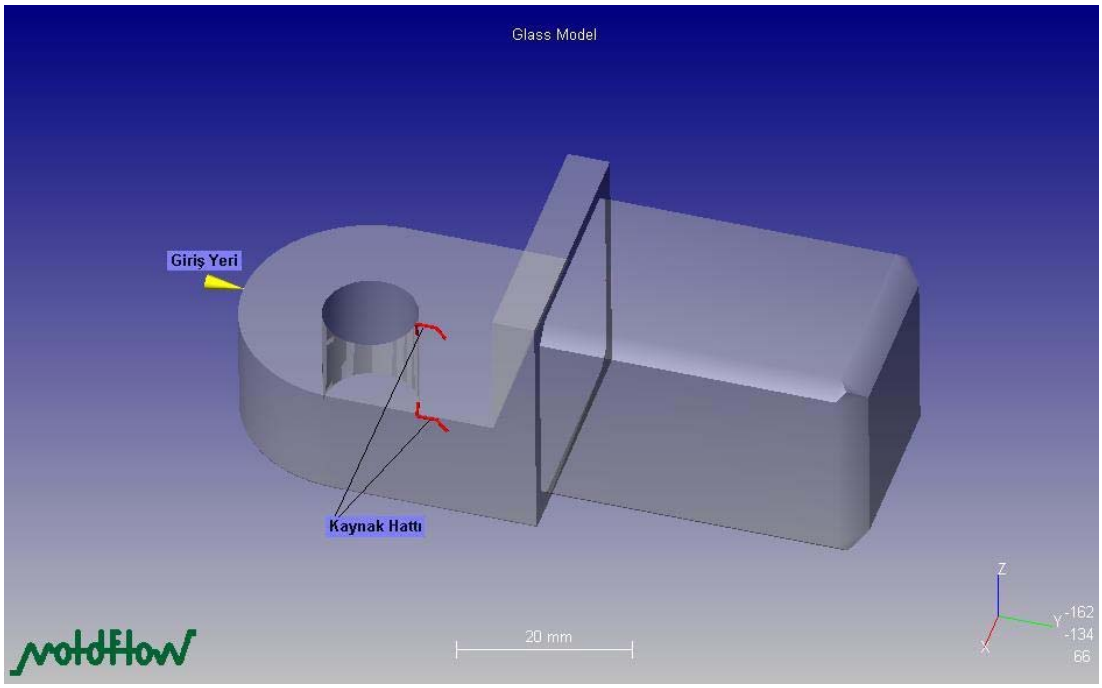
Burada en ideal giriş yeri seçimi işleminde kaynak hattı şekil 7.3'de gösterildiği şekilde 1 numaralı giriş seçilebilirdi. Fakat polimer kompozit numunede çekme dayanımı v.s. bakımında bir iyileşme sağlanmış olsa da (şekil 7.21), polimer kompozit numunenin homojen bir şekilde dolmasını engellemektedir. Bu durumu gidermek için ilk durumda mevcut enjeksiyon makinesinde kullanılan enjeksiyon basıncı değerlerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Buda enjeksiyon makinesi ihtiyacını ve ya kalıp yolluk dizaynında bir değişimin oluşmasını gerektirmektedir.

Yapılan akış analizi sonucunda seçilen 1 numaralı ve 4 numaralı giriş yeri için homojen ve sağlıklı bir dolum gerçekleşmediği gözlenmiştir. Şekil 7.4'de 1 numaralı ve 4 numaralı giriş yeri seçimi sonucunda elde edilen dolum hatası gösterilmektedir. Burada kırmızı renkle gösterilen yerler dolma işleminin gerçekleşmediği, sarı bölgeler ise dolum işleminin gerçekleşmiş olduğu fakat yüzey bozukluklarının oluştuğu göstermektedir. 2 numaralı ve 5 numaralı giriş yeri seçiminde ise enjeksiyon süresinin artması ve kalıp ve yolluk tasarımında daha kompleks işlemlerin gerektirmesi buda kalıp maliyeti açısından ek bir maliyet ve işçilik gerektirmektedir.

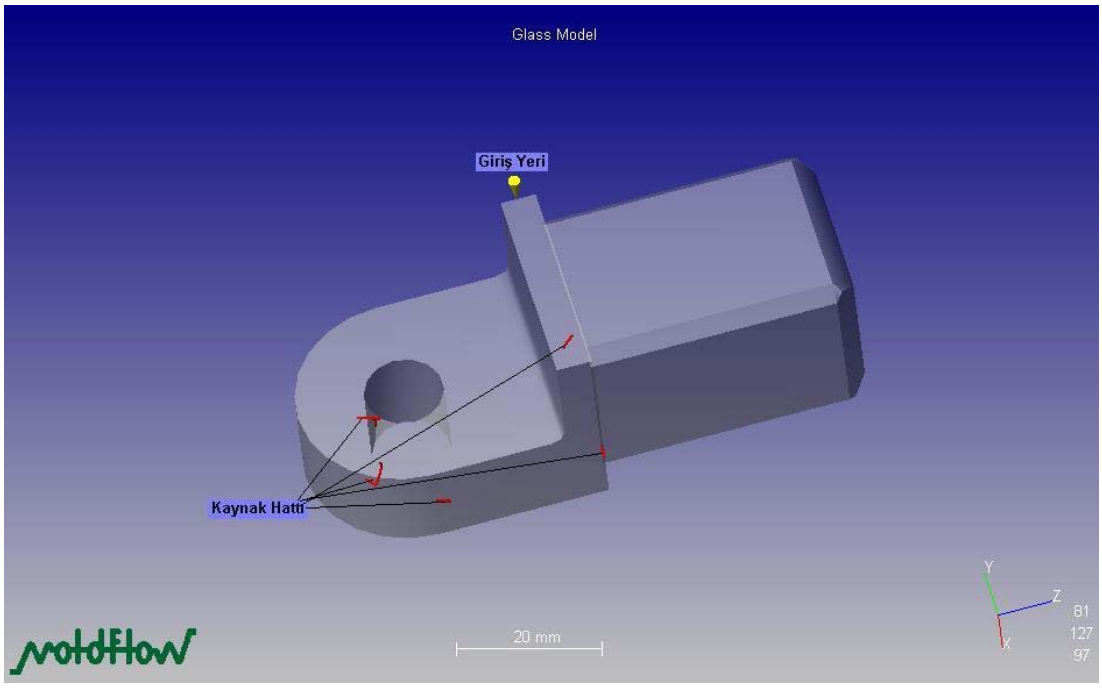
Kaynak hattı oluşumları dikkate alınarak çizelge 7.4'e baktığımızda kavite (kalıp boşluğu) giriş yeri için 3 numaralı girişin en uygun ve ideal bir seçim olabileceği gözükmektedir. Şekil 7.5'de 3 numaralı giriş yeri seçiminde oluşan kaynak hattı gösterilmektedir.



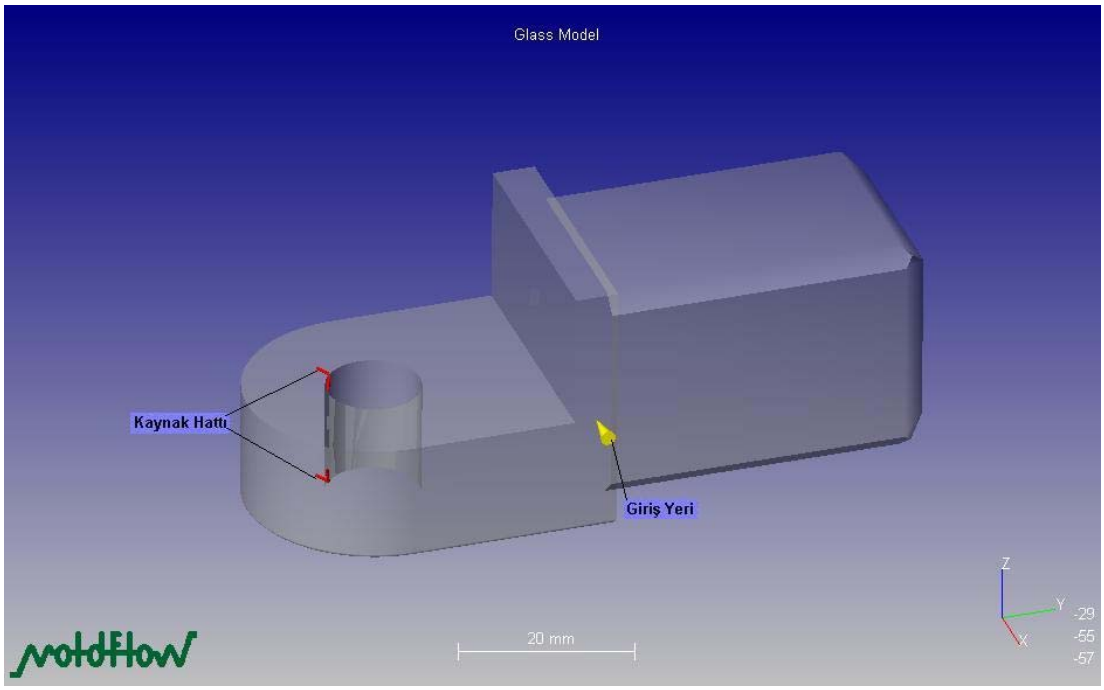
Şekil 7.3 1 ve 4 numaralı giriş yeri için oluşan enjeksiyon dolum problemi



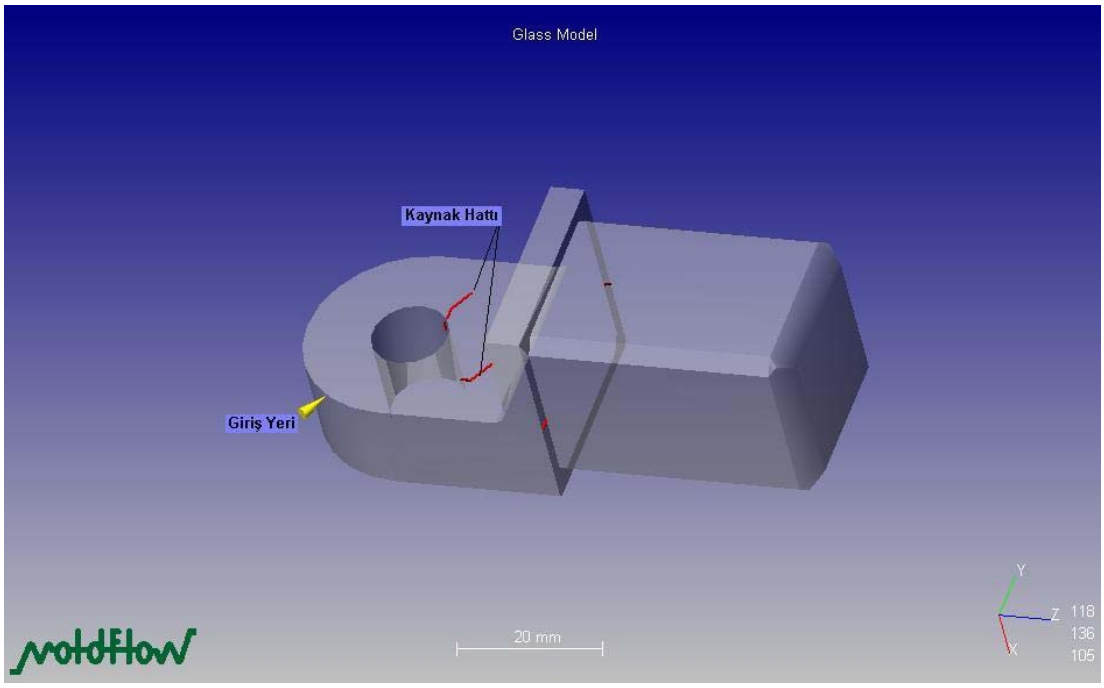
Şekil 7.4 1 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı



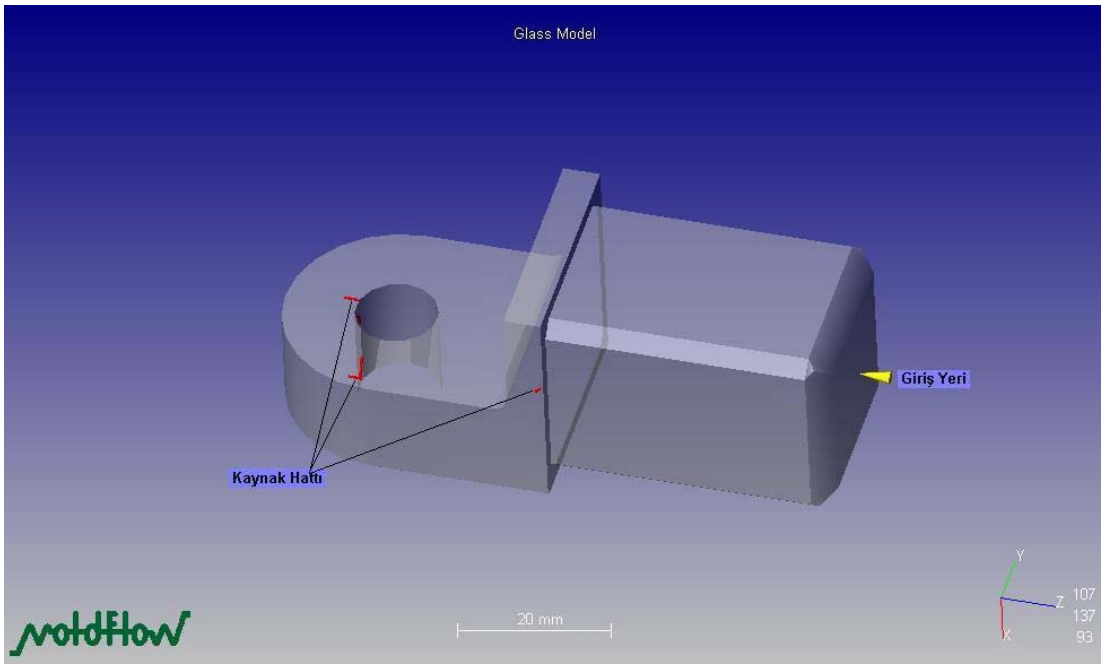
Şekil 7.5 2 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı



Şekil 7.6 3 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı



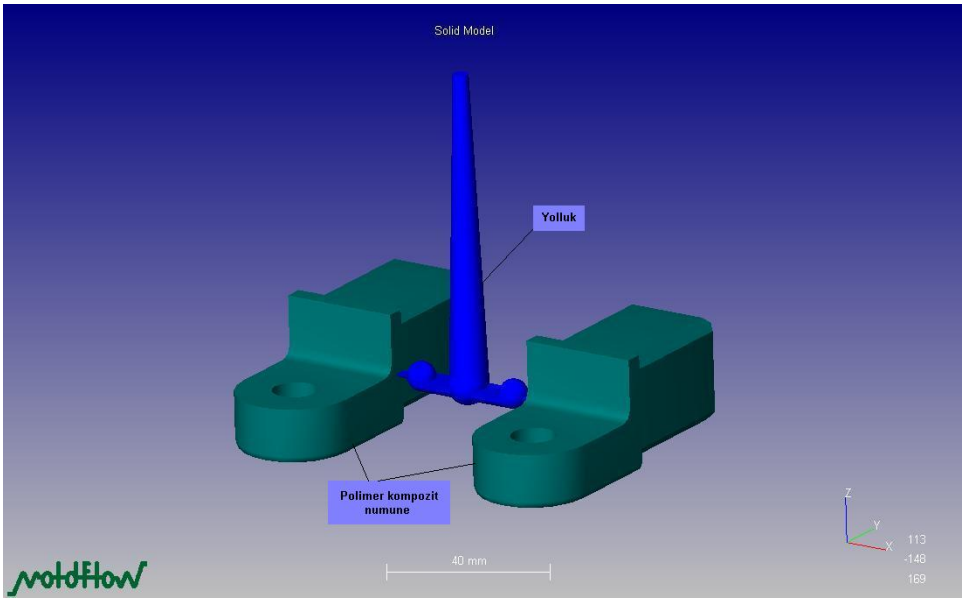
Şekil 7.7 4 numaralı giriş yeri için oluşan kaynak hattı



Şekil 7.8 5 numaralı giriş için oluşan kaynak hattı

7.2.2.2. Kavite (kalıp boşluğu) sayısı belirleme işlemi

Polimer kompozit numune için uygun giriş yeri belirlendikten sonra kalıbın kaç gözlü olması gerektiği belirlenir. Bunun için kalıbın tek gözlü veya aile kalıbı olmasının ürün kalitesi üzerindeki etkisi incelenir. Hacimsel çekme değerleri, uygun enjeksiyon süresi ve ütüleme süreleri uygun toleranslar boyutunda olursa parça belirlenen kavitede kaliteli olarak üretilebilir demektir. Burada mevcut parça 2 kaviteli (gözlü) olarak belirlenecek ve her biri için dolum analizleri, kaynak hattı oluşumları ve ütüleme sonrası parçada oluşabilecek hacimsel çekme dikkate alınarak uygun kavite sayısı belirlenecektir. Şekil 7.9'da 3 numaralı giriş için 2 kaviteli (kalıp boşluklu) yolluk sistemi gösterilmektedir.



Şekil 7.9 3 numaralı giriş için 2 kaviteli yolluk sistemi

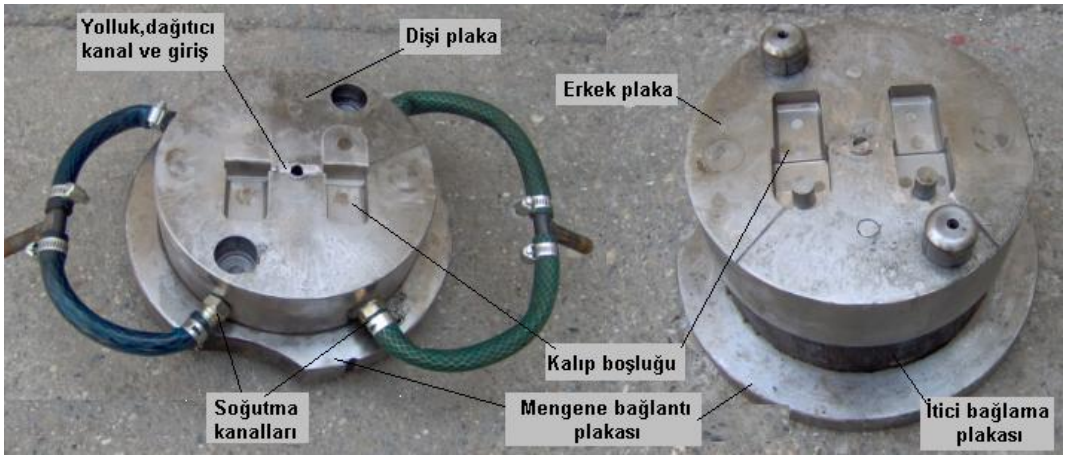
Yapılan analizler sonucunda 2 kaviteli yolluk sistemli kalıp tasarımda bağlantı mafsalının dolum süresi 7.24 s, hacimsel çekme %13.76 çıkmaktadır. Dolumun güvenilirliği, hava kabarcıkları ve kaynak hattı oluşumu bakımından ise 2 kaviteli yolluk sistemli parçanın iyi olduğu belirlenmiştir. Maliyet bakımından karşılaştırdığımızda çok fazla yolluk sistemli kalıp tasarımında, kalıp işçiliği bakımından kalıbın mevcut boyutlarının artması, kalıp parçaları ve seti üzerinde yapılacak olan işlemlerin 2 kaviteli sisteme göre yaklaşık iki katına çıkması gibi bir durumla karşılaşılmaktadır. Ek maliyet olarak yolluk içerisinde kalan kayıp

malzeme, kalıp için kullanılacak malzeme artışı ve kalıp seti elemanların artmasıyla ek bir masraf getireceği dikkate alınarak 2 kaviteli yolluk sistemli kalıbın uygun olduğuna karar verilmiştir.

7.2.3. Kalıp Tasarımı

Akış analizi sonucunda elde edilen veriler göz önüne alınarak yandan girişli ve 2 kaviteli parçayı üretecek şekilde kalıp tasarlama işlemi gerçekleştirildi. Burada kalıp maliyeti de göz önüne alınarak en uygun ve ekonomik tasarım gerçekleştirilmiştir. Mevcut olan bağlantı mafsalı arka kısmına et kalınlığı verilerek boşaltılabilirdi ve daha farklı bir tasarım işlemi yapılabilirdi. Fakat et kalınlığının verilmesiyle kalıp tasarımında parça iç kısmında kamlı (maçalı) sistemin çalışması gerekliliği ortaya çıkmakta buna bağlı olarak kalıp malzemeleri artmakta ve dolayısıyla kalıp maliyetini arttırmaktadır. Burada kalıp tasarımı işlemi Unigraphics yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir.

Kaynak hattının oluşmasını gerçekleştirmek için eriyik haldeki sıvı akışkanın kalıp boşluğu içerisinde hareketi esnasında ayrılması ve daha sonra tekrar birleşmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için parçanın üzerinde mevcut olan Ø11'lik oluşturulan maça sayesinde erimiş haldeki akışkan kalıp içerisinde akarken maçanın bulunduğu kısımda ikiye ayrılarak arka kısmında birleşmesiyle kaynak hattı oluşmaktadır. Şekil 7.10'da üretilmiş olan bağlantı mafsalının plastik enjeksiyon kalıp resmi gösterilmektedir.



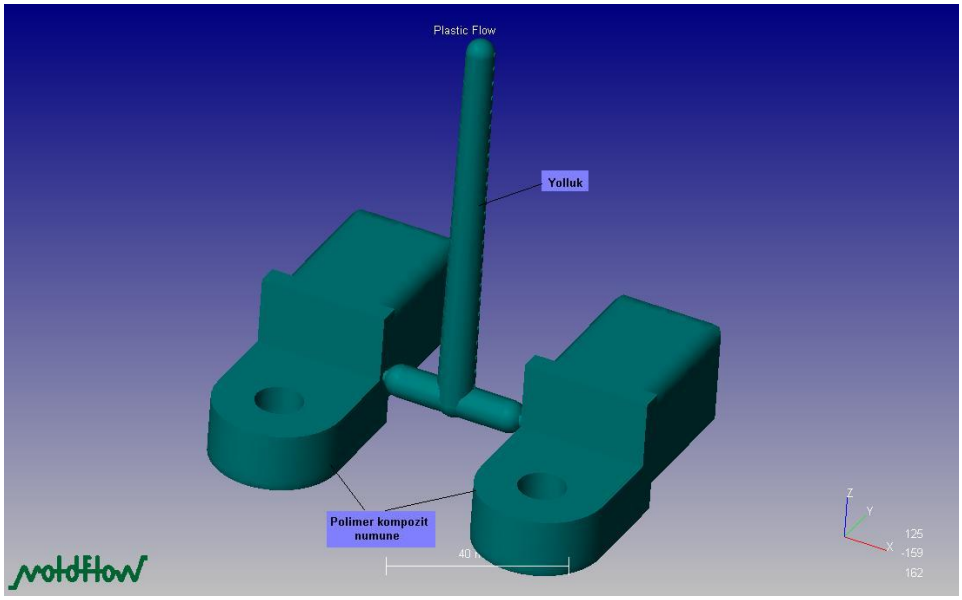
Şekil 7.10 Bağlantı mafsalının plastik enjeksiyon kalıbı

7.3. Analiz Aşaması İşlemi

Buradaki çalışmada analiz işlemleri MOLDFLOW yazılım programında gerçekleştirilmiştir. Bağlantı mafsalının belirlenen parametrelerde akış analizi işlemi gerçekleştirilmiştir. Analiz aşamasında kullanılan ideal kalıplama parametreleri çizelge 7.1'de verilmektedir.

7.3.1. Polimer Akış Sonucu

Kalıbın polimerle dolmuş halinin görülmesini sağlar. Kalıbın polimer ile dolmuş hali şekil 7,11'de gösterilmektedir. Şekil 7.11'e göre, yapılan akış analizi sonucunda tamamen yeşil renkte olduğu ve PA 6 GFR30 ürün malzemesi homojen bir yapıda parçanın tamamını doldurmaktadır.

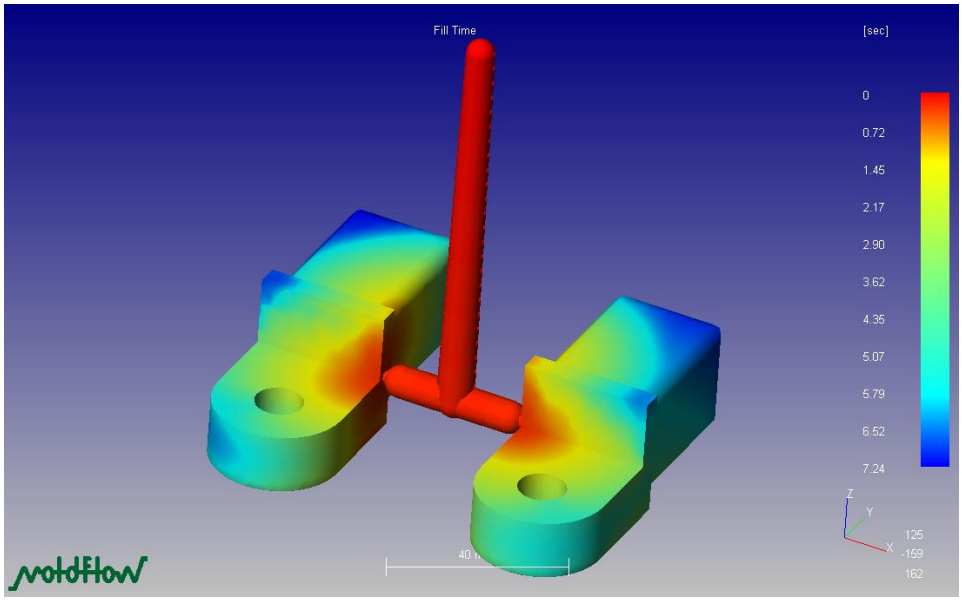


Şekil 7.11 Polimer akış sonucu

7.3.2. Dolum Süresi ve Sonuçlara Etkisi

Dolum süresi, polimerin kalıp boyunca akış süresini göstermektedir. Her bir renk kalıbın aynı zamanda dolum miktarını gösterir. Eksik dolum yarı saydam olarak gösterilir. Dolum zamanı sonuçları dolan ilk bölgede kırmızı renkten, dolan son bölgeye mavi renge kadar bir renk dokusu ile sonuçları gösterir. Şekil 7.12'de

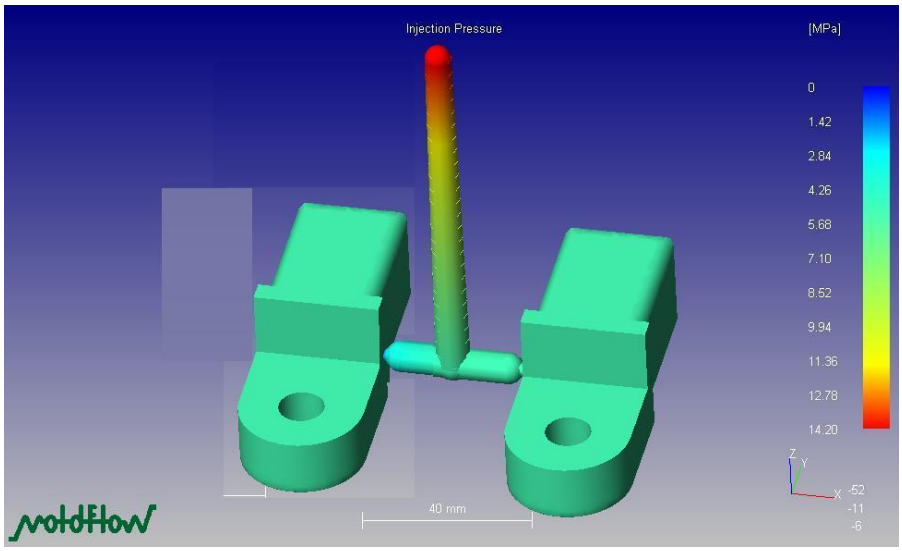
bağlantı mafsalının dolum süresi sonuçları gösterilmektedir. Eriyik haldeki polimerin kalıp boşluğuna dolum zamanı akış analizi sonucunda sarı bölgeleri 2.17 sn, yeşil bölgeleri 3.62 sn, açık mavi bölgeleri 5.79 sn ve koyu mavi bölgeleri 7.24 sn' de doldurma işlemi gerçekleştirmiştir.



Şekil 7.12 Dolum süresi sonucu

7.3.3. Enjeksiyon Basıncı ve Sonuçlara Etkisi

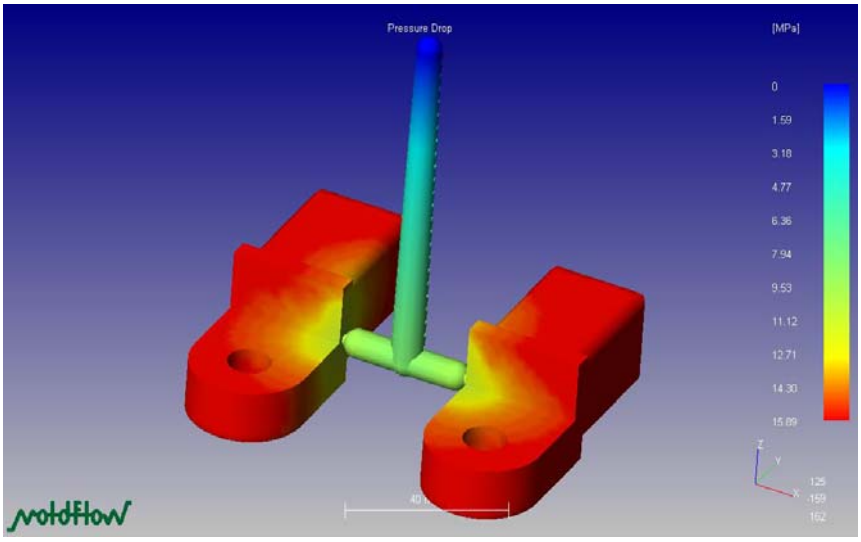
Enjeksiyon basıncı kalıbın tamamen dolduğu andaki basınç durumunu gösterir. Burada enjeksiyon basıncı sonuç değeri en düşük basınç bölgesinden (mavi kısım), en yüksek basınç bölgesine kadar (kırmızı kısım) bir renk dokusu halinde gösterir. Şekil 7.13'de polimer akış analizi gerçekleştirilmiş olan kalıp üzerindeki enjeksiyon basınç dağılımları gösterilmektedir. Kalıp üzerindeki enjeksiyon basıncı değerinin 5.68 MPa maksimum 14.20 MPa olduğu ve daha sonra parçanın alt köşelerine doğru gidildiğinde düştüğü görülmektedir.



Şekil 7.13 Enjeksiyon basıncı sonucu

7.3.4. Basınç Düşüşü ve Sonuçlara Etkisi

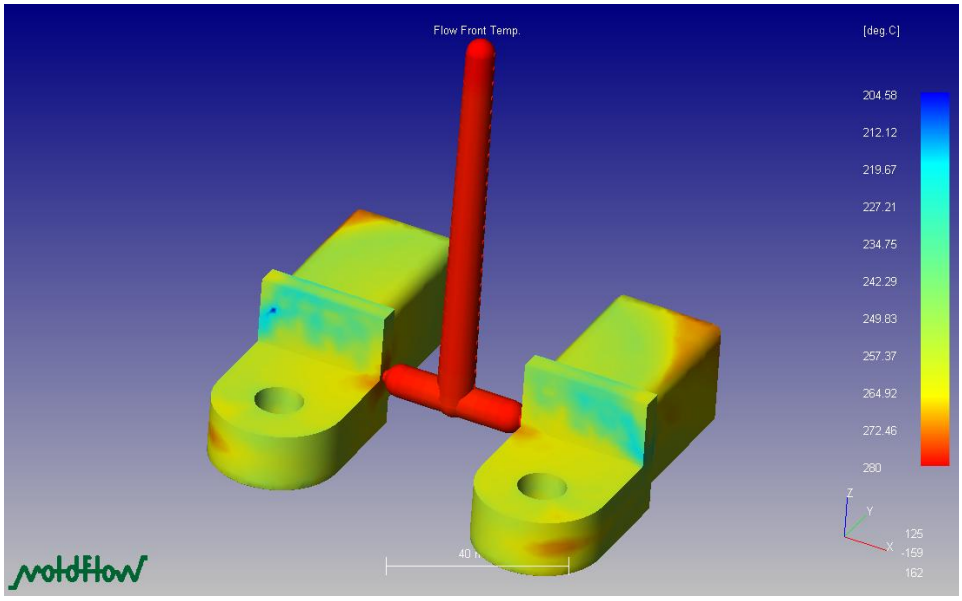
Basınç düşmesi en düşük basınç düşmesi bölgesinden (mavi renkli) en yüksek basınç düşmesi (kırmızı renkli) bölgesine kadar olan bölgeleri bir renk dokusu ile göstermektedir. Her bir alandaki renk parçanın tamamen dolduğu anda parçanın aynı bölgesindeki enjeksiyon yerine göre basınç düşmesini gösterir. Şekil 7.14'de bağlantı mafsalının akış analizi sonucundaki basınç düşüşü değerlerini göstermektedir. Şekil 7.14'e baktığımızda girişte basınç düşüşü yok iken akış işlemi ilerledikçe basınç düşüşü kırmızı yerlerde 15.89 MPa olarak gözükmektedir.



Şekil 7.14 Basınç düşüşü sonucu

7.3.5. Ön Akış Sıcaklığı ve Sonuçlara Etkisi

Ön akış sıcaklığı, düşük sıcaklık bölgesinden yüksek sıcaklık bölgesine kadar olan bölgeleri gösterir. Bu sonuçlar dolum süresi boyunca ön akış sıcaklığındaki değişmeleri göstermektedir. Ön akış sıcaklığı modelin ince bölgelerinde çok düşükse dalgalanma veya eksik doluma neden olabilir. Eğer bu sıcaklık değerleri kaynak çizgileri gösterilen yerlerde çok düşükse kaynak çizgileri daha kötü görünür. Ön akış sıcaklığının çok yüksek olduğu alanlarda malzeme bozulması veya yüzeysel hatalar oluşabilmektedir. Şekil 7.15'de bağlantı mafsalı üzerinde oluşan ön akış sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Kaynak yerlerinin bulunduğu kısımda sıcaklık değeri 264.83 °C olduğu ve dolayısıyla fazla bir düşüş gözükmemektedir.

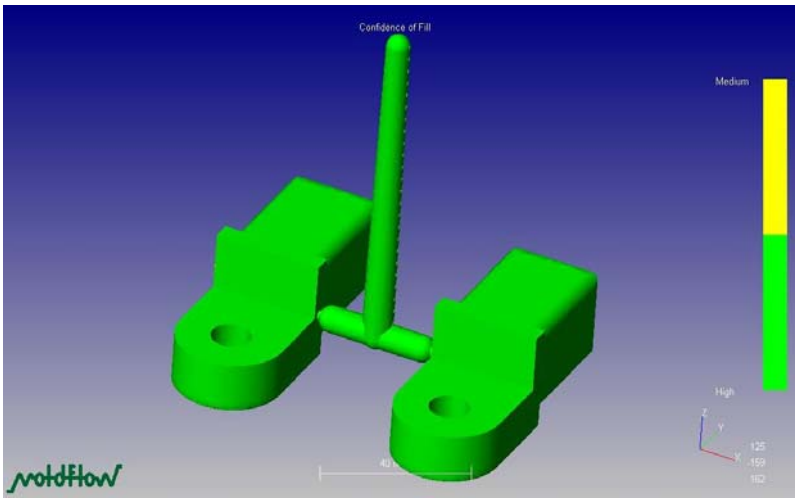


Şekil 7.15 Ön akış sıcaklığı sonucu

7.3.6. Dolumun Güvenilirliği ve Sonuçlara Etkisi

Dolumun güvenilirliği, polimer haldeki akışkanın kalıp boşluğuna enjekte edildiğinde tam dolma işlemini gerçekleşip gerçekleşmeyeceği durumları göstermektedir. Bu sonuçlar uygulanan basınç ve sıcaklık etkisiyle değişmektedir. Sonuç ekranındaki renkler polimerin dolum anındaki davranışını gösterir. Yeşil renk mevcut parçanın kesin dolacağını gösterir. Sarı renk parçanın zor dolacağı veya tam dolma gerçekleştireceği fakat kalite problemlerini çıkaracağını belirtir. Kırmızı renk

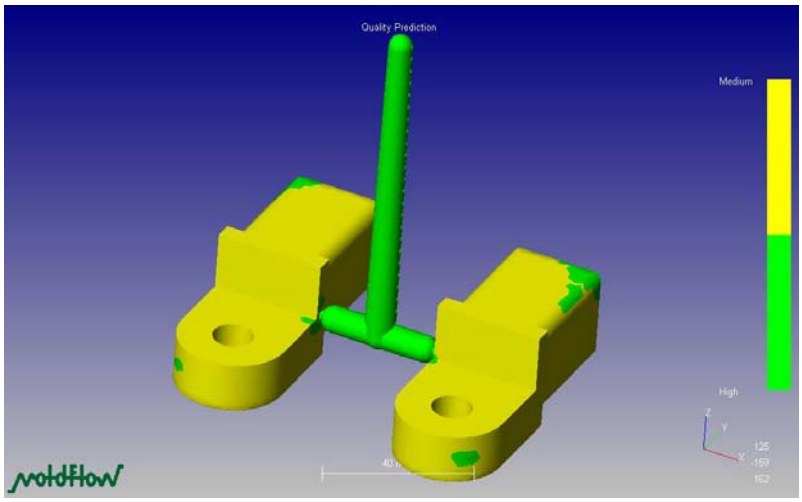
çok zor dolar ve kalite problemlerini çıkartır. Siyah renk ise parçanın dolmayacağını belirtir. Şekil 7.16'da bağlantı mafsalının dolum güvenilirliği sonucu gösterilmektedir. Şekil 7.16'ya baktığımızda parçanın tamamının yeşil renkte olduğu dolayısıyla dolma işleminin rahatlıkla gerçekleşeceği gösterilmektedir.



Şekil 7.16 Dolumun güvenilirliği sonucu

7.3.7. Kalite Tahmini ve Sonuçlara Etkisi

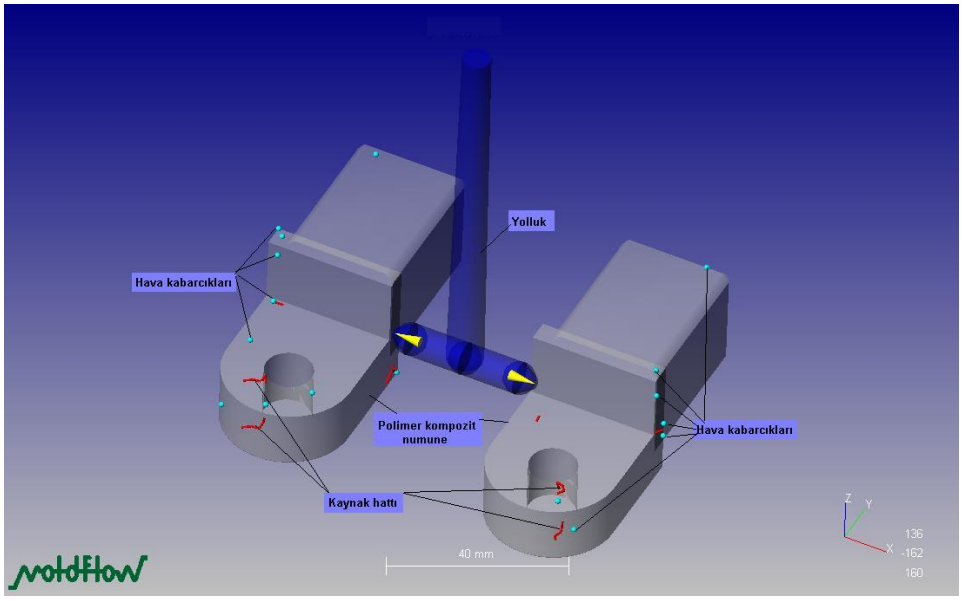
Kalite tahmini, mevcut parçanın istenilen kalite olup olmadığı hakkında bize bilgi vermektedir. Yeşil renk çok yüksek kalitenin elde edileceği, sarı renk normal kalitenin elde edileceği ve kırmızı renk çok kötü bir kalitenin elde edileceğini belirtir. Şekil 7.17 'de bağlantı mafsalının kalite tahmini sonucu gösterilmektedir. Parçanın normal kalitede olduğu gösterilmektedir.



Şekil 7.17 Kalite tahmini sonucu

7.3.8. Hava Kabarcıkları ve Sonuçlara Etkisi

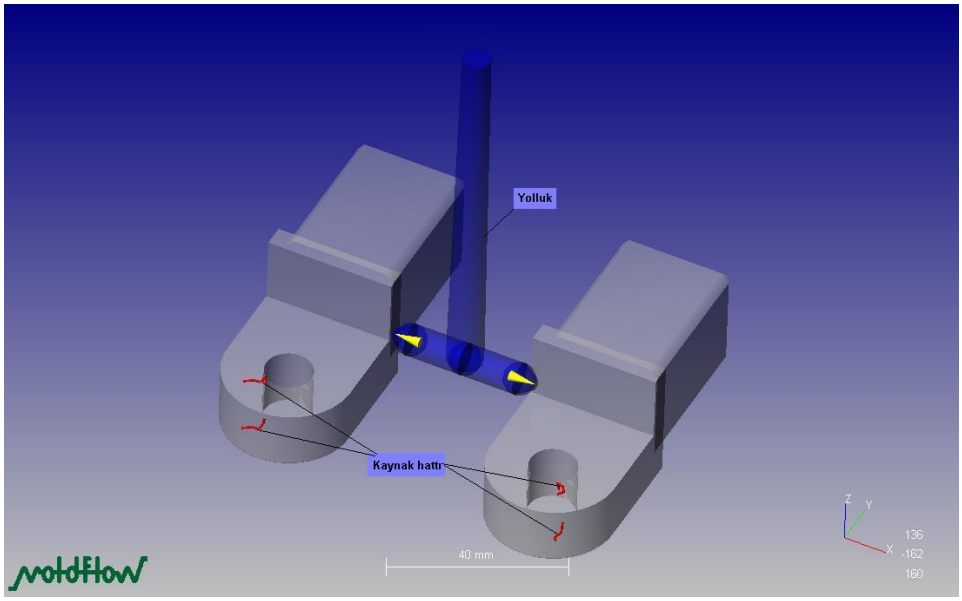
Hava kabarcığı, polimer akışkanın düz bir şekilde hareket ederken herhangi bir nedenle dalgalanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Hava kabarcığı yerleri eriyiğin en az iki ön akışının bir noktada durup birleştiği veya dolumun son noktasında tutulan hava kabarcıklarını gösterir. Hava kabarcıkları ön akışların birleştiği noktalarda havanın kuşatılması ile oluşmaktadır. Hava kabarcıkları normalde dengelenmemiş akış yolları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.18'de bağlantı mafsalı üzerinde oluşan hava kabarcıkları gösterilmektedir. Şekil 7.18'e baktığımızda hava kabarcıkları parçanın köşelerinde oluşmaktadır. Böylece herhangi bir problem teşkil etmemektedir.



Şekil 7.18 Hava kabarcıkları sonucu

7.3.9. Kaynak Hatları ve Sonuçlara Etkisi

Kaynak (weld Line) hatları parçada yapısal sorunlara neden olabilir ve görselliği kabul edilmeyebilir. Şekil 7.19'da bağlantı mafsalı üzerinde oluşan kaynak hattı gösterilmektedir. Burada kaynak hattı parçanın ön tarafında olan pimin bulunduğu yerde düz bir hat olarak oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 7.19 Kaynak hattı sonucu

7.4. Gerilme Analizi İşlemi

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit numune üzerinde gerilme dağılımlarını incelemek üzere bağlantı mafsalı ANSYS 5.4'de incelenmiştir. Burada iki seçenek mevcuttur. Birinci durumda numune diğer CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programlarında çizilerek İGES uzantısı ile kayıt yapılarak, ANSYS programında açılarak incelenmektedir. İkinci durumda ise numune ANSYS içerisinde çizilerek analiz işlemi gerçekleştirilir. Cam elyaf takviyeli polimer kompozit numune çizim işlemi ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Çizim işlemi, ANSYS Main Menü-Preprocessor-Modelling-Create kısmından gerçekleştirilmektedir. Numune çizildikten sonra ilk olarak malzeme tanımlanması gerekmektedir.

ANSYS Main Menu-Preprocessor-Material Props-Isotropic seçeneği tıklanır. Açılan Isotropic Material Properties penceresinden Specify Material Number kısmı 1 iken OK tuşuna basılıp açılan Isotropic Material Properties penceresindeki Young's modulus edit box'una malzemenin Young modulu ve Poisson's ratio (major) karşısına da malzemenin Poisson oranı yazılarak Ok tuşuna basılır. Malzeme özelliklerini yükledikten sonra malzeme tipi belirlenir.

Malzeme tipini belirlemek için Main Menu-Preprocessor-Material Props-Element Type-Add/Edit/Delete seçeneği seçilir. Açılan Element Type başlıklı

penceredeki Add butonuna tıklanarak önce Structural Solid sonrada PLANE 42 seçenekleri seçildikten sonra OK butonu ile onaylanarak Close butonu ile pencere kapatılır.

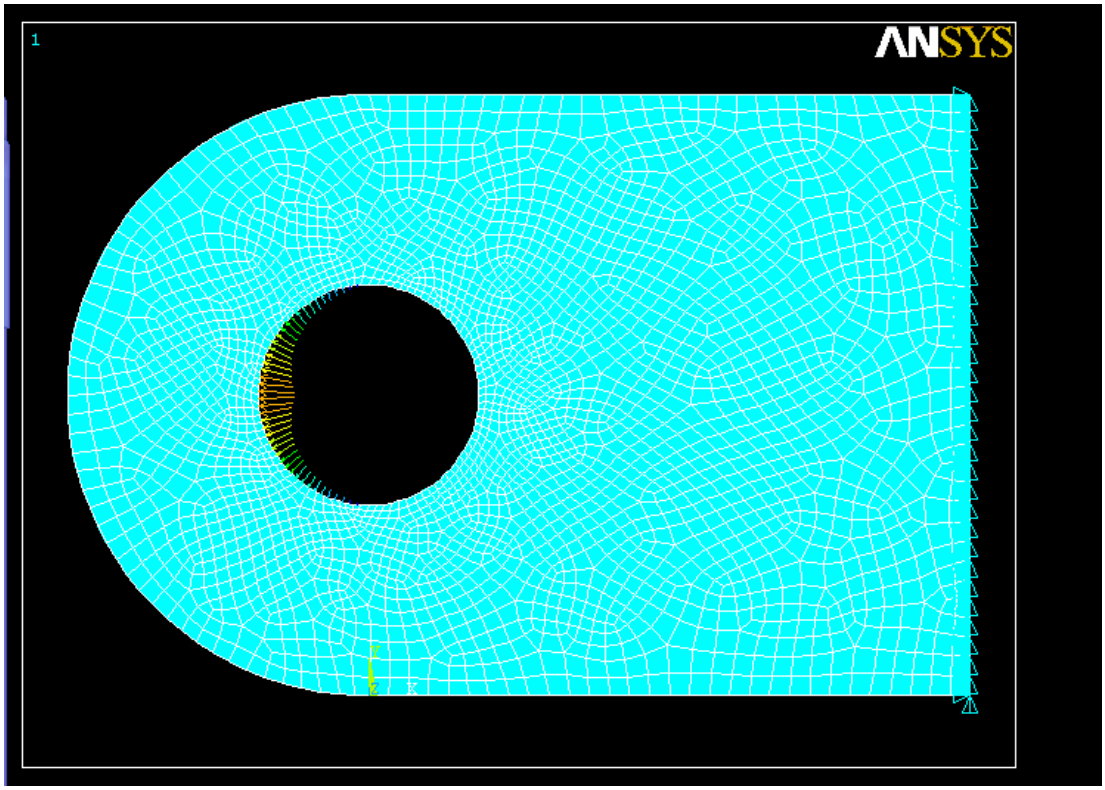
Mesh işlemini gerçekleştirebilmek için gerekli olan eleman tipi seçilerek malzeme yüklenmiş oldu. Mesh işlemi, malzemeyi uyguladığımız eleman tipine göre bağdaştırmaktır. Mesh işlemi için Main Menu-Preprocessor-Material Props- Mesh Tool seçilir. Açılan Mesh Tool başlıklı pencerede Smart Size check box'u tıklandı ve ikon 1'e getirilerek Mesh işlemi esnasında oluşabilecek muhtemel hatalar minimuma indirildi. Mesh butonuna tıklandı ve açılan Mesh Volumes penceresinde Pick All butonu tıklanarak malzeme Mesh edilmiş oldu (Şekil 7.20).

Numune Mesh işleminden sonra gerekli olan sınır şartlarını uygulamak için, ANSYS Main Menu-Solution-Loads-Apply-Displacement-On Lines seçeneği tıklanarak numunenin ön kısmı mesnetlenmiştir. (Şekil 7.20).

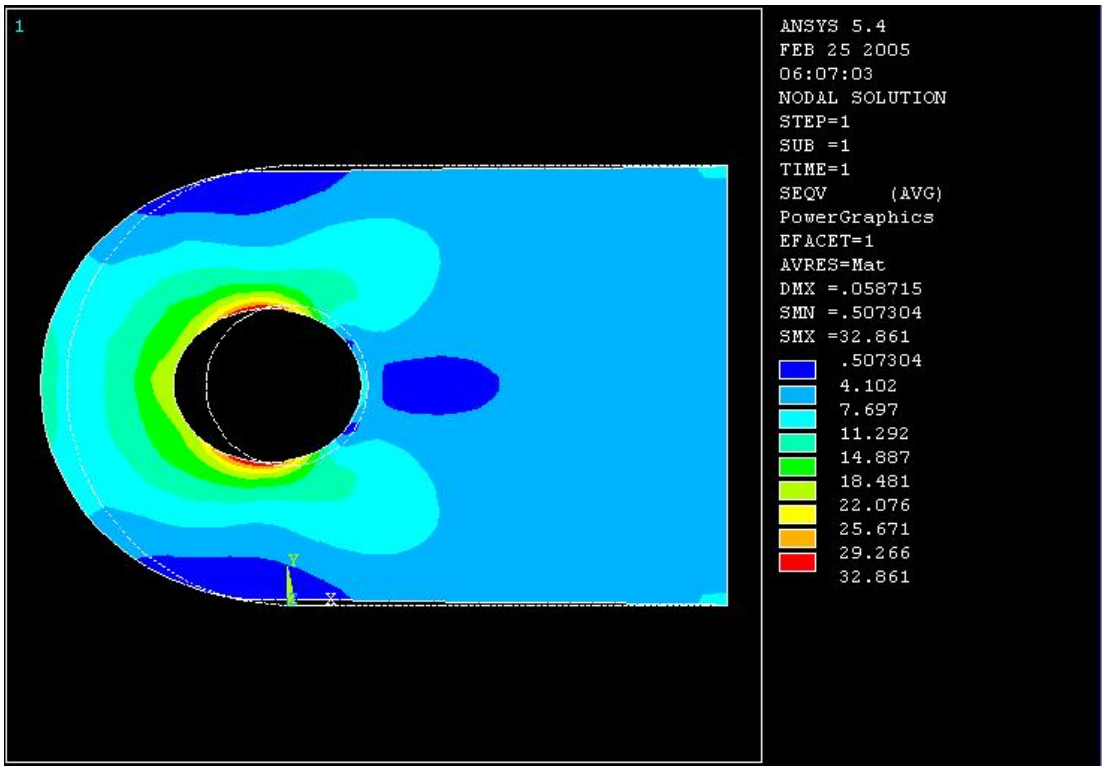
Numunedeki gerilmeleri incelemek için uygulanacak basıncın belirlenmesinde ANSYS Main Menu-Solution-Loads-Apply-Pressure-On Lines seçildikten sonra açılan Apply Pres On Lines penceresinde basınç uygulanacak kısım seçildi ve OK butonuna basılarak basınç değerini girilmiştir. Gerekli sınır şartları uygulandıktan sonra çözüm işlemine geçilmiştir (Şekil 7.20).

ANSYS Main Menu-Solution-Solve-Current LS seçildikten sonra açılan Solve Current Load Step penceresinde OK butonuna tıklanarak çözme işlemine başlandı. Çözümün tamamlandığında bir bilgi penceresi açılarak Solution is done! uyarısı ile tamamlanmıştır.

Çözüm işlemi tamamlandıktan sonra ANSYS Main Menu-General Postproc-Plot Result-Nodal Solution seçilerek, açılan Counter Nodal Solution Data penceresinde Item, Comp- Item to be contoured başlığının karşısındaki Stres- von Mises SEQV seçilerek, Kund Item to be plotted başlığı karşısındaki radio group butonlardan Def+undef edge seçeneği seçilmiştir. Böylece numuneye basınç uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki malzemenin şekli grafik olarak karşımıza gelmektedir (Şekil 7.21).



Şekil 7.20 Numunenin ANSYS'de Mesh edilmiş ve yükleme hali görünümü



Şekil 7.21 Numunenin ANSYS'de sınır şartlar uygulandıktan sonraki görünümü

Şekil 7.21'e baktığımızda gerilmelerin maksimum olduğu bölgeler kırmızı minimum olduğu bölgeler ise mavi renktedir. Maksimum gerilme değeri 32.861 MPa olarak görülmektedir.

7.5. Parçaların Üretimi İşlemi

Parçaların üretimi işleminde öncelikle pilot bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Belirli işleme şartları göz önüne alınarak mevcut parçanın kalıplanabilirliği için en ideal işleme parametreleri aralıkları tespit edilmiştir. Kalıplama işleminde kullanılan enjeksiyon makinesi ARBURG markadır. Bu makinenin teknik özellikleri çizelge 7.5'de verilmektedir.

Çizelge 7.5 ARBURG enjeksiyon makinesi bilgileri

Enjeksiyon Makinesi Adi:	ARBURG
Enjeksiyon Makinesi Kodu:	154222
Gramajı (g)	180
Enjeksiyon Basıncı (bar)	1750
Enjeksiyon Hızı (cm/s)	190
Ütüleme Basıncı (bar)	1750
Ütüleme Zamanı (s)	99
Kapama Kuvveti (ton)	100
Ocak Sıcaklığı ($^{\circ}$C)	30–450
İtici Mesafesi (mm)	0–152
İtici Basıncı (KN)	5–40

Pilot çalışmada plastik enjeksiyon kalıbı enjeksiyon makinesinin mengene ünitesine bağlanarak kalıplama şartlarına hazır hale getirilmiştir. Daha sonra polimer kompozit malzemesi plastik enjeksiyon makinesi haznesine dökülerek yaklaşık olarak 4-4.5 saat fırınlama işlemine tabi tutulmuştur. Fırınlama işleminden sonra plastik enjeksiyon tezgahının kontrol paneline gerekli olan enjeksiyon parametreleri ön ayarları yapılarak deneme basımlar gerçekleştirilmiştir.

Tüm ortam şartları uygun hale getirildikten sonra enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon basıncı değerini başlangıç olarak 100 bar kabul edilerek artış miktarı ise

50 bar olacak şekilde numuneler basılmıştır. Sonuç olarak, enjeksiyon basıncı 600 bar değerinin altında alınması durumunda polimer eriyik kalıp boşluğuna dolumu sırasında numunelerin eksik dolduğu, dolan numunelerin yüzeylerinde çizik, yarık vb. yüzey bozukluklarının oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 7.22).

Enjeksiyon süresi değerleri 1 s'den başlayarak 12 s'ye kadar değiştirilerek basımlar gerçekleştirilmiştir. Ütüleme süresi değeri ise 2 s'den 11 s değerine kadar numuneler basılmıştır. Sonuç olarak, enjeksiyon süresi ve ütüleme süresi değerlerinin 12 s üzerinde seçilmesi durumunda enjeksiyon makinesi dolum işleminde kalıp içerisine yeteri kadar mamul dolduğu için doldurma işlemi sırasında tezgah bekleme durumuna geçerek bitirme işlemini gerçekleştirmemekte dolayısıyla nozzle içerisindeki sıvı akışkan donmaktadır.

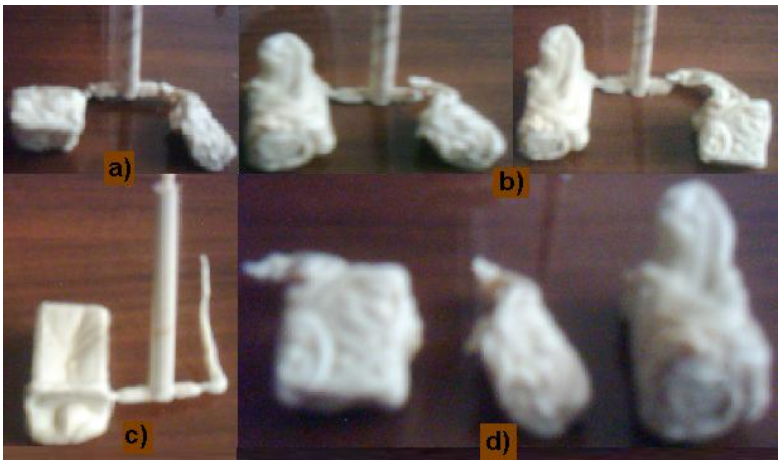
Bazı durumlarda kalıp dolumu gerçekleşmekte fakat çıkan ürünlerde yapısal olarak incelendiğinde hava kabarcıklarının fazla olması, bazı yüzey bozuklukları ve malzemenin kırılgan olması gibi sorunlarla karşılaşılmıştır. Çizelge 7.6'da pilot çalışma sonunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda enjeksiyon parametreleri değerleri verilmektedir. Şekil 7.22'de pilot çalışma süresince üretilen ürünlerde P_e= 150 bar, P_e= 550 bar, P_e= 100 bar, P_e= 200 bar ve şekil 7.23'de P_e= 200 bar, P_e= 350 bar, P_e= 300 bar, P_e= 250 bar seçilmesi durumunda oluşan hatalar gösterilmektedir. Şekil 7.24'de plastik enjeksiyon sonucunda üretilen cam elyaf takviyeli polimer kompozit numune gösterilmektedir.

Çizelge 7.6 Bağlantı mafsalı enjeksiyon parametreleri değerleri

Enjeksiyon Basıncı (bar)	>600
Enjeksiyon Süresi (s)	>1, <12
Ütüleme Basıncı (bar)	820
Ütüleme Süresi (s)	>2, <12
Kalıp Sıcaklığı (°C)	80
Eriyik Sıcaklığı (°C)	280
Soğuma Süresi (s)	17
Çevrim Süresi (s)	35



Şekil 7.22 Dolum hataları a)P_e= 150 bar b) P_e= 550 bar c) P_e= 100 bar d) P_e= 200 bar



Şekil 7.23 Basım süresince meydana gelen dolum hataları a) P_e= 200 bar b) P_e= 350 bar c) P_e= 300 bar d) P_e= 250 bar



Şekil 7.24 Polimer kompozit numune

Pilot çalışma sonucunda elde edilen veri ve mikroskop çalışması sonuçları dikkate alınarak kaynak hattı oluşumunu incelemek için belirlenen enjeksiyon parametreleri doğrultusunda her bir grup için 5 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon parametreleri; kalıp ısısı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıcı, enjeksiyon süresi, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, ütüleme süresi ve çevrim süresini kapsamaktadır. Değiştirilen parametreler enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi, ütüleme basıncı değerleridir. Çizelge 7.7'de bu değerler gösterilmektedir. Buradaki parametreler değiştirildiğinde diğer parametreler belirlenen ideal toleranslarında kalacaktır.

Çizelge 7.7. Enjeksiyon parametreleri ve değerleri

Enjeksiyon Basıncı (bar)	600	900	1200
Enjeksiyon Süresi (s)	2	6	10
Ütüleme Basıncı (bar)	200	400	600
	300	500	700
	400	600	800
	500	700	900
	600	800	1000

7.6. Deney Sırasında Karşılaşılan Problem ve Giderilmesi İşlemi

Kaynak hattı yerinin mikroskop altında incelenmesi için belirlenen parametrelerde numuneler basılmış ve numunelerin mikroskop altında incelenmesi sırasında bağlantı mafsalı üzerinde kaynak hattı oluşumunun gözlenememesi problemi ortaya çıkmıştır. Kaynak hattının hiçbir numune de ortaya çıkmaması dikkat çekici bulunmuştur.

Problemin giderilmesinde numune hammaddesi içerisindeki katkı maddelerinin neden olabileceği üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak hammadde içerisine karıştırılmış olan ve parçaya rengini veren renk pigmentlerinin (parçacıklarının) neden olduğu tespit edilmiş ve boyanın kaynak hattı görünümünü olumsuz etkilediği

dikkat çekici bulunmuştur. Sonuç olarak içerisinde boya pigmentleri bulunmayan saf halde hammadde kullanılarak numuneler belirlenen parametrelerde tekrar üretilmiştir.

7.7. Parça Üzerindeki Kaynak Hattının İncelenmesi İşlemi

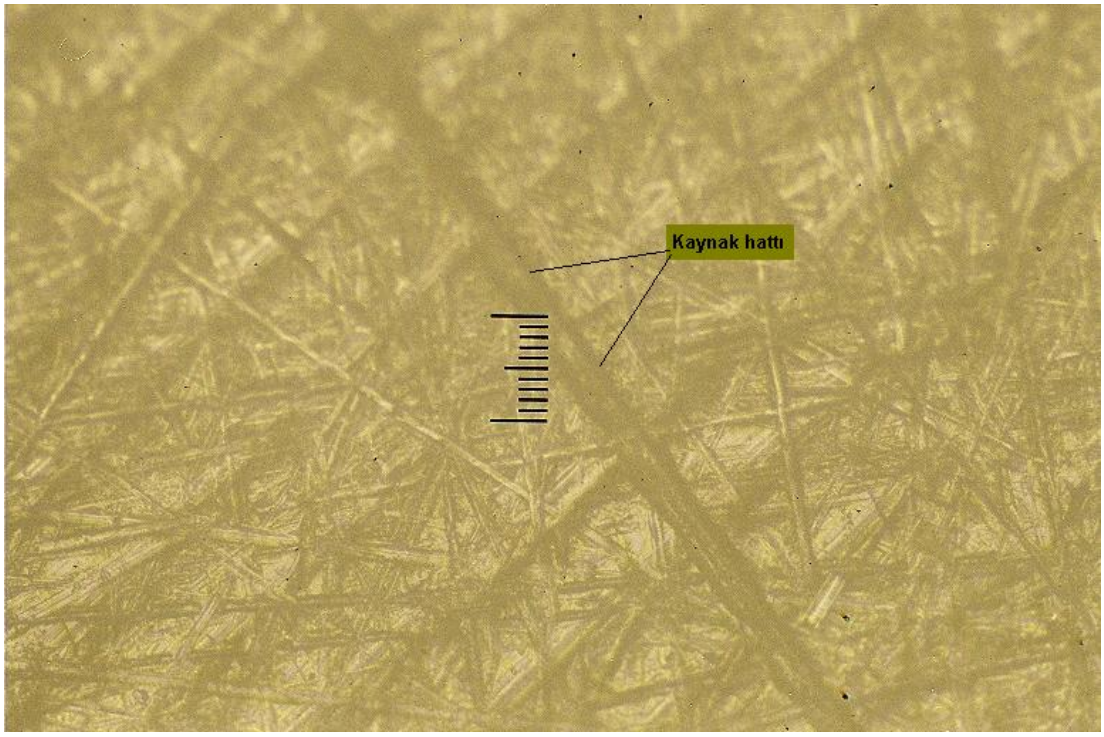
Belirlenen parametrelerde basılan numunelerde oluşan kaynak birleşimi durumları KOSGEB laboratuarlarında OLYMPUS marka mikroskop altında 100 kat büyütülerek incelenmiştir. Kaynak hattı kanal genişlik değerleri MICRO HARDNESS TESTER marka MHT2 model sertlik ölçme mikroskobu altında 200 kat büyütülerek gerçekleştirilmiştir. Burada parça üzerinde meydana gelen kaynak hatları üzerinde üç bölge seçilerek oradaki noktalardan genişlik değeri alınarak bu değerlerin ortalaması o bölge için kaynak hattı genişlik değeri olarak kabul edilmiştir.

7.7.1. Enjeksiyon basınçları, enjeksiyon süreleri ve ütüleme basınçları farklı numunelerin mikroskopla incelenmesi

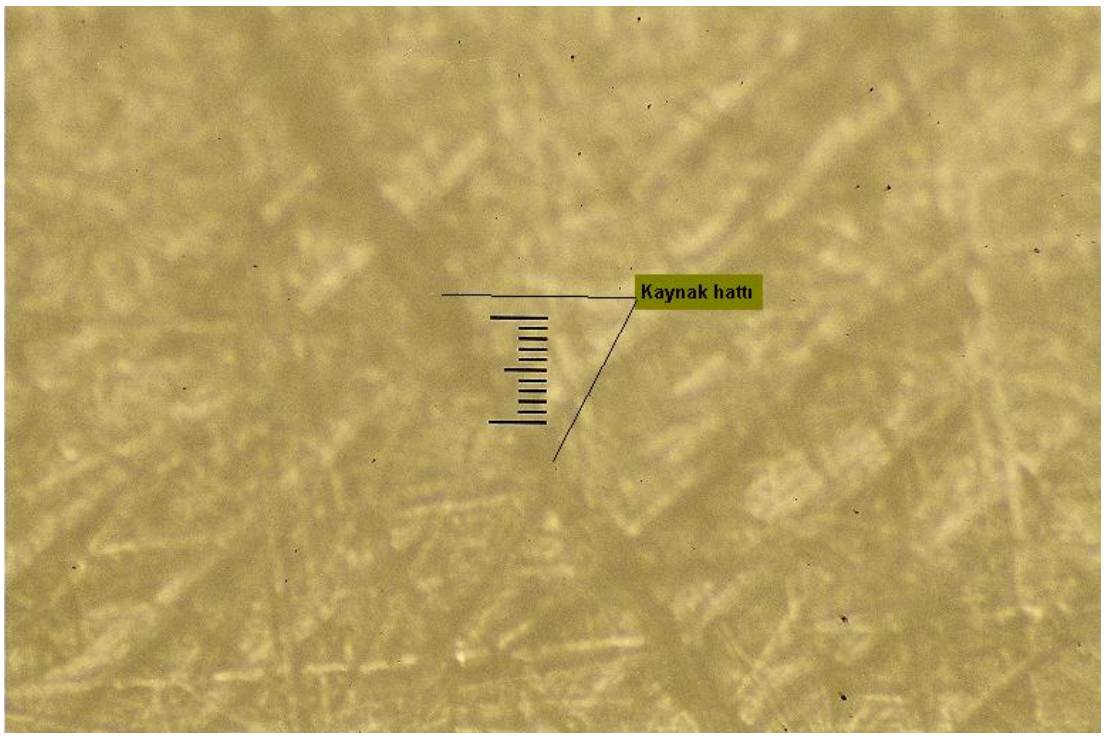
Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı farklı olarak üretilen numunelerde oluşan kaynak hattı görüntüleri şekil 7.25-7.33 arasındaki şekillerde gösterilmektedir. Belirlenen parametrelerde üretilen numune üzerinde üç bölgeden alınan kaynak hattı genişlik değerleri çizelge 7.8'de gösterilmektedir. Çizelge 7.8'i incelediğimizde elde edilen değerler sonucunda; yükseltilen enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı değerlerinin kaynak hattı görünümlerinde (kaynak hattı genişliği bakımından) olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Kaynak hattı genişlik değerlerinde azalma gözlenmekte, dolayısıyla kaynak hattı genişliğinin azalması parça dayanımının artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 7.8 Enjeksiyon basıncı, Enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı farklı olarak üretilen numunelerdeki kaynak hattı genişlik değerleri

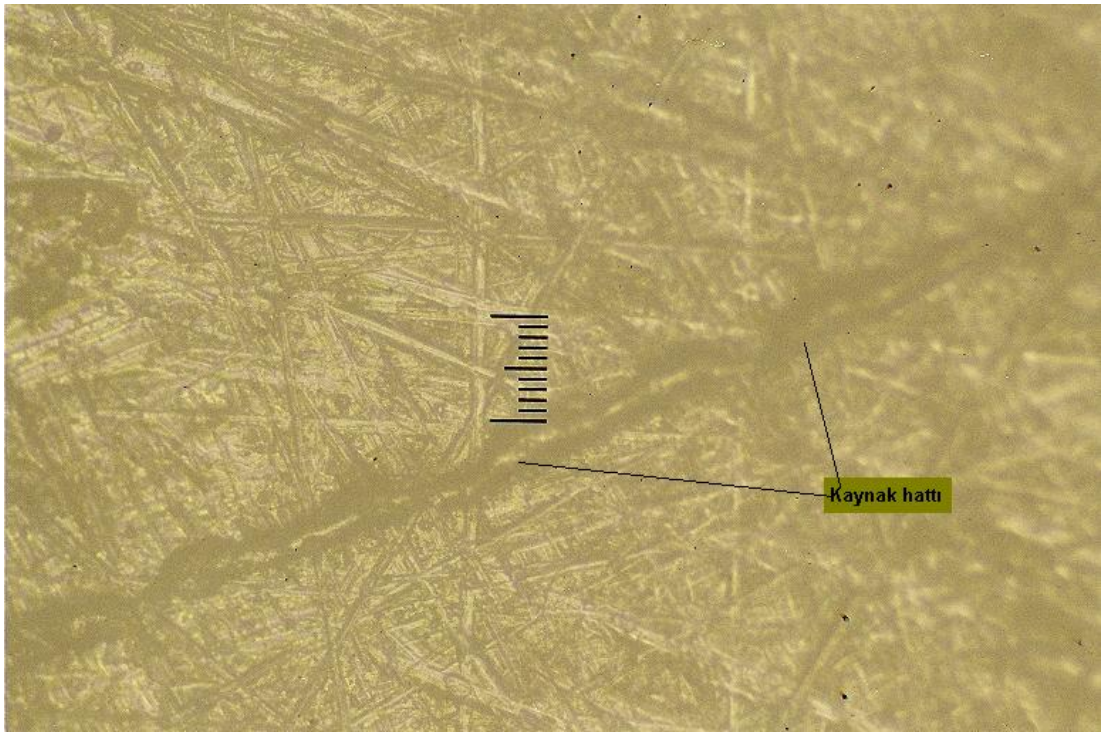
Enjeksiyon Parametreleri			Kaynak hattı genişlik değerleri ortalaması (µm)
Enjeksiyon Basıncı (bar)	Enjeksiyon Süresi (s)	Ütüleme Basıncı (bar)	
600	2	600	22.6
		800	22
		1000	16.8
	6	600	21.1
		800	18.2
		1000	17.8
	10	600	19
		800	17.1
		1000	15.7
900	2	600	11.3
		800	10.2
		1000	11.4
	6	600	11.8
		800	10.9
		1000	10.2
	10	600	20
		800	21.2
		1000	18.8
1200	2	600	11
		800	8.9
		1000	8.4
	6	600	11.8
		800	10.8
		1000	10.3
	10	600	10.1
		800	9.7
		1000	11.4



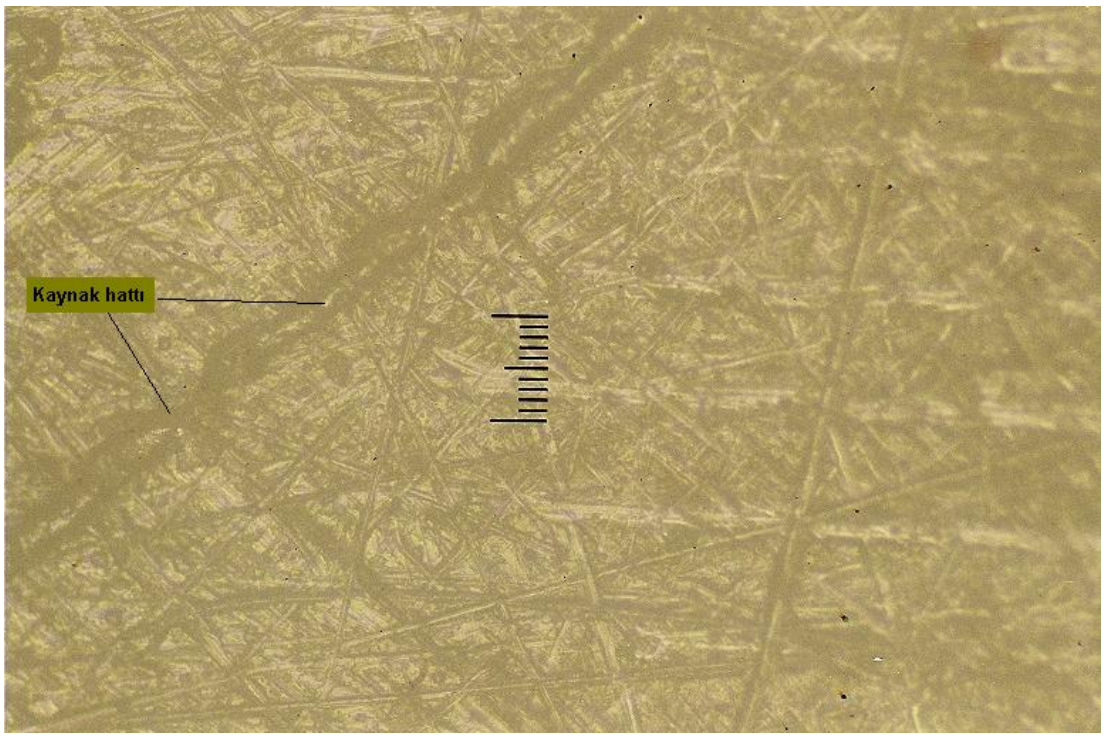
Şekil 7.25 P_e= 600 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



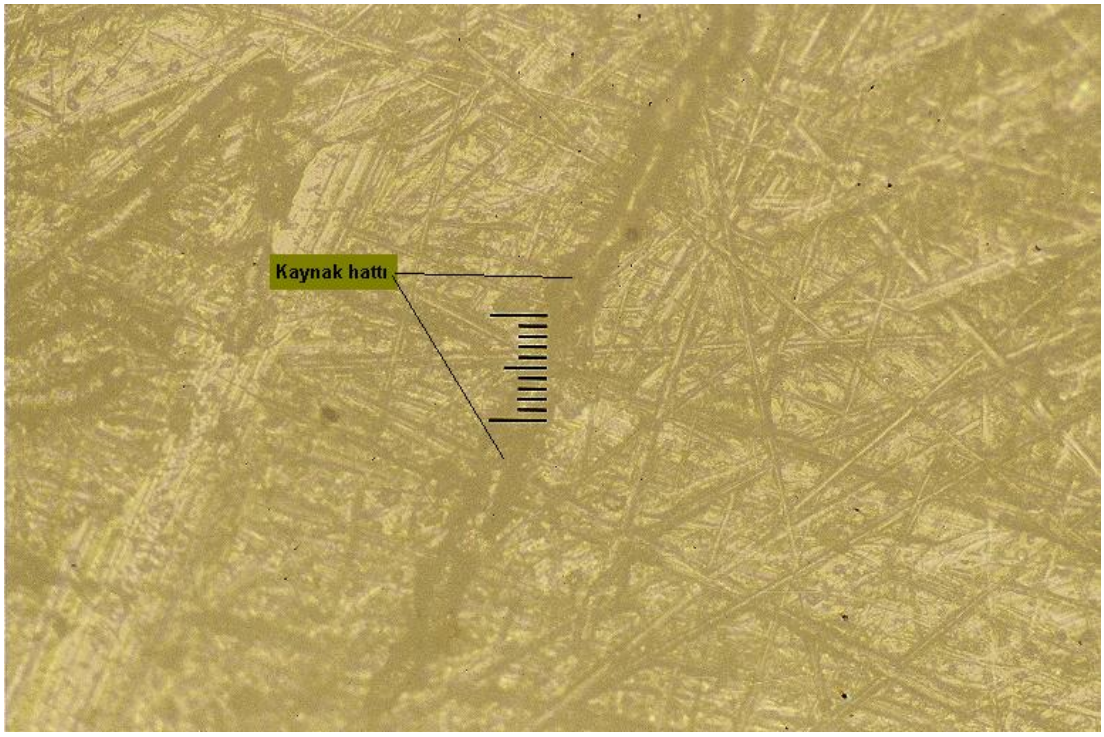
Şekil 7.26 P_e= 600 bar, t_e= 6 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



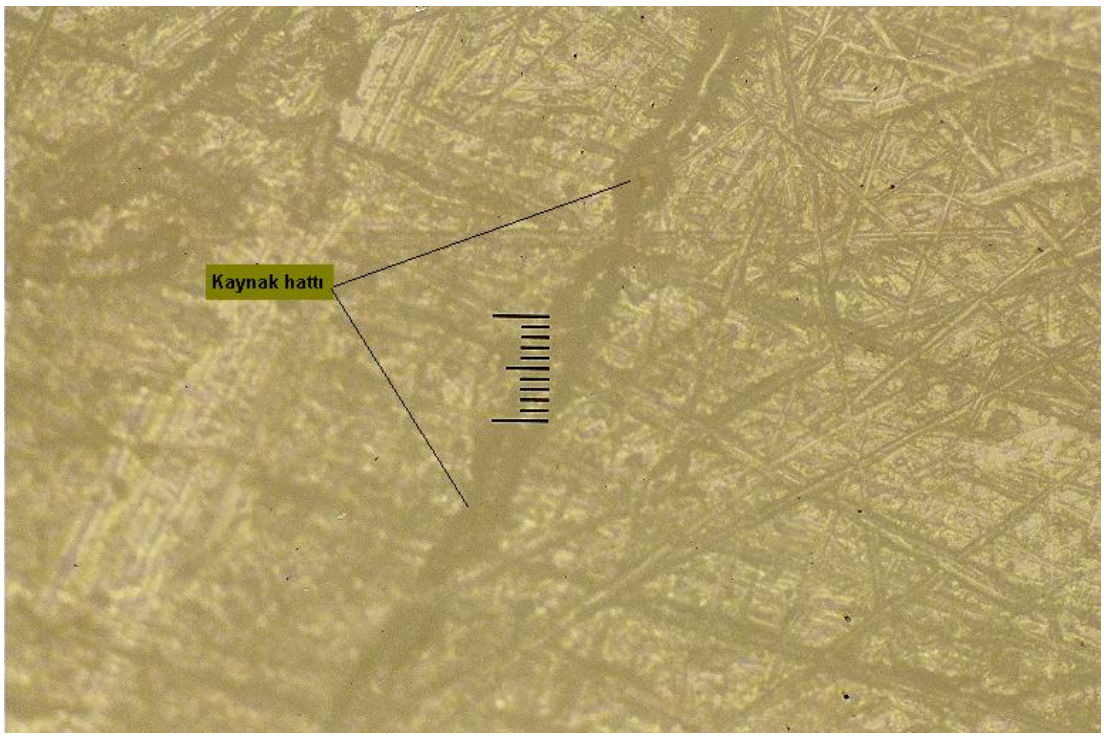
Şekil 7.27 P_e= 600 bar, t_e= 10 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



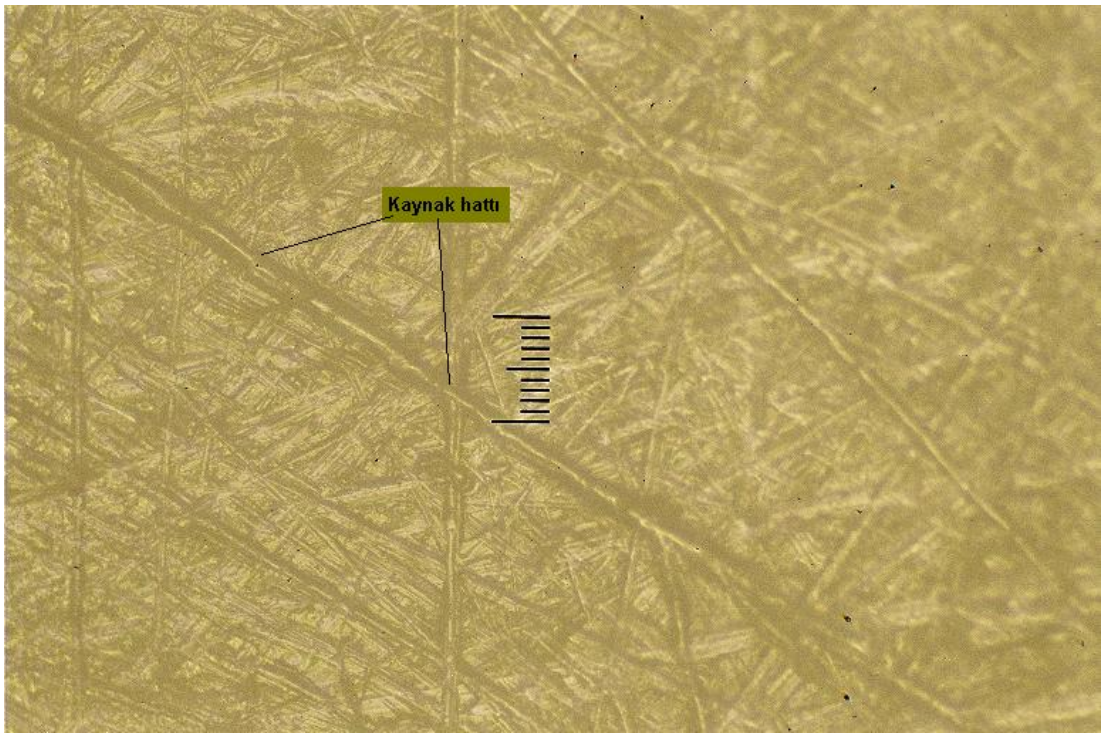
Şekil 7.28 P_e= 900 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



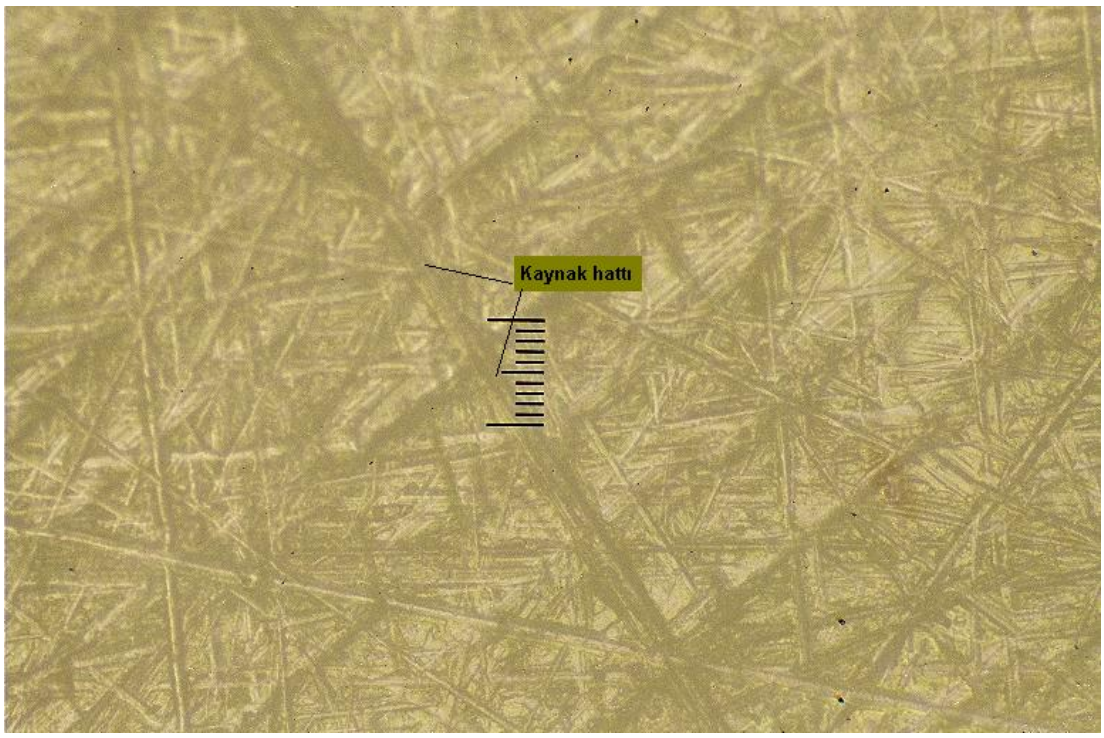
Şekil 7.29 P_e= 900 bar, t_e= 6 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



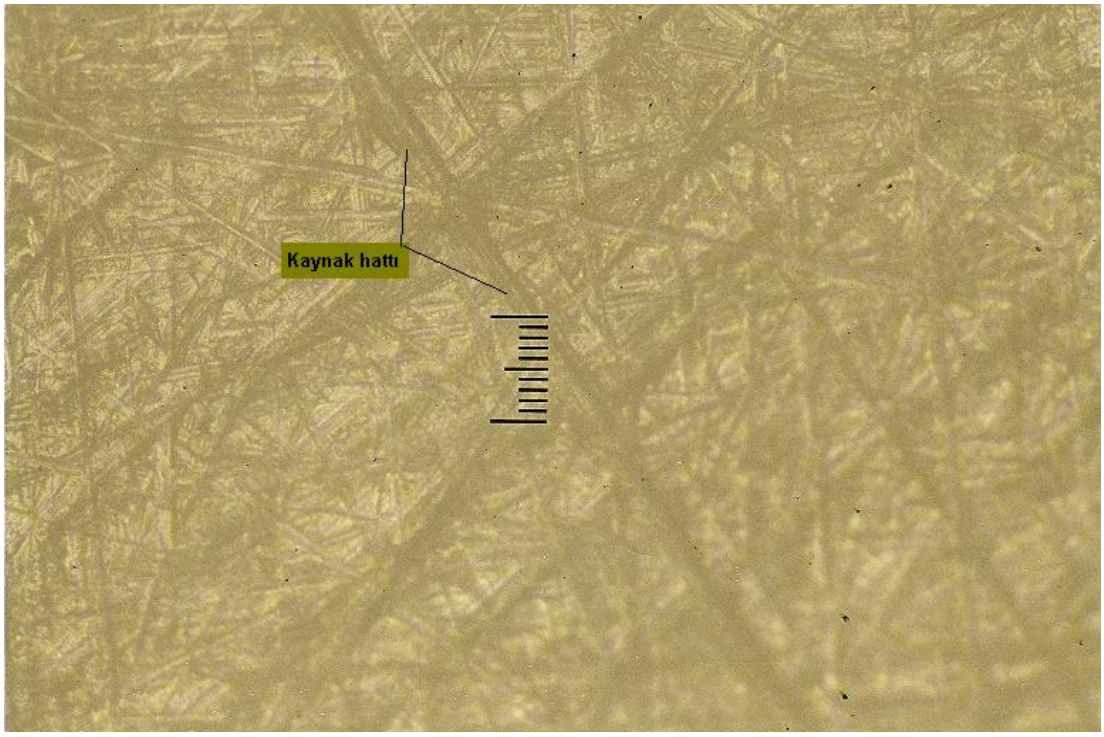
Şekil 7.30 P_e= 900 bar, t_e= 10 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



Şekil 7.31 P_e= 1200 bar, t_e= 10 s ve $P_ü$= 600 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



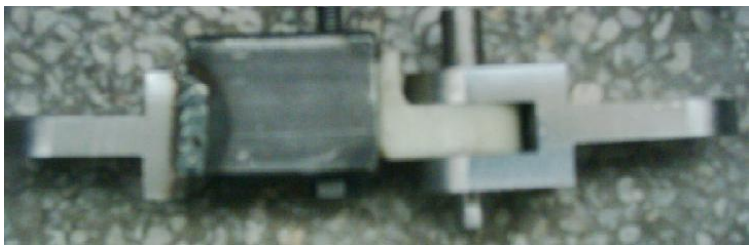
Şekil 7.32 P_e= 1200 bar, t_e= 6 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü



Şekil 7.33 P_e= 1200 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar değerlerinde üretilen numune üzerindeki kaynak hattı görünümü

7.8. Kaynak Hattı ve Oluşum Yerinin Çekme Yüküne Etkisinin İncelenmesi

Kaynak bölgesi dayanımının enjeksiyon parametreleriyle nasıl bir değişim gösterdiğini tespit etmek için bağlantı mafsalı çekme deneyine tabii tutulmuştur. Çekme deneyi işleminin gerçekleşebilmesi, bağlantı mafsalının çekme tezgâhına rahat ve güvenli bağlanabilmesi için çekme aparatı hazırlanmıştır. Şekil 7.34'de bağlantı mafsalının takılacağı çekme aparatı gösterilmektedir. Çekme Deneyi işlemleri TS 1398-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler, KOSGEB'in ölçme laboratuarlarında TESTOMETRIC MICRO 500 model, 1 sınıf (0.002 mm), en fazla 30 000 N yük uygulayabilen ve çene hızı 50 mm/dak olan cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.34 Bağlantı mafsalı çekme aparatı

Kaynak bölgesini incelemek için çizelge 7.7'de verilen değerler değiştirilerek her gruptan elde edilen 5 adet numune çekme deneyine tabii tutulmuştur. Her grup için çekme deneyi sonucu olarak 5 numunenin aritmetik ortalaması alınmıştır. Elde edilen çekme yükü sonuçları çizelge 7.9'da verilmiştir. Çekme yükü sonuçlarına göre ilgili grupların grafikleri şekil 7.35'de, şekil 7.36'da ve şekil 7.37'de sunulmuştur. Şekil 7.35-a,b,c'de t_e=2 s, t_e=6 s ve t_e=10 s için enjeksiyon basıncı- çekme yükü grafiği verilmektedir. Şekil 7.36-a,b,c'de P_e=600 bar, P_e=900 bar ve P_e=1200 bar için enjeksiyon süresi- çekme yükü grafiği verilmektedir. Şekil 7.37-a,b,c'de Ep=600 bar, Ep=900 bar ve Ep=1200 bar, t_e=2 s, t_e=6 s ve t_e=10 s için ütüleme basıncı- çekme yükü grafiği verilmektedir.

Çizelge 7.9'daki çekme deneyi sonuçlarına baktığımızda yükseltilen enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncı değerlerinin kaynak hattı dayanımı doğrudan etkilediği görülmektedir. Fakat bu parametrelerin belirlenen ideal şartlarda seçilmemesi durumunda yükseltilen değerlerinin (Enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı ve enjeksiyon süresi) kaynak bölgesi dayanımı açısından olumlu bir etki yapması söylenemez (Şekil 7.35, şekil 7.36, şekil 7.37).

Çekme deneyi esnasında polimer kompozit ürün üzerindeki kopmalar genellikle kaynak bölgesinden veya bu bölgelere yakın yerlerden meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 7.38). Şekil 7.38'de P_e=600 bar, P_e= 900 bar ve P_e= 1200 bar olarak üretilen numunelerdeki çekme deneyi sonrası kopan kısımları görülmektedir.



Şekil 7.38 Çekme deneyi sonrası kopan numuneler a) P_e=600 bar olan numuneler b) P_e= 900 bar olan numuneler c) P_e= 1200 bar olan numuneler

Şekil 7.35- 7.36 a,b ve c'ye baktığımızda enjeksiyon basıncının ve enjeksiyon süresinin artmasıyla kaynak hattı çekme dayanımın arttığı ortaya çıkmaktadır. Enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon süresinin ters orantılı olması bu dayanımın sonucunu etkilemektedir. Enjeksiyon basıncın yüksek seçilmesi durumunda enjeksiyon süresinin düşük seçilmesi veya düşük enjeksiyon basıncı altında enjeksiyon süresinin yüksek seçilmesi kaynak bölgesi dayanımını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca düşük enjeksiyon basınçları altında parça içerisinde hava boşluklarının fazla olmasına sebep olmaktadır. Parça içerisindeki boşluklar düşük enjeksiyon basıncı altında atılmamakta ve dolayısıyla parça dayanımı azaltmaktadır.

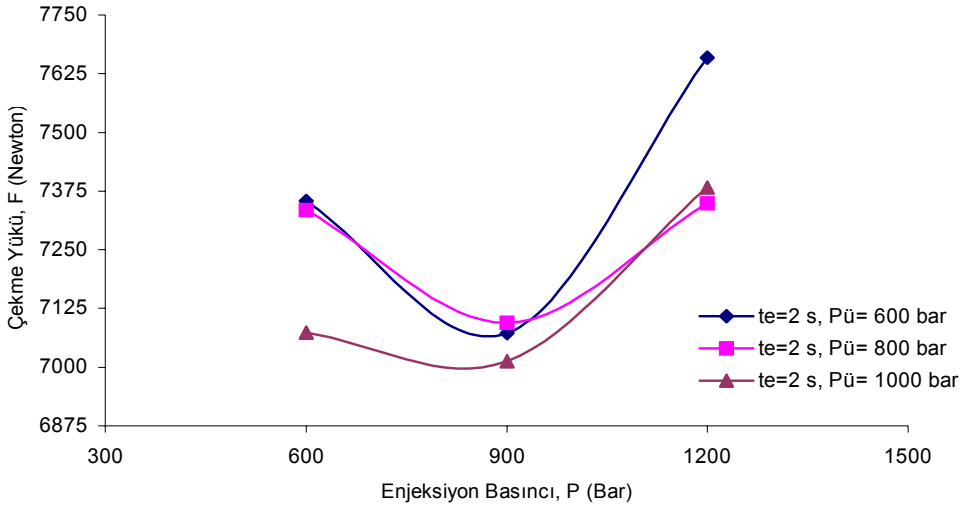
Ayrıca enjeksiyon süresinin çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olmaktadır. Çok uzun enjeksiyon süresi ise, kalıp duvarına yakın eriğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur.

Şekil 7.37 a,b ve c'ye baktığımızda yükseltilen ütüleme basıncı değerlerinin polimer kompozit parça üzerinde diğer parametrelere bağlı olarak kaynak hattı dayanımını olumlu etkilediği gözlenmektedir. Diğer parametrelerin istenilen değerlerde seçilmemesi durumunda yükseltilen ütüleme basıncının üretilen parça üzerinde etkisi olumsuzdur. Eğer enjeksiyon basıncı değeri 600 bar ve enjeksiyon süresi değeri 10 s olarak seçilirse, enjeksiyon basıncı değeri 900 bar ve enjeksiyon süresi değeri 6 s olarak seçilmesi durumunda veya enjeksiyon basıncı değeri 1200 bar ve enjeksiyon süresi değeri 6 s olarak seçildiğinde, yükseltilen ütüleme basıncının kaynak hattı dayanımı üzerinde etkisi olumlu olduğu aksi durumlarda olumsuz etkilediği ortaya çıkmaktadır.

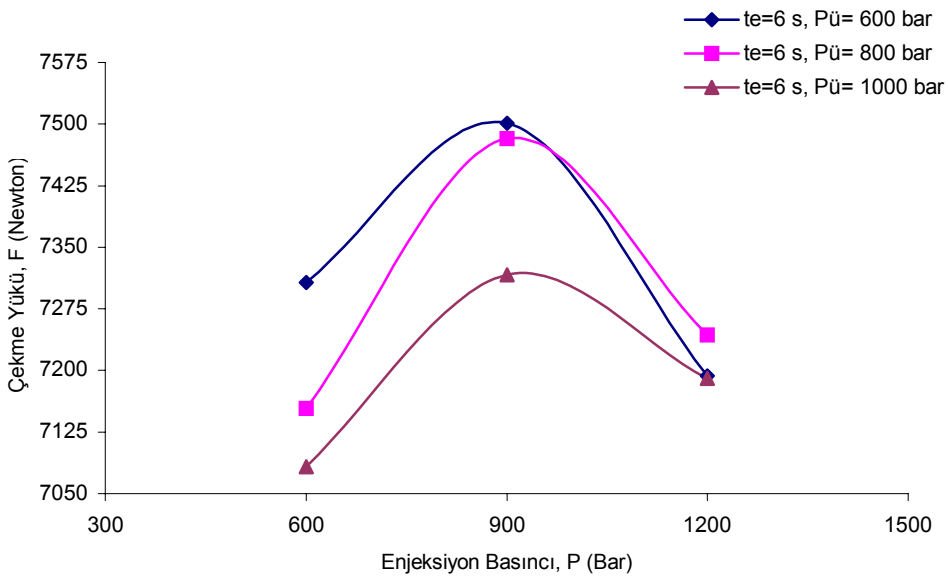
Çizelge 7.9 Çekme deneyi sonuçları

Enjeksiyon Parametreleri			Çekme Yükü Sonuçları (ort.) Newton
Enjeksiyon Basıncı (bar)	Enjeksiyon Süresi (s)	Ütüleme Basıncı (bar)	
600	2	600	7353.9
		800	7334.6
		1000	7073.9
	6	600	7307.4
		800	7243.2
		1000	7083
	10	600	7408.9
		800	7249.3
		1000	7405.9
900	2	600	7072.7
		800	7348.8
		1000	7012.9
	6	600	7500.7
		800	7153.5
		1000	7316.2
	10	600	7322.1
		800	7395.6
		1000	7193.4
1200	2	600	7659.2
		800	7094.2
		1000	7383.1
	6	600	7193.2
		800	7482.5
		1000	7190.5
	10	600	7079
		800	7152.8
		1000	6869.8

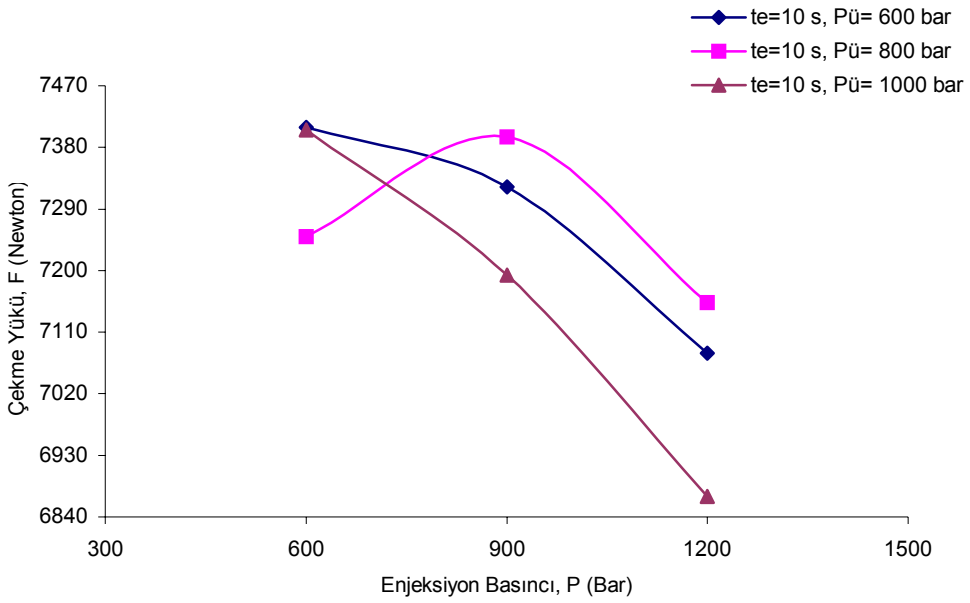
Yukarıdaki çekme deneyi sonuçları ve grafikleri incelediğimizde cam elyaf takviyeli polimer kompozit bağlantı mafsalı için tercih edilebilecek ideal enjeksiyon şartlarından; enjeksiyon basıncının (P_e) 1200 bar, enjeksiyon süresinin (t_e) 2 s, ütüleme basıncının ($P_ü$) 1000 bar olarak seçilmesi, kaynak hattı dayanımını arttırmaktadır.


7750
7625
7500
7375
7250
7125
7000
6875
Çekme Yükü, F (Newton)
300
600
900
1200
1500
Enjeksiyon Basıncı, P (Bar)
te=2 s, Pü= 600 bar
te=2 s, Pü= 800 bar
te=2 s, Pü= 1000 bar

a)

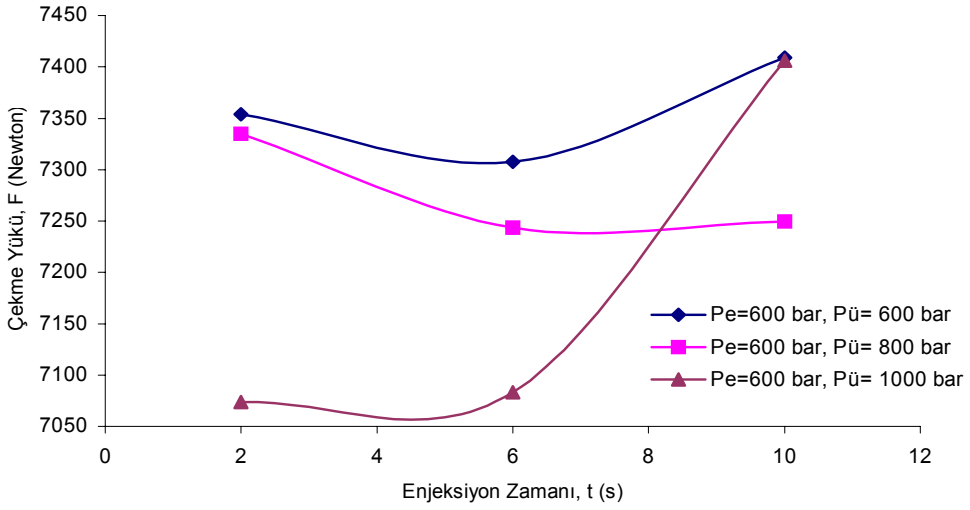

7575
7500
7425
7350
7275
7200
7125
7050
Çekme Yükü, F (Newton)
300
600
900
1200
1500
Enjeksiyon Basıncı, P (Bar)
te=6 s, Pü= 600 bar
te=6 s, Pü= 800 bar
te=6 s, Pü= 1000 bar

b)

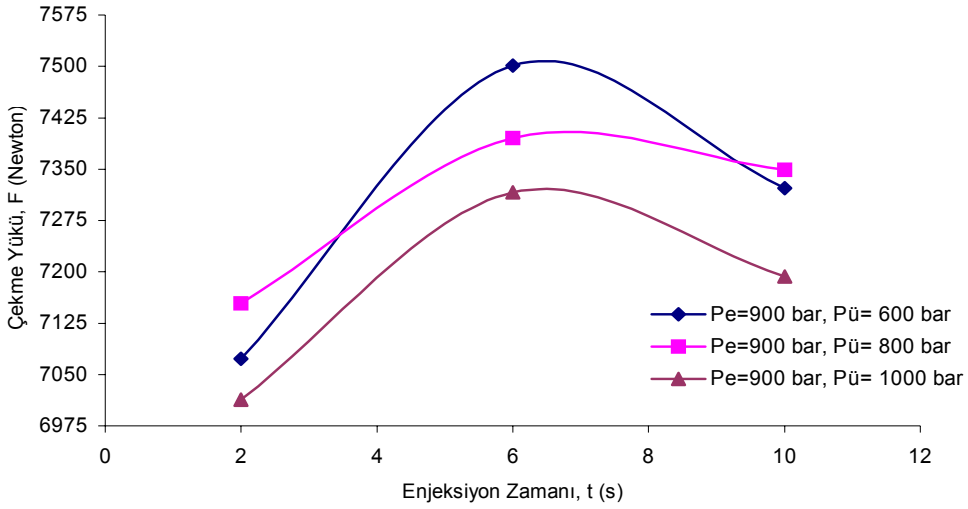


c)

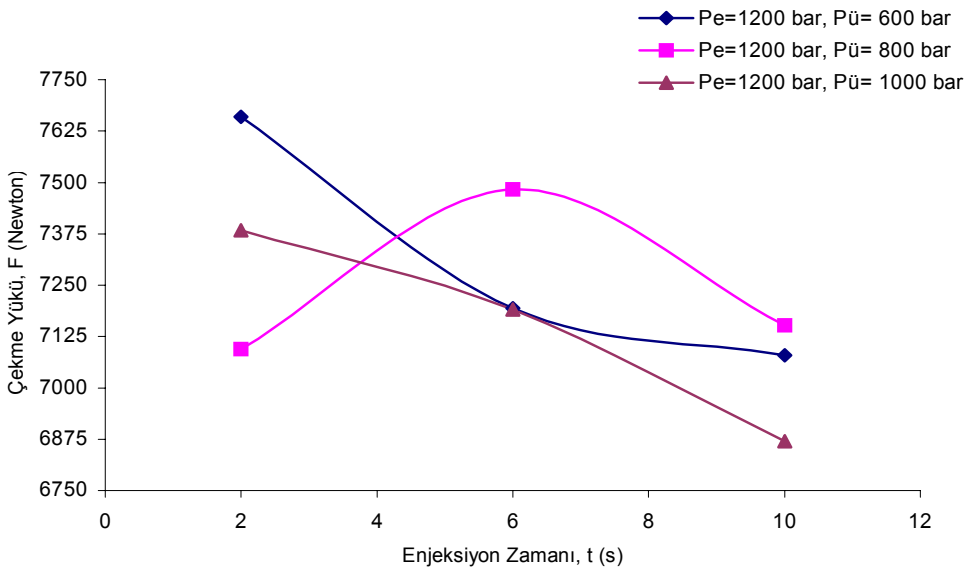
Şekil 7.35 Enjeksiyon basıncı – çekme yükü grafikleri ($P_ü$= 600 bar, $P_ü$= 800 bar, $P_ü$= 1000 bar için,) a) t_e= 2 s, b) t_e= 6 s, c) t_e= 10 s



a)

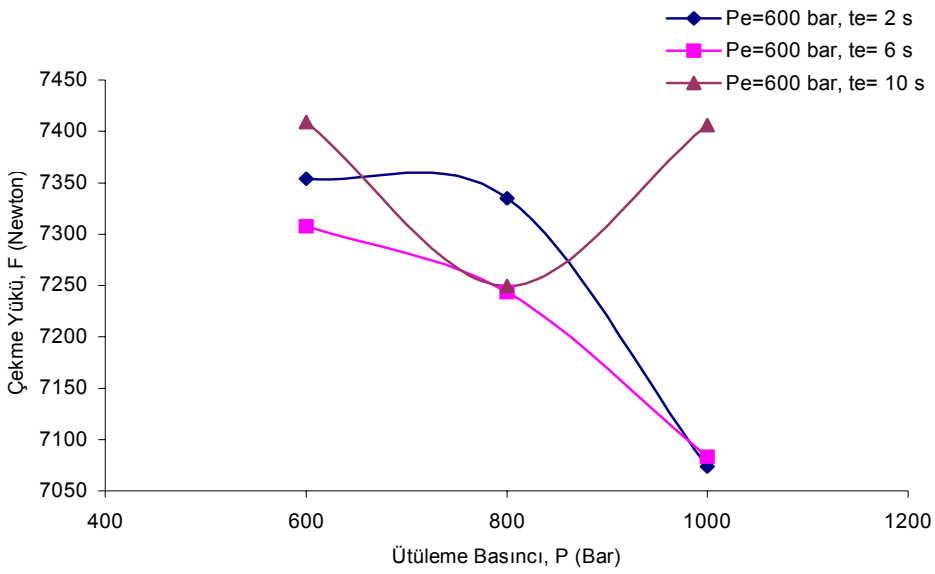


b)

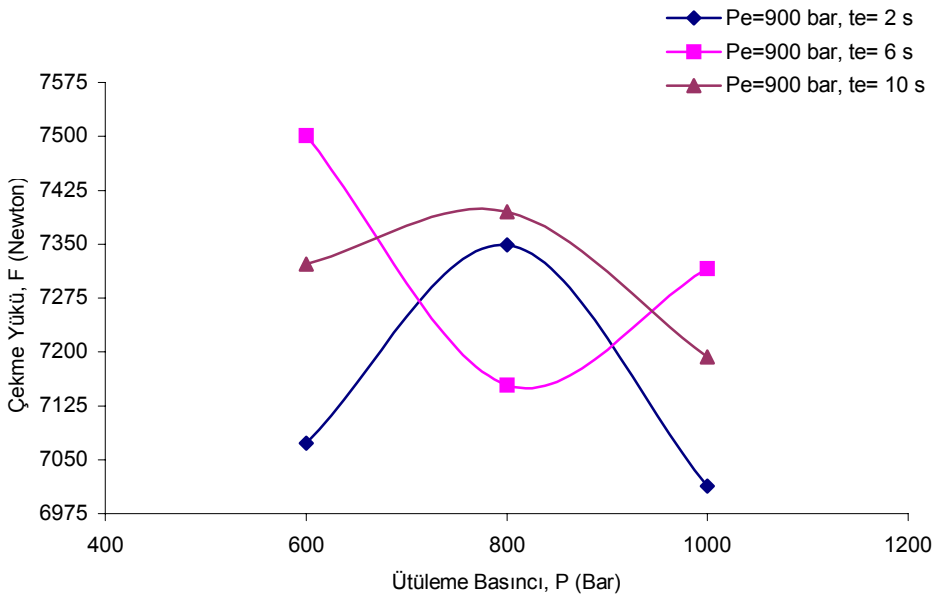


c)

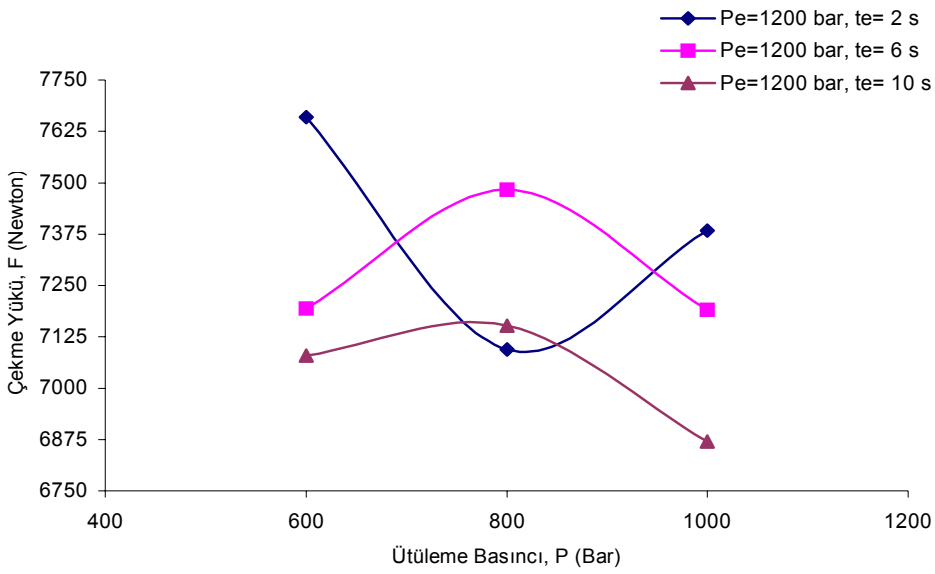
Şekil 7.36 Enjeksiyon süresi – çekme yükü grafikleri ($P_ü$= 600 bar, $P_ü$= 800 bar, $P_ü$= 1000 bar için,) a) P_e= 600 bar, b) P_e= 900 bar, c) P_e= 1200 bar


Pe=600 bar, te= 2 s
Pe=600 bar, te= 6 s
Pe=600 bar, te= 10 s
7450
7400
7350
7300
7250
7200
7150
7100
7050
Çekme Yükü, F (Newton)
400
600
800
1000
1200
Ütüleme Basıncı, P (Bar)

a)


Pe=900 bar, te= 2 s
Pe=900 bar, te= 6 s
Pe=900 bar, te= 10 s
7575
7500
7425
7350
7275
7200
7125
7050
6975
Çekme Yükü, F (Newton)
400
600
800
1000
1200
Ütüleme Basıncı, P (Bar)

b)



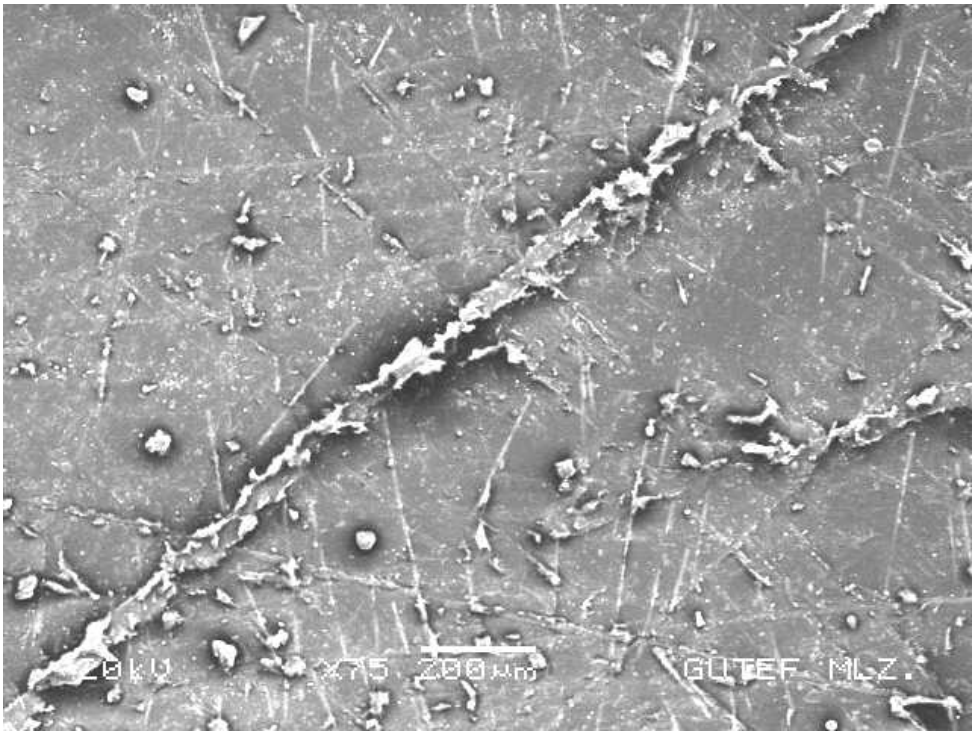
c)

Şekil 7.37 Ütüleme basıncı – çekme yükü grafikleri ($t_ü$= 2 s, $t_ü$= 6 s, $t_ü$= 10 s için,)
a) P_e= 600 bar, b) P_e= 900 bar, c) P_e= 1200 bar

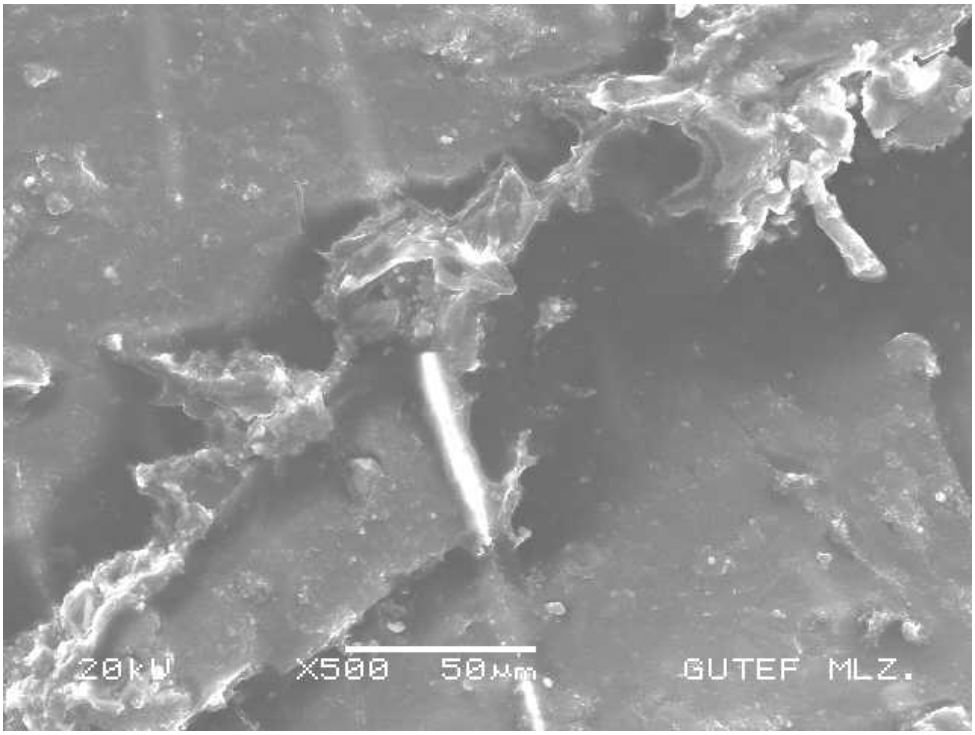
7.9. Kaynak Hattı Bölgesinin SEM Görüntüleri

Enjeksiyon parametrelerinin değiştirilmesiyle üretilen çeşitli numunelerin kaynak hatları tespit edilerek, o bölge kesilerek SEM görüntülerine bakılmıştır. SEM görüntüleri Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalürji bölümü laboratuarlarında JEOL marka JSM-6060LV model elektron mikroskobu ile taranmıştır. SEM görüntüsü alma aşamalarının zor olması, sürecin uzun ve pahalı olması nedeniyle deney numunelerinden sadece birkaç tanesinin bakılmasına imkân vermiştir.

Üretilen numunelerden enjeksiyon basıncı değerinin kaynak hattı üzerindeki yapmış olduğu etkiyi görmek üzere diğer enjeksiyon parametrelerinin hepsi sabit tutulmuş (t_e = 2 s, $P_ü$ = 1000 bar) ve 600 bar, 900 bar ve 1200 bar olarak üretilen numuneler incelenmiştir. Şekil 7.39, şekil 7.40 ve şekil 7.41'de bu görüntüler verilmektedir.

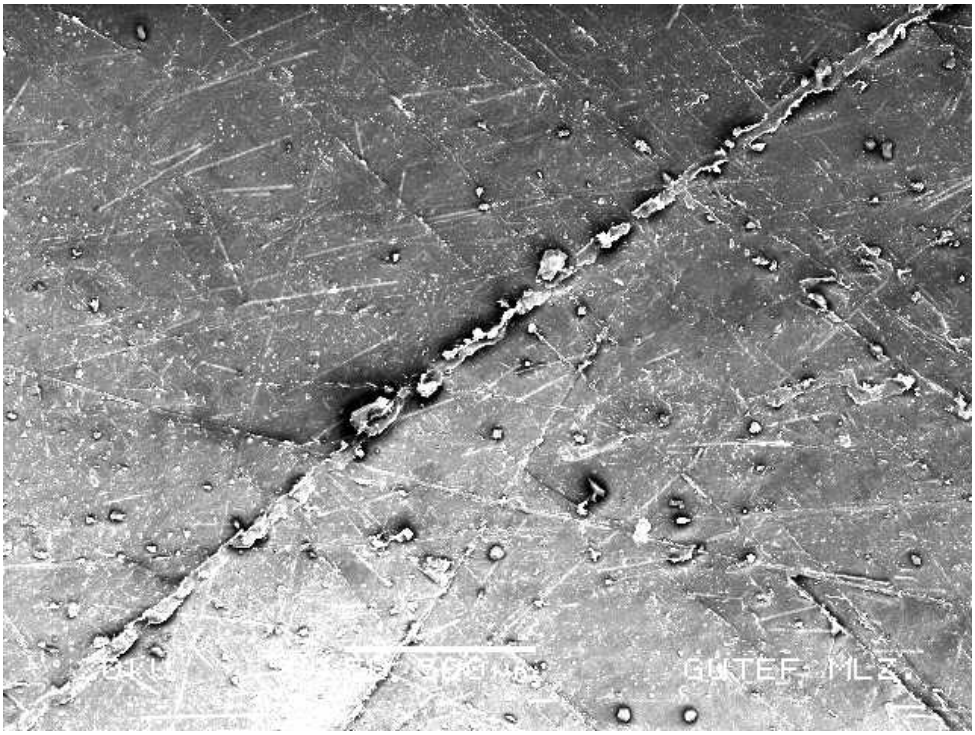


a)

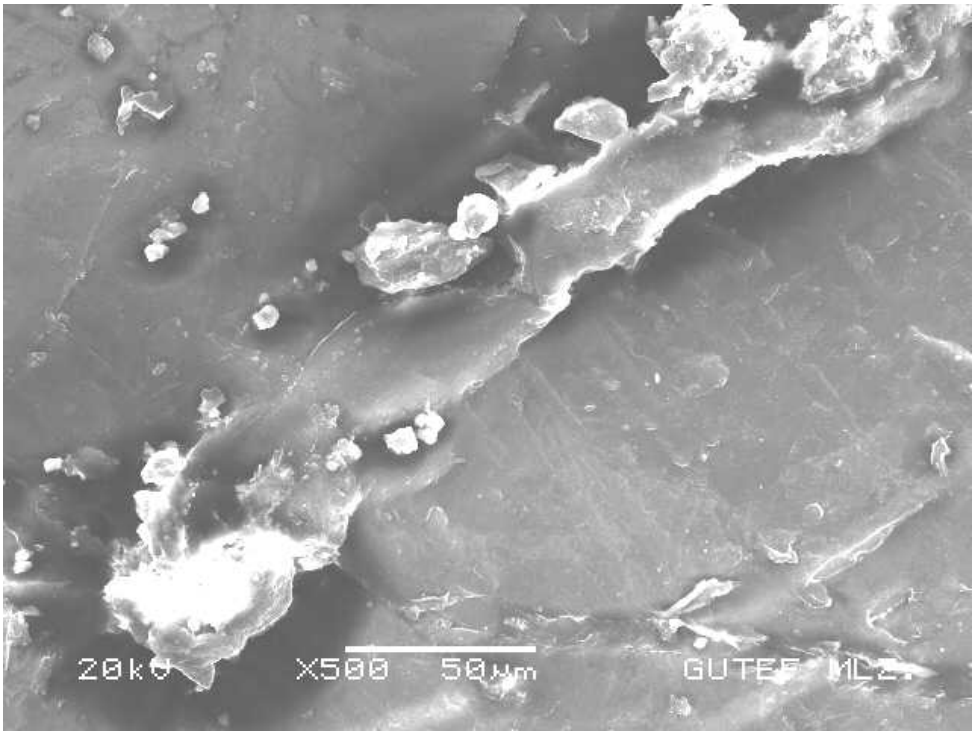


b)

Şekil 7.39 P_e= 600 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar olarak üretilen numunedeki a) 50 kat büyütülmüş b) 500 kat büyütülmüş kaynak hattı SEM görüntüleri



a)

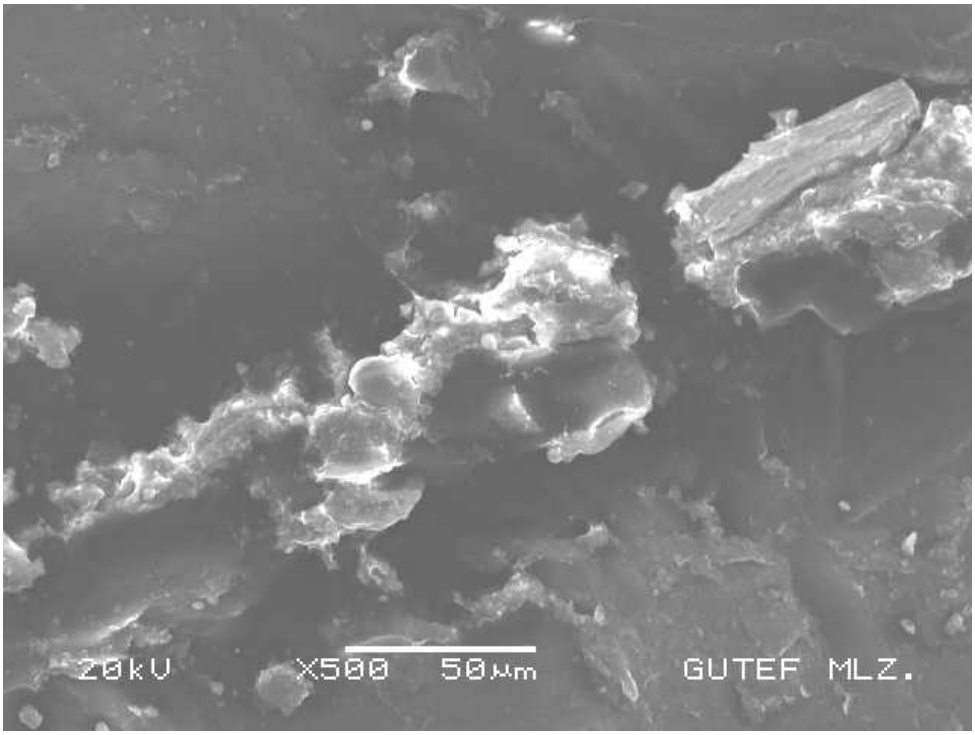


b)

Şekil 7.40 P_e= 900 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar olarak üretilen numunedeki a) 50 kat büyütülmüş b) 500 kat büyütülmüş kaynak hattı SEM görüntüleri



a)



b)

Şekil 7.41 P_e= 1200 bar, t_e= 2 s ve $P_ü$= 1000 bar olarak üretilen numunedeki a) 50 kat büyütülmüş b) 500 kat büyütülmüş kaynak hattı SEM görüntüleri

7.10. Yakma Deneyi

Numune içerisindeki elyafların hacimsel oranlarını değerlendirmek için üretilen numuneler ASTM-D2584'e uygun olarak yakma deneyleri yapıldı. Yakma deneyinde SPIRO-THERM MCENGLEVAN marka HTE 88 model elektrik fırınında gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen parametrelerde üretilmiş olan numunelerden, kaynak hattının bulunduğu yerden yaklaşık 1cm kesilerek, daha sonra numune dik olarak katmanlara ayrılarak 3 er adet numune kesildi. Şekil 7.44'de yakma deneyine tabi tutulan numuneler gösterilmektedir. Kesilen bu numuneler hassas terazide tartılarak ağırlıkları kaydedildi. Daha sonra bu numuneler, 450 °C sıcaklığında bir fırında, hiç reçine kalmayıncaya kadar reçineleri tamamen yakıldı. Kalan reçinesiz cam elyaflar yeniden tartıldı (Şekil 7.42). Böylece cam elyaf ve reçine ağırlıkları tespit edilmiştir. Çizelge 7.10'da polimer kompozit numune içerisindeki elyafların hacimsel oranları verilmektedir.



Şekil 7.42 Polimer kompozit numunenin yakma sonrası fotoğrafı

Yakma deneyi sonrası polimer kompozit numunede enjeksiyonla üretimi sırasında numune içerisindeki elyafların, enjeksiyon parametreleri ve kalıp içerisindeki akışa bağlı olarak kırılmalara neden olduğu ve böylece boylarında bir kısalmanın olduğu gözlenmiştir. Şekil 7.43'de polimer kompozit numunede kullanılan cam elyaf takviyeli polyamid malzeme, aynı ortam şartlarında içerisinde hiç reçine kalmayıncaya kadar reçineleri tamamen yakıldı. Şekil 7.43'ye baktığımızda boncuk haldeki malzeme içerisindeki elyaflar hiçbir şekilde dağılmamakta ve boylarında fazla bir kısalmanın olduğu gözlenmemiştir.

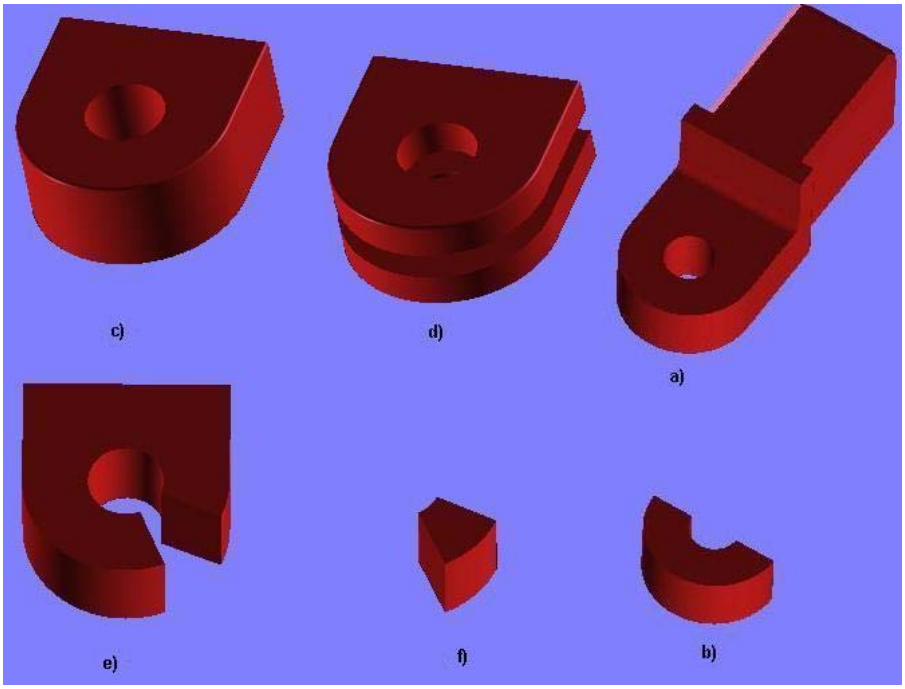


Şekil 7.43 Cam elyaf takviyeli polyamid malzemenin yakma sonrası fotoğrafı

Çizelge 7.10'a baktığımızda üretilen numunelerden alınan kesitler ve bunların yakma deneyi sonucundaki numune içerisindeki elyaf hacimleri oranında herhangi bir değişiklik olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 7.10 Polimer kompozit numune içerisindeki cam elyafların hacimsel oranları

Kompozit Polimer Numune İçerisindeki Cam Elyafların Hacimsel Oranları			
İlk Ağırlığı (g)	Son Ağırlığı (g)	Hacimsel Oranı (%)	Şekil Numarası
55.15	16.34	29.63	Şekil 7.38-a
7	2.05	29.3	Şekil 7.38-b
7	2.11	30.1	
7	2.17	31.1	
12	3.36	28	Şekil 7.39-e
12	3.56	29.4	
12	3.61	30.1	
2	0.59	29.5	Şekil 7.39-f
2	0.61	30.5	
2	0.62	31	
5	1.5	30	Şekil 7.39-d
5	1.53	30.6	
5	1.48	29.6	
10	2.94	29.4	Şekil 7.39-e
10	2.99	29.9	
10	2.96	29.6	



Şekil 7.44 a) Bağlantı mafsalı numunesi b) Kesilmiş numune c) Uç kısmı kesilmiş numune d)Dik olarak katman halinde kesilmiş numune e) Kaynak hattı bölgesi dışında kalan kesilmiş numune f) Kaynak hattı bölgesine eşit olarak kesit alınmış numune

8. TARTIŞMA

Plastik enjeksiyon işlemi sonucu elde edilen polimer kompozit ürünlerde bazen kaçınılmaz olarak hatalar oluşabilmektedir. Oluşan bu hatalar geri dönüşü imkânsız sonuçlar ve maliyetler getirmektedir. Ancak, bu hataların kabul edilebileceği ürünle ilgili özelliklerin belirlenmesi gerekir. Hataların kaynaklarının bilinmesi oluşan bozuklukların gerek performans gerekse görüntü ve ekonomiklik yönünden değerlendirilmesi yapılmalıdır. Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçaların istenilen kalite ve özellikte olabilmesi için kalıp tasarımcısına büyük ölçüde sorumluluklar düşmektedir. Tasarımcı meydana gelebilecek her olumsuz ihtimali göz önünde bulundurmalıdır. Üretimi yapılacak polimer kompozit ürünün özeliklerinin ve kullanım yerlerinin bilinmesi, bu doğrultuda ürüne göre kullanılacak malzeme cinsinin belirlenmesi, kalıp imalatı açısından önemlidir.

Böylece, polimer kompozit parçaların üretimi esnasında malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı meydana gelebilecek hataların giderilmesinde önceden önlem alınmasına yardımcı olacaktır. Üretimde oluşan hatalar sadece kalıba bağlı olmakla kalmayıp enjeksiyon parametrelerinde etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Parametrelerin ideal şartlarda olması, ürün üzerinde oluşabilecek hataların ortadan kaldırılmasına ve hatta azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon yöntemiyle kalıplanan polimer kompozit ürünlerde oluşması kaçınılmaz olan kaynak hattının enjeksiyon parametreleriyle nasıl bir değişim gösterdiği incelenmiştir. Polimer kompozit ürün, CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım), CAE (Bilgisayar Destekli Analiz) yardımıyla tasarım aşaması ve üretim aşaması olmak üzere iki aşamada oluşturulmuş ve incelenmiştir. Bu çalışmada çok fazla kullanım alanına sahip olan bağlantı mafsalı ele alınmıştır. Bağlantı mafsalının katı modelini oluşturma işlemi ve kalıp tasarımı işlemi Unigraphics yazılım programında gerçekleştirilmiştir. Polimer kompozit parçanın akış analizi işleminde MOLDFLOW akış analizi programı kullanılmıştır. Üretim aşaması işleminde pilot çalışma ile parçanın üretilebileceği sınır enjeksiyon parametreleri değerleri belirlenmiştir. Kullanılmakta olan ARBURG marka plastik enjeksiyon tezgah üzerinde belirlenen değerlerin sağlıklı ayarlarının yapılabilmesi, enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncının

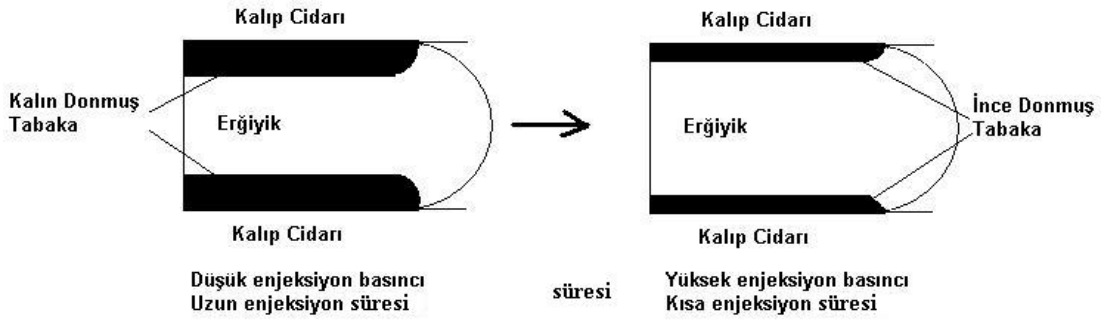
kaynak hattı üzerinde etkilerini gözlemlemek amacıyla numunelerin üretilmesi ve numunelerin test edilmesi süreci gerçekleştirilmiştir.

Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen polimer parçalarda meydana gelen görünüm ve mukavemetini büyük ölçüde etkileyen plastik enjeksiyon hatalarından kaynak hattı probleminin incelenmesi sonucunda, deney sonuçları ve MOLDFLOW analiz sonuçları çizelge 8.1'de verilmektedir. Çizelge 8.1'e baktığımızda hemen hemen deney sonuçları ile MOLDFLOW analiz sonuçlarının aynı olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 8.1. Deneysel çalışma ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması

	Deney Sonuçları	MOLDFLOW Sonuçları
Enjeksiyon Basıncı (MPa)	90	85
Enjeksiyon Süresi (s)	6	7.24
Kalıp açma-itme-kapama (s)	5	5
Kapama Kuvveti (ton)	90	80
Soğuma Süresi (s)	17	15
Çevrim Süresi (s)	35	37.54
Kaynak Hattı Yeri	Aynı yerde ve düz bir hat olarak gözükmektedir.	Aynı yerde ve düz bir hat olarak gözükmektedir.

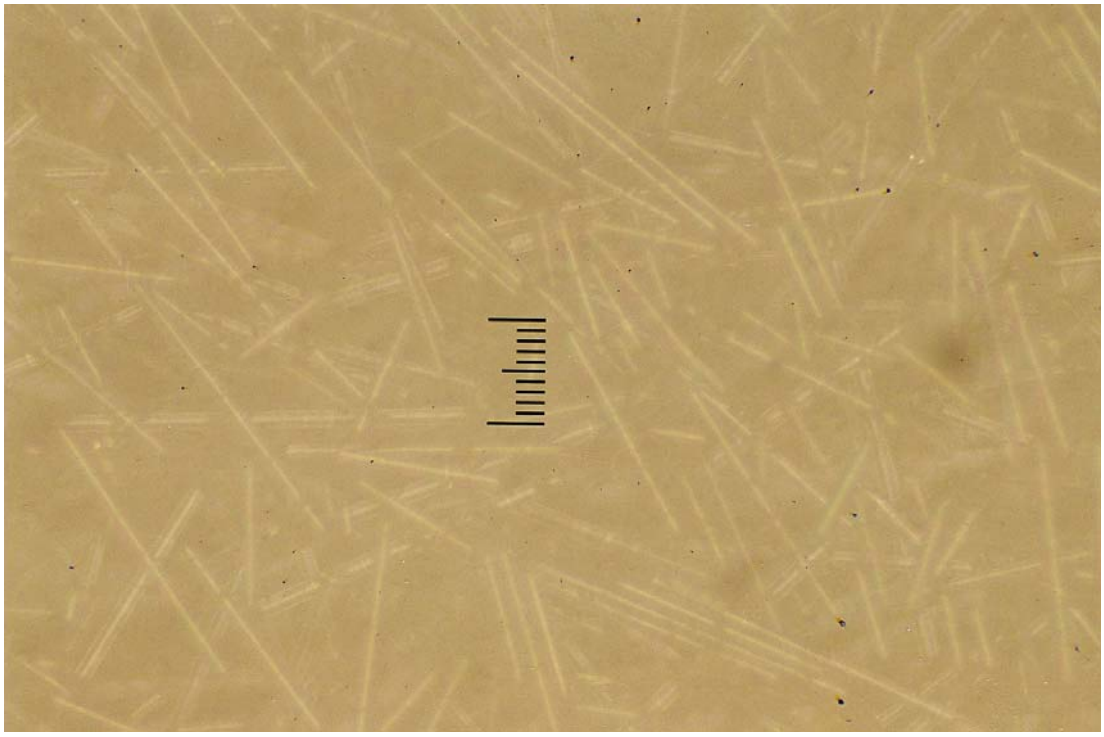
Kaynak hattı dayanımının enjeksiyon parametreleri ile değişimini incelemek için yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre; enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncının kaynak hattı dayanımını büyük ölçüde etkilediği ortaya çıkmıştır (Şekil 7.35- Şekil 7.37). Enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon süresi arasında bir ilişkinin olduğu dikkate alınarak, enjeksiyon kalıplama sırasında en ideal şartlarda seçilmesi bir çok problemin çözümlenmesinde çalışana yol gösterecektir. Çünkü; enjeksiyon süresinin kısa tutulması durumunda birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olmaktadır. Çok uzun enjeksiyon süresi ise, kalıp duvarına yakın eriğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur (Şekil 8.1). Şekil 8,1'de Pe ile te arasındaki ilişki verilmektedir.



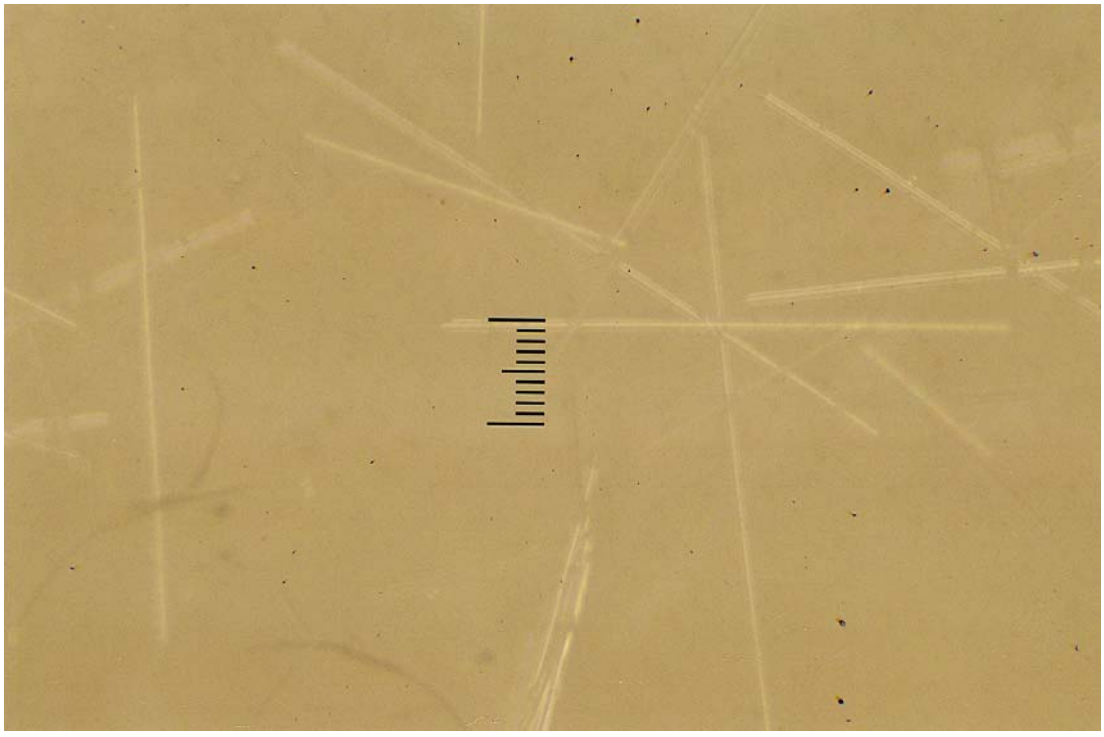
Şekil 8.1 P_e-t_e arasındaki ilişki

Çıkan ürünün iyi kalitede olmasının şartlarından biri de kalıp içerisindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulmasıdır. Eğer enjeksiyon süresi kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olabilir. Yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme, sıcaklığını artırır. Enjeksiyon süresi uzun tutulursa da tam tersi meydana gelir, akış çizgisinin uç noktasının sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Halbuki burada istenilen en ideal durum enjeksiyon sıcaklığı ile malzeme akış çizgisinin uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması boyutsal kararlılığı açısından önemli olmakta, bunu da ancak ortalama bir enjeksiyon süresinin olduğu bilinmelidir.

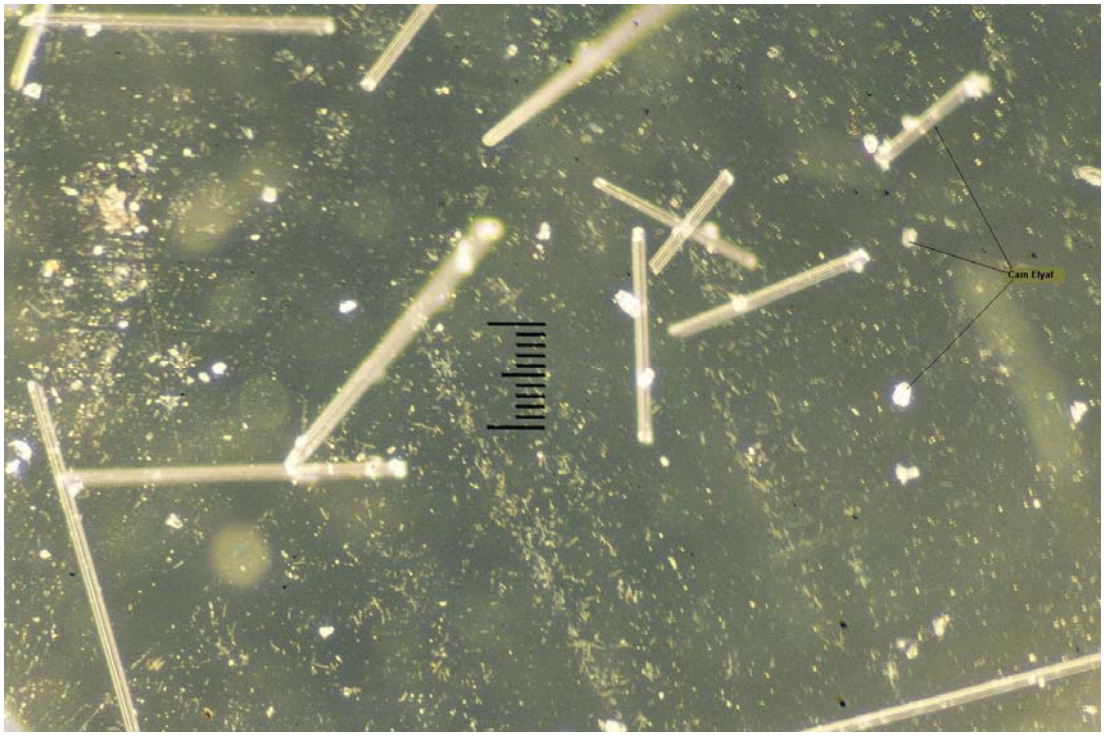
Cam elyaf takviyeli polimer kompozit numune içerisindeki elyafların hacimsel oranlarını değerlendirmek için belirlenen şartlarda üretilen numuneler yakma deneyine tabi tutularak elyafları hacimsel oranlarında değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak enjeksiyon sonrası elyaflarda sıcaklık ve basıncın etkisi altında cam elyaf hasarı oluşması ve cam elyaf boylarında bir kısalmanın olduğu ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.2–8.6 arasında enjeksiyon öncesi ve enjeksiyon sonrası cam elyaflar gösterilmektedir.



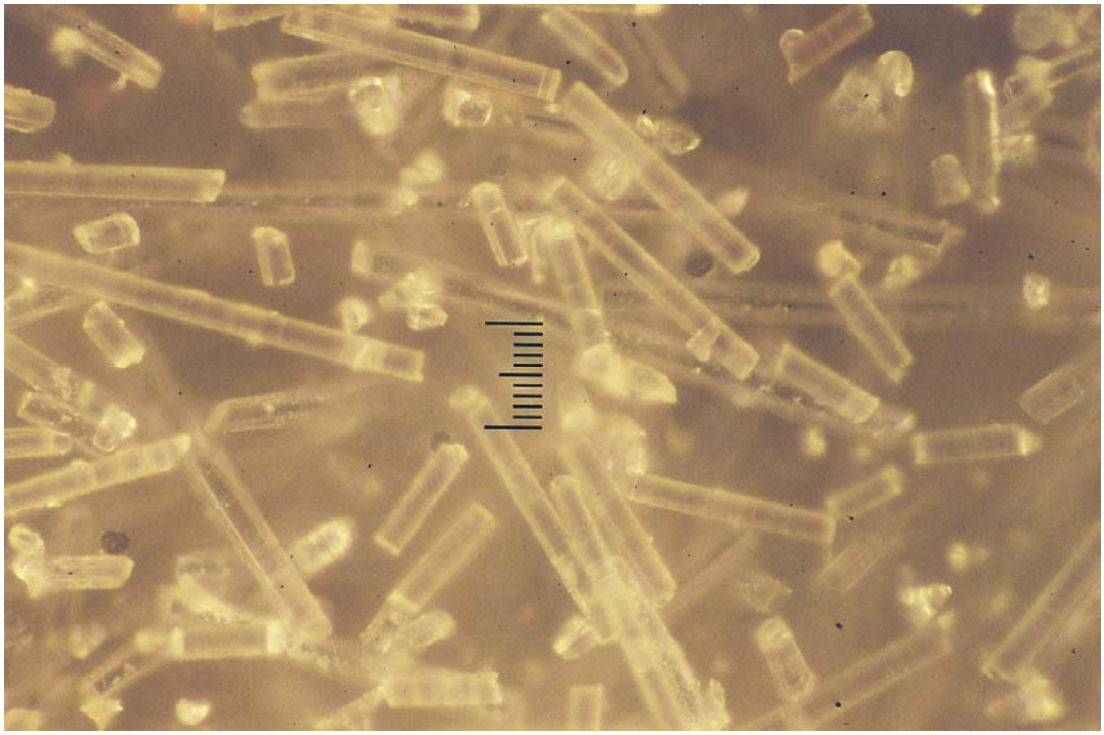
Şekil 8.2 Enjeksiyon sonrası cam elyafın görünümü



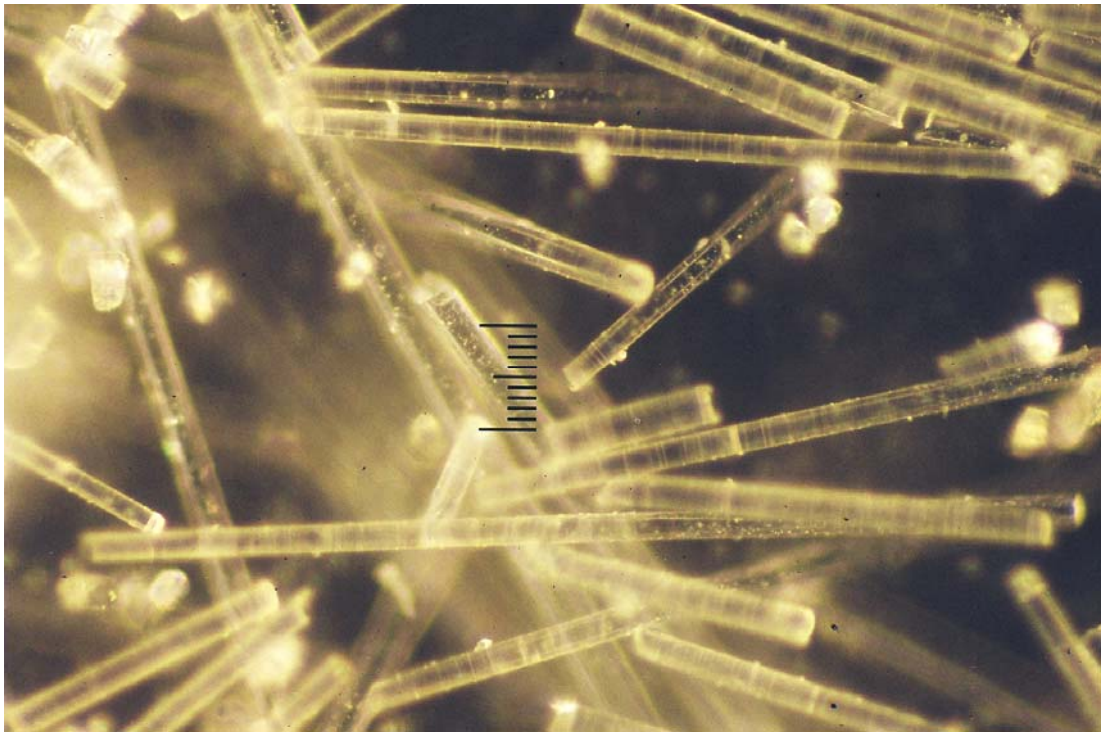
Şekil 8.3 Enjeksiyon öncesi cam elyafın görünümü



Şekil 8.4 Yakma deneyi sonrası cam elyafların görünümü



Şekil 8.5 Enjeksiyonla üretilmiş numunedeki cam elyaf görünümü



Şekil 8.6 Saf malzemedeki cam elyaf görünümü

Enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi ve ütüleme basıncının değiştirilmesi ile üretilen numunelerde kaynak hattı bölgesini incelemek için SEM görüntülerine bakılmıştır. Üretilen numunelerden enjeksiyon basıncı değerinin kaynak hattı üzerindeki yapmış olduğu etkiyi görmek üzere diğer enjeksiyon parametreleri (t_e = 2 s, $P_ü$ = 1000 bar) sabit tutulmuştur. Şekil 7.39, şekil 7.41 ve şekil 7.42'de 600 bar, 900 bar ve 1200 bar olarak üretilen numunelerin a'da 50 kat b'de ise 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri verilmektedir. Görüntüleri incelediğimizde enjeksiyon basıncının artması ile kaynak hattı büyüklüğünde bir azalmanın gerçekleştiği polimer kompozit malzemenin yüksek enjeksiyon basıncı ile daha iyi bir homojen yapının oluşmasını sağladığını göstermektedir.

Ogadhoh ve Papathanasiou'nun yapmış oldukları çalışmada; üretmiş oldukları cam elyaf takviyeli polimer kompozit numuneyi HEWLETT-PACKARD FAXITRON model radyoloji cihazında inceleme yaparak sonuçlar elde etmişlerdir (Ogadhoh ve ark. 1997).

Gerekli şartların ayarlanması ile hazırlanmış numuneler SIEMENS marka ODEL model radyoloji cihazı altında ilk durumda belirlenen değerlerde, ikinci durumda ise bu değerler değiştirilerek görüntüler alınmaya çalışılmıştır. Alınan görüntülerde istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır.

SIEMENS marka TOMOSCAN LX model tomografi cihazında, hazırlanmış olan numuneler incelemeye alınmış, cihaz üzerinde gerekli voltaj ve amper ayarlarının küçültülememesi ve mevcut ayarlarla yapılması sonucunda burada da istenilen sonuç elde edilememiştir.

SIEMENS marka ORION 500 model mamografi cihazı ve SIEMENS marka C-KOLLU SCOPY cihazında istenilen ayarların yapılması mümkün olduğundan üretilmiş olan numuneler bu cihazlar altında incelemeye alınmıştır. Hazırlanan numuneler amper ve voltaj ayarlarının değiştirilmek kaydıyla tarama işlemi yapılmış ve literatürde anılan sonuçlara ulaşılamamıştır.

9. ÖNERİLER VE SONUÇLAR

Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen parçaların görünüm ve dayanımını büyük ölçüde etkileyen en önemli plastik enjeksiyon hatalarından biri olan kaynak hattı üzerinde yapılan araştırmada, polimer akış analizleri ile mikroskop altında yapılan gözlemeler, çekme deneyinden elde edilen çekme yükleri doğrultusunda elde edilen sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Polimer kompozitlerin yaygın olarak kullanılması, diğer polimerlere nazaran daha pahalı olmalarına rağmen, ısıya duyarlılıkları, dayanım artışı sağlamaları, katkı maddeleriyle mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi vb. özellikler nedeniyle tercih sebebi olmalarına neden olmaktadır.

2. MOLDFLOW programında yapılan analizler ile mikroskop altında yapılan gözlemler doğrultusunda, numune üzerinde kaynak hattı bölgesinin kalıp boşluğu giriş yerine bağlı olarak kalıp maçasının çevresinde, programda belirlenen yerde oluştuğu gözlenmiştir.

3. MOLDFLOW ile yapılan analizler sonucunda belirlenen en uygun kavite giriş yerinin (Polimer akış, dolum süresi, enjeksiyon basıncı, basınç düşüşü, ön akış sıcaklığı, dolumun güvenilirliği, kalite tahmini, hava kabarcıkları ve kaynak hattına bağlı olarak) yapılan deneysel çalışmalarda uygunluğu tespit edilmiştir.

4. Polimer kompozit numunelerin üretimi sırasında karşılaşılan hata sonucunda numunelerin mikroskop altında kaynak hattı yerinin incelenmesi sırasında kaynak hattı oluşumunun hiçbir numune de görüntüsü alınamamıştır. Bunun nedeni, hammadde içerisine karıştırılmış olan ve parçaya rengini veren renk pigmentlerinin neden olduğu kanaatine varılmıştır.

5. Yükseltilen enjeksiyon basıncı, enjeksiyon süresi değerlerinin polimer kompozit ürünler üzerinde meydana gelen kaynak hattı genişliklerini ve buna bağlı olarak kaynak hattı dayanımlarını etkilemektedir. Yükseltilen ütüleme basıncının ise enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon süresine bağlı olarak dayanımlarının etkilendiği ortaya çıkmıştır. Çekme deneyi esnasında kopmalar genellikle kaynak hattından veya bu bölgeye en yakın yerlerden meydana geldiği gözlenmiştir.

6. Enjeksiyon süresinin artması kalıp içerisine giren eriyik malzeme miktarını arttırmakta, kaynak hattı genişliğinin azalmasına ve dayanımının daha iyi oluşmasını sağlamaktadır.

7. SEM görüntülerine baktığımızda, yükseltilen enjeksiyon basınç değerleri kaynak hattı genişliklerinin azalmasına sebep olmuştur. Bunun sonucu olarak çekme yükü artışı olduğu da tespit edilmiştir.

8. Mikroskop altında ölçülen kaynak hattı genişlikleri enjeksiyon basıncı 600 bar'dan 1200 bar'a çıkarıldığında kaynak hattı genişlik değerlerinin yaklaşık %37 oranında küçüldüğünü göstermektedir. Buna karşılık yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre çekme yükünde %12'lik bir artışın ortaya çıktığı görülmüştür.

9. Kaynak hattı bölgesinden kesilerek çıkarılıp alınan numunelerde yakma deneyi sonucu elyaf hacimsel oranında numunenin diğer bölgelerine göre değişmediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak malzemede dayanımı artışı için kullandığımız elyafın kaynak bölgesine dayanım açısından etkisi ancak numunenin diğer bölgeleri kadar olduğu ortaya çıkmıştır.

10. İncelenen kaynak hattı genişlik değerleri ve kaynak hattı çekme yükü sonuçları dikkate alındığında %30 cam elyaf takviyeli polimer kompozit bağlantı mafsalı için üretilebilecek enjeksiyon şartları; enjeksiyon basıncı değerinin 1200 bar, enjeksiyon süresi değerinin 2 s ve ütüleme basıncının ise 1000 bar olarak tercih edilmesi gerektiği belirlenmiştir. En yüksek çekme yükü değerinin 7383.1 N ve kaynak hattı genişlik değerinin ise 8.4 μm olduğu ortaya çıktığı görülmüştür.

10. KAYNAKLAR DİZİNİ

Akkurt, S., Kılıç, A.R., 1999, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi I, Makine-Metal Teknolojisi Dergisi, 3, p 48-53.

Akyüz, Ö.F., 2001, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev Yayınları, İstanbul.

Ataşimşek, S., 2002, Plastik ve Metal Kalıpçılık Teknikleri, Birsen Yayınları, İstanbul, Türkiye

Chang, T.C., and Fasion, E., 1999, Optimization of weld line quality in injection molding using an experimental design approach, Journal of Injection Molding Technology, p 61-66.

Chen, K.C., 2000, A fast approach to automatic runner balance, Journal of Materials Processing Technology, 90, p 609-611.

Chun, D.H., 1999, Cavity filling analyses of injection molding simulation: bubble and weld line formation, Journal of Materials Processing Technology, 89-90, p 177-181.

Chung, Y.H., Kato, K., Otake, N., 2001, Melt front surface asperity and welding-defect generation in ceramic injection molding, Journal of Materials Processing Technology, p 219-224.

Çakır, Y., Özdemir, A., Güldaş, A., 2001, Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin İncelenmesi, Teknoloji, Sayı 1-2, p 19-29.

Daniel, M.J., 2000, Weld Line Failure in Thin Wall Ring, University Of Massachusetts Lowell, United States.

David, W.F., 1986, Guide for The Use of Polymers in Concrete, ACI Journal Committee Report, 548.1R, p 789-829.

Dininger, J., 1994, Three Critical Measurements on Injection Molding Processes, Polymer Engineering and Science, Vol. 37, No 6, 2159-2164.

Erci, G., 1972, Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Baylan Matbaası, Ankara, Türkiye

Ersoy, H.Y., 2001, Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul.

Fellahi, S., Fisa, B., Favis, B.D., 1995, Weld line strength in injection molded HDPE/PA6 blends; influence of interfacial modification, Journal of Applied Polymer Science, p 1319-1332.

Huang, M.C., Tai, C.C., 2001, The effective factors in the warp age problem of an injection-molded part with a thin shell feature, Journal of Materials Processing Technology, 110, p 1-9.

Kagan, V.A., 1999, Optimized Mechanical Performance of welded and molded, Computer-Aided Design, p 115-165.

Karabay, M., Erci, G., Bağcı, M., Akbaş, A., 1971, Plastik Teknolojisi, Baylan yayınları, Ankara.

Kharbas, H., Turng, L.S., Spindler, R., 2002, Study of weld line strength and microstructure of injection molded microcellular parts, Department of Mechanical Engineering University of Wisconsin, Madison.

Kim, S.G., Suh, N.P., 1986, Performance prediction weld line structure in amorphous polymers, Polymer Engineering and Science, p 1200-1207.

Kumar, A., Ghoshdastidar, P.S., Muju, M.K., 2000, Computer simulation of transport processes during injection mold-filling and optimization of the molding conditions, Journal of Materials Processing Technology, 5574.

Kuzman, K., Nardin, B., Kovac, M., Jurkosek, B., 2001, The integration of rapid prototyping and CAE in mould manufacturing, Journal of Materials Processing Technology, 11, p 279-285.

Leo, V., and Cuvelliez Ch., 1996, The effect of the packing parameters, gate geometry and mold elasticity on the final dimensions of a molded part, Polymer Engineering and Science, p 1961-1971.

Li, C.L., 2001, A feature-based approach to injection mould cooling system design, Computer-Aided Design, 33, p 1073-1090.

Mccrum, N.G., Buckley, C.P., Bucknall. C.B., 1997, Principles of Polymer Engineering, Oxford Science Publications, New York.

Ogadhoh, S.O., Papathanasiou, T.D., 1997, On microstructure at the weld line in injection molded particulate composites, Scripta Material, p 1149-1997.

Pitchamuthu, M., 2003, Validation of Thin-Wall Injection Molding, University of Massachusetts Lowell, United States.

Poslinski, A.J., 1997, Effect of small changes in the melt velocity on the filling and packing stages of injection molding, Journal of Injection Molding Technology, p 57-71.

Quinn, K.R., and Duffy, J.A., 1999, Reinforced thermoplastics: understanding weld line integrity, Journal of Injection Molding Technology, p 123-129.

Richard, G.G., 1995, Polymer Process Engineering, Stevens Institute of Technology, New York.

Rodney, A.L., 2002, Adaptive Predictive Control of Injection Velocity in Placation Injection Molding, the University of the West Indies, New York.

Rosato, D.V., 1986, Injection Molding Handbook, Van No strand Reinhold, New York.

Seow, L.W. and Lam, Y.C., 1997, Optimizing flow in plastic injection molding, Journal of Materials Processing Technology, 72, p 333-341.

Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara.

Thayer, G.B., Mighton, J.W., Dahl, R.B., Beyer, C.E., 1959, In Processing of Thermoplastic Materials, Reinhold, New York, Chap5.

Tomari, K., Harada, T., Maekawa, Z., Hamada, H., Iwamoto, M., Ukai, A., 1993, Fracture toughness of weld lines in thermoplastic injection molding, Polymer Engineering and Science, p 996-1001.

Turaçlı, H., 2000, Enjeksiyoncunun El Kitabı, Pagev Yayınları, İstanbul.

Turaçlı, H., 2000, Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri, Pagev Yayınları, İstanbul.

Yao, D.G., Kim, B., 1998, Direct-search-based automatic minimization of weld lines in injection molded parts, Polymer-Plastics Technology and Engineering,

Yeung, V.W.S. AND Lau, K.H., 1997, Injection molding C-MOLD CAE package, process parameter design and quality function deployment: A case study of intelligent materials processing, Journal of Processing Technology, 63, p 481-487.

11. EKLER

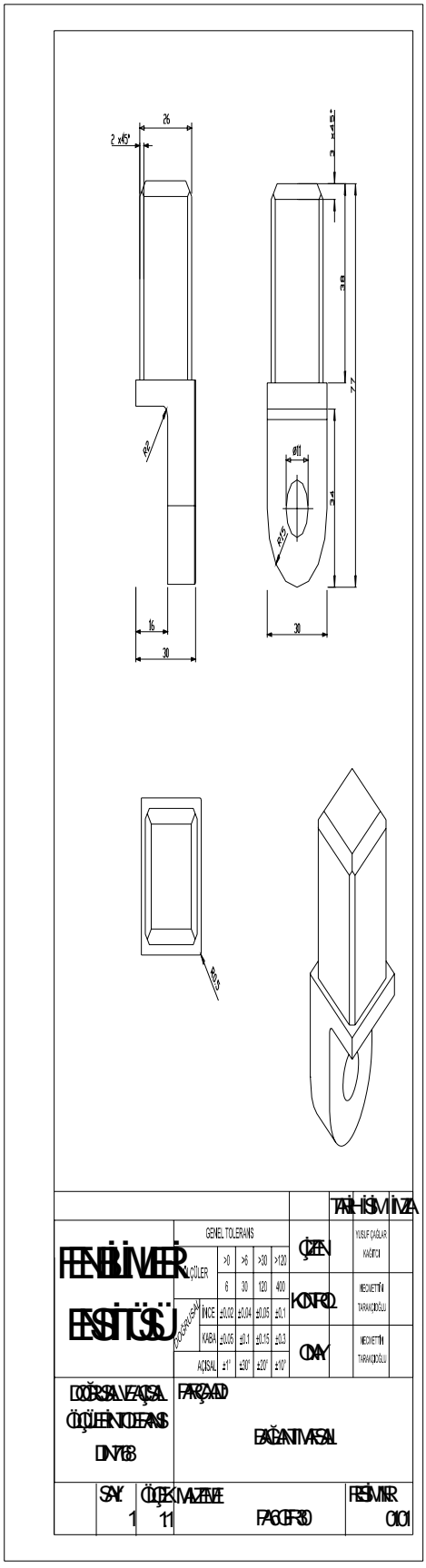
EK 1

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYMER KOMPOZİT BAĞLANTI MAFSALI

EK 2

PA 6 GFR 30 MALZEMENİN ANALİZ RAPORU

EK 1 CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT BAĞLANTI MAFSALI



Ek 2

PA 6 GFR 30 MALZEMENİN ANALİZ RAPORU

EMAŞ PLASTİK SAN. VE TİC. A.Ş.	KALİTE KONTROL LABORATUVARI ANALİZ RAPORU	RAPOR NO : 4899 SAYFA :

ÖNEMLİ NOT : ÜRÜNLE İLGİLİ HERHANGİBİR TALEBİNİZDE LÜTFEN BİZE MALZEME ÜZERİNDEKİ VEYA BU FORM ÜZERİNDEKİ LOT NUMARASI İLE ULAŞIN

MALZEME ADI :PA 6 GFR 30 NTR	
MALZEME KODU :EML60GFR300000	**FİRMA ADI** :ARMONİ
MALZEME LOT NO :1100201204	**KONTROL TARİHİ** :21/12/2004

SIRA NO	TEKNİK ÖZELLİKLER		STANDART	BİRİM	DEĞER
1	KATKI	CİNSİ	ISO 3451	-	CAMELYAF
		MİKTARI	ISO 3451	%	28,8
2	YOĞUNLUK		ISO 1183	g/cm^3	1,36
3	VİSKOZİTE (%96 H_2SO_4)		ISO 307	cm^3/g	.....
4	AKIŞKANLIK İNDİSİ - MFR		ISO 1133	g/10dk	.....
5	NEM ORANI (23°C,%50R.H.)		ISO 62	%	.....
6	KOPMADAKİ ÇEKME DİRENCİ (50mm/dk)		ISO 527	Mpa	166,5
7	KOPMADAKİ UZAMA (50mm/dk)		ISO 527	%	3,24
8	ESNEKLİK MODÜLÜ (1mm/dk)		ISO 527	Mpa	12857
9	ÇENTİKLİ IZOD DARBE DAYANIMI (23°C)		ISO 180/1A	KJ/m^2	16,6
10	SERTLİK		ISO 868	SHORE-D	78/79
11	GLOW-WIRE SIC. (1mm - 2mm - 3mm)		TS 5019	°C	.....
12	UL 94 (0,8mm - 1,6mm - 3,2mm)		UL 94 / IEC 707	Class	.....

MALZEME ENJEKSİYON DEĞERLERİ

ENJEKSİYON MAKİNASI ADI : ERAT YATAY ENJEKSİYON MAKİNASI

KURUTMA SICAKLIĞI (°C)	80			**KURUTMA SÜRESİ (saat)**		4		
ISILAR	MEME ISISI	250	1. BÖLGE	245	2. BÖLGE	240	3. BÖLGE	235
BASINÇ VE HIZ	ENJ. BASINCI	100	ÜTÜLEME BASINCI	50	ENJ. HIZI	5	MAL ALMA HIZI	5
ZAMANLAR	ENJ. ZAMANI	6	MENGENE BEKLEME	3	BİRİM BEKLEME	17	DEKOMPRAS-YON	10

LABORATUVAR ŞEFİ	ONAY
	G. Kalebar

*** Bu teknik bültende verilen değerler ilgili metodlarda belirtilen şartlar altında elde edilen ortalama değerlerdir. Bu nedenle, EMAŞ A.Ş. farklı şartlar altında elde edilebilecek değerlerden sorumlu tutulamaz. Bu bilgiler müşterilerimize kaynak veri olması amacı ile sunulmuştur.

TARİH : 30/06/2004 REV : 01 EMAŞ DOK.NO: KB.FR.824.02

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Konya da dünyaya geldi. İlköğretimi doğum yeri olan Konya da Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulunda tamamladı. Orta öğretimini ise Meram Anadolu Teknik Lisesi CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrol) Bölümünü bitirdi. 1999 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliğini kazanarak lisans eğitimine başladı. 2003 yılında fakülte ve bölüm ikincisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Talaşlı Üretim Eğitimi Programında yüksek lisansa başladı. Milli Eğitim Bakanlığına bağlı özel bir kursta bilgisayar, CNC ve CAD-CAM dersleri vermektedir. Bekar ve normal düzeyde İngilizce bilmektedir.