

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

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA METODU İLE
ÜRETİLEN PLASTİK PARÇALARDA BİRLEŞME İZLERİNİN
MEKANİK VE KOZMETİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ

LEVENT SARAÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

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

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA
METODU İLE ÜRETİLEN PLASTİK
PARÇALARDA BİRLEŞME İZLERİNİN
MEKANİK VE KOZMETİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

LEVENT SARAÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2014

T.R.
GEBZE INSTITUTE OF TECHNOLOGY
GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING AND SCIENCES

**IMPROVING MECHANICAL AND
COSMETIC PROPERTIES OF PLASTIC
INJECTION MOLDED PLASTIC
PRODUCTS WITH WELD LINE**

LEVENT SARAÇ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE
2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/10/2014 tarih ve 2014/58 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15/10/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Levent SARAÇ'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr.Babür Özçelik

ÜYE

: Doç.Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ÜYE

: Doç.Dr. Faruk YILMAZ

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama metodu ile üretilen plastik parçalardada birleşme izinin olduğu bölgeye yerleştirilen rezistans ile kalıp yüzeyi sıcaklık yumuşama sıcaklık değerinin altında belirlenen iki farklı sıcaklık değerine artırarak, birleşme izlerinin etkilerinin azaltılması amaçlandı. Tez kapsamında bilgisayar destekli tasarım programı ile standartlara uygun olan deney numuneleri için kalıp tasarımı yapıldı. Dört gözlü olacak şekilde tasarlanan kalıptan iki adet ISO 527 standardına uygun çekme test numunesi, iki adet görsel test numunesi oluşacak şekilde tasarım yapıldı. Numune tasarımlarının dengeli olarak dolması için sonlu hacimler yöntemi kullanılarak Autodesk Moldflow programında dolum soğuk yolluk dengeleme analizi yapıldı.

Görsel akış veya birleşme izlerini verebilen akış analiz programı mevcut olmadığı için tez kapsamında deneysel çalışma yapıldı. Tasarlanmış kalıp modeli bilgisayar destekli imalat teknolojisi ile imal edildi. Kalıp ekipmanları ve kalıp setlerinin montajını ile kalıp enjeksiyona hazır hale getirildi.

Plastik enjeksiyon ile alçak yoğunluklu Polietilen (AYPE) ve Akrilonitril Bütadien Stiren ABS malzemelerinden 8'er numune test edilmek üzere alındı.

Çekme çubukları ile çekme dayanımı testi, çekme test numuneleri ISO 178 standardına uygun hale getirilerek eğilme ve ISO 180 standardına uygun hale getirilerek darbe testleri yapıldı. Ayrıca profilometre ve SEM testleri ile birleşme iz değerleri karşılaştırıldı.

Elde edilen veriler sonucunda ABS ve AYPE malzemesinin çekme ve eğilme dayanım değerlerinde iyileşme görülürken birleşme izlerinin darbe dayanım değerlerine etkisi olmadığı tespit edildi. Plastik üründe A yüzeyinde sıcaklık değerinin 15 Santigrat derece artırılması ile yüzey pürüzlülük ortalama değeri ve maksimum derinlik değeri azaldı. A yüzeyinde sıcaklık değerinin 30 Santigrat derece artırılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değeri artmış, ancak maksimum derinlik değeri, ortalama değere yaklaştığı için birleşme izi görüntüsüne iyileşme tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Birleşme İzleri, Plastik Enjeksiyon Kalıpları, Mekanik ve Kozmetik Özelliklerin İyileştirilmesi.

SUMMARY

In this study, improving mechanical and cosmetic properties of plastic injection molded weld line plastic products was aimed by heating weld line region under polymer softening temperature. The test samples were prepared using CAD software. The mold was designed to be four-sided, two tensile test specimens were prepared according to ISO 527 and the other two specimens were designed for cosmetic test. For balanced filling of the samples, flow analysis were performed with Autodesk Moldflow.

Designed mold model was fabricated by computer aided manufacturing technology. With the assembly of mold equipments and die sets, Die became available for the injection molding.

8 samples were taken from both low density Polyethylene (LDPE) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) materials to be tested.

Tensile strength tests were performed according to ISO 527. Tensile test specimens were cut for flexural tests according to ISO 178. Similarly, the tensile test specimens were cut and notched for impact tests according to ISO 180. Profilometer and SEM tests were also obtained to compare cosmetic properties of weld line area.

Improvement in tensile and flexural strength of heated ABS and LDPE specimens were observed. It was found that weld line area has no certain effect on impact test results. An 15 degree Celcius increase on the surface of the plastic specimens resulted in decrease maximum depth of surface roughness and average value. Improvement in cosmetic properties of weld line area were observed. On the other hand, average surface roughness value increased with an 30 degree Celcius increase on the surface of the plastic specimens.

Key Words: Well Line, Knit Line, Injection Molding, Mechanic and Cosmetic Properties.

TEŞEKKÜR

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışmanım Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e,

Tez kapsamında desteğini eksik etmeyen Karel Kalıp A.Ş. firmasına,

Hem bu zorlu ve uzun süreçte, hem de hayatım boyunca yanımda olan ve ideallerimi gerçekleştirmemi sağlayan annem Hesna SARAÇ'a, babam Emre SARAÇ'a yürekten teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
1.2. Kalıp ve Ürün İmalatı	2
1.3. Kalıp ve Ürün Tasarımı	3
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	9
2.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçler ve Özellikleri	9
2.1.1. Enjeksiyon Makinesi	9
2.1.2. Kalıp Şartlandırıcısı ve Kalıp Soğutucusu	10
2.1.3. Darbe Test Cihazı	11
2.1.4. Çekme Test Cihazı	12
2.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu	13
2.1.6. Profilometre	13
2.2. Deney Numuneleri	14
2.2.1. Çekme Test Numunesi	14
2.2.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)	15
2.2.3. Eğilme Test Numunesi	15
3. BİRLEŞME İZLERİ	16
3.1. Birleşme İzlerinin Nedenleri	18
3.1.1. Enjeksiyon Prosesinden Kaynaklanan Birleşme İzlerinin Nedenleri	18
3.1.2. Ürün Tasarımından Kaynaklanan Birleşme İzlerinin Nedenleri	19
3.2. Birleşme İzlerinin Sonuçları	19

3.2.1. Birleşme İzlerinin Sonuçlarının Mukavemet Açısından İncelenmesi	19
3.2.2. Birleşme İzlerinin Sonuçlarının Görsel Açıdan İncelenmesi	19
3.3 Birleşme İzini Önlemek İçin Yapılmış Çalışmalar	20
4.BİRLEŞME İZİNİ ÖNLEMEK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR	26
4.1. Akış Analizleri	27
4.2. Akrilonitril Bütadien Stiren Polimeri	33
4.2.1. Yapısı ve Hammadde Özellikleri	33
4.2.2. Enjeksiyon Hazırlık ve Üretim Şartları	35
4.2.3. Deney Setleri	36
4.2.4. ABS için Termal Analizler	37
4.2.5. Mekanik Testler	39
4.2.5.1. Çekme Test	39
4.2.5.2. Darbe Testi	44
4.2.5.3. Eğilme Testi	45
4.2.5.4. Yüzey Pürüzlülük Testi	46
4.2.5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri	49
4.3. Alçak Yoğunluklu Polietilen Yapısı ve Hammadde Özellikleri	51
4.3.1. Yapısı ve Hammadde Özellikleri	51
4.3.2. Enjeksiyon Hazırlık ve Üretim Şartları	53
4.3.3. Deney Setleri	54
4.3.4. PE için Termal Analizler	54
4.3.5. Mekanik Testler	57
4.3.5.1. Çekme Test	57
4.3.5.2. Darbe Testi	62
4.3.5.3. Eğilme Testi	63
4.3.5.4. Yüzey Pürüzlülük Testi	64
4.3.5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri	67
5. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
%	: Yüzde
π	: Pi sayısı
°C	: Santigrat
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ABS/PMMA	ABS ve PMMA polimerleri karışımı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CE	: Cam Elyaf
C-H	: Karbon hidrojen bağı
CNC	: Bilgisayar destekli nümerik kontrollü tezgah
D	: Birleşme izi bulunmayan deney seti
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
E	: Elastisite modülü
ETFE	: Etilen tetrafluoroetilen
FEP	: Florlu etilen propilen
Gpa	: Giga paskal
HIPS	: Yüksek darbe dayanımlı Polistiren
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
LCP	: Sıvı kristalin polimer
ln	: Doğal logaritmik fonksiyon
M16	: Metrik 16 civata
Mpa	: Mega paskal
PA	: Poliamit
PBI	: Polibenzimidazol
PBT	Polibütilen tereftalat
PC	: Polikarbonat
PC/ABS	: PC ve ABS polimerleri karışımı
PE	: Polietilen

PEEK	: Polieter eterketon
PEI	: Polieterimit
PET	: Polietilen tereftalat
PFA	: Perfloroalkoksi
PI	: Poliimit
PMMA	: Polimetilmetakrilat
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PP-CE	: Cam elyaf katkılı polipropilen
PPE	: Polifenileneter
PPS	: Polifenilen sülfid
PS	: Polistiren
PSU	: Polisülfon
PTFE	: Politetralforoetilen
PVC	: Polivinil klorid
SAN	: Stiren akronitril
S	: Ürün et kalınlığı
Te	: Hammadde erime sıcaklığı
Th	: Hammadde erime sıcaklığı
Tm	: Kalıp yüzey sıcaklığı
Tp	: Parçayı kalıptan çıkarma sıcaklığı
Ty	: Hammadde yumuşama sıcaklığı
W	: Birleşme izi bulunan deney seti
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Dünyada hammadde kullanımının gelişimi.	1
1.2: Enjeksiyon kalıplama metodunun şematik gösterimi.	2
1.3: Ürünün CAD modelinin üstten görünüşü.	3
1.4: Hareketli çeliğin CAD modelinin görünüşü.	4
1.5: Sabit çeliğin CAD modelinin görünüşü.	4
1.6: Kalıbın CAD modelinin izometrik görünüşü.	5
1.7: Çeliklerin CNC tezgâhlarında bloklama ve işleme aşamaları.	6
1.8: Soğuk yolluk memesi.	7
1.9: Kolon milleri ve burçları.	7
1.10: Kalıp rezistansı.	8
2.1: Plastik enjeksiyon makinesi.	9
2.2: Kalıp Şartlandırıcısı.	10
2.3: Kalıp Soğutucusu.	11
2.4: Darbe test cihazı.	12
2.5: Çekme test cihazı.	12
2.6: Taramalı elektron mikroskobu.	13
2.7: Profilometre.	14
2.8: Çekme testi numunesi.	14
2.9: Çentikli izod darbe testi numunesi.	15
2.10: Eğilme testi numunesi.	15
3.1: Birleşme izlerinin oluşumu.	16
3.2: İki karşı akışın birleşimiyle oluşan birleşme izi görüntüsü.	17
3.3: Birleşme çizgisi ve eriyik çizgisi oluşumunun gösterimi.	17
3.4: İki akışın birlikte ilerlemesiyle oluşan birleşme izi görüntüsü.	18
3.5: PP-CE için elyaf oryantasyon tensör değerleri.	20
3.6: Birleşme izlerinin profilometre ile yapılmış derinlik ölçümü.	22
3.7: Farklı açılar için sıcaklık ve molekül oryantasyon analizleri.	24
4.1: Polimerlerin plastik ailesi ve tüketim miktarına göre sınıflandırılması.	27

4.2:	0.2 ‘nci saniyede gerçekleşen dolum profili.	28
4.3:	2 ‘nci saniyede gerçekleşen dolum profili.	28
4.4:	4 ‘üncü saniyede gerçekleşen dolum profili.	29
4.5:	5.8 ‘inci saniyede gerçekleşen dolum profili.	29
4.6:	6.9 ‘uncu saniyede gerçekleşen dolum profili.	30
4.7:	Hava boşluğu analizi.	30
4.8:	Ütüleme basınç dağılım analizi.	31
4.9:	Kapama tonajı.	32
4.10:	Polimer zinciri oryantasyonu.	32
4.11:	Birleşme izi oluşumu.	33
4.12:	ABS malzemesinin kimyasal yapısı.	33
4.13:	ABS malzemesinin enjeksiyon öncesi granül görüntüsü.	35
4.14:	ABS-50-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	37
4.15:	ABS-50-65-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	38
4.16:	ABS-50-65-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	38
4.17:	ABS malzemesinin deney setlerinin görüntüleri	39
4.18:	ABS malzeme numunesinin örnek gerilme-birim uzama grafiği.	40
4.19:	ABS malzemesinin elastisite modülü grafiği.	42
4.20:	ABS malzemesinin %0.2 akma dayanımı grafiği.	42
4.21:	ABS malzemesinin çekme dayanım grafiği.	43
4.22:	ABS malzemesinin birim uzama grafiği.	43
4.23:	ABS malzemesinin darbe dayanım grafiği.	45
4.24:	ABS hammaddesinin eğilme dayanımı grafiği.	46
4.25:	ABS-50-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	47
4.26:	ABS-50-65-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	48
4.27:	ABS-50-80-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	48
4.28:	ABS-50-D deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	48
4.29:	ABS malzemesinin deney setlerinin çekme testi kopma yüzeyi görüntüleri.	49
4.30:	ABS malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüleri.	50
4.31:	ABS malzemesinin deney setlerine göre birleşme izi yüzeyi SEM görüntüleri.	50

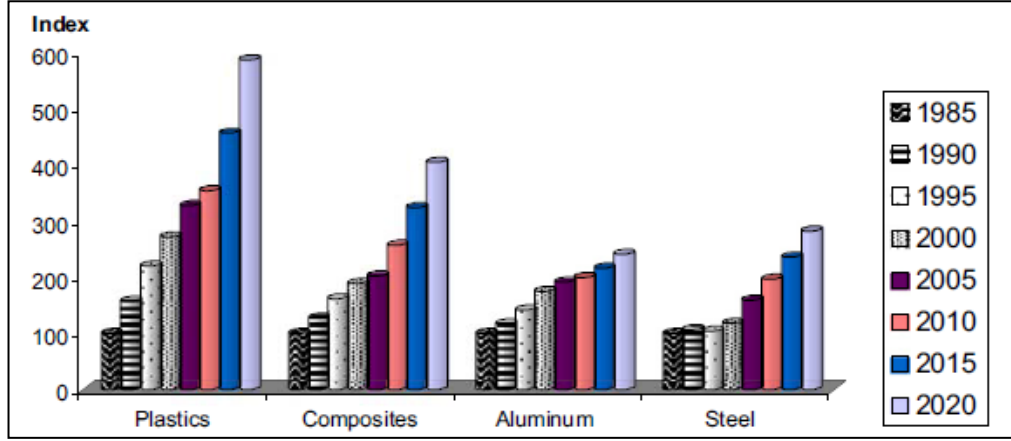
4.32:	Alçak yoğunluklu polietilenin kimyasal formülü.	51
4.33:	PE malzemesinin enjeksiyon öncesi granül görüntüsü.	52
4.34:	PE-30-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	55
4.35:	PE-30-45-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	55
4.36:	PE-30-60-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.	56
4.37:	PE malzemesinin deney setlerinin görüntüleri	56
4.38:	Birleşme izi yapılmış PE malzemesinin çekme testi sırasında oluşan çentik.	58
4.39:	PE malzeme numunesinin örnek gerilme-birim uzama grafiği.	59
4.40:	PE malzemesinin elastisite modülü grafiği.	60
4.41:	PE malzemesinin %0.2 akma dayanım uzama grafiği.	61
4.42:	PE malzemesinin çekme dayanım grafiği.	61
4.43:	PE malzemesinin birim uzama grafiği.	62
4.44:	PE malzemesinin darbe dayanım grafiği.	63
4.45:	PE eğilme dayanımı grafiği.	64
4.46:	PE-30-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	65
4.47:	PE-30-45-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	66
4.48:	PE-30-60-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	66
4.49:	PE-30-D deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.	66
4.50:	PE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi görüntüleri.	67
4.51:	PE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüleri.	68

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: Kullanılan akrilonitril bütadien stiren malzemesinin teknik özellikleri	34
4.2: ABS malzemesinin hazırlık ve üretim şartları.	35
4.3: ABS malzemesinin deney setleri	37
4.4: ABS malzemesinin çekme testi dayanım sonuçları.	41
4.5: ABS malzemesinin çekme testi şekil değiştirme sonuçları.	41
4.6: ABS malzemesinin darbe testi dayanım sonuçları.	44
4.7: ABS malzemesinin eğilme test sonuçları.	46
4.8: ABS malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri sonuçları.	47
4.9: Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen malzemesinin teknik özellikleri	52
4.10: Alçak yoğunluklu polietilen enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.	53
4.11: PE malzemesinin deney setleri.	54
4.12: PE malzemesinin çekme testi dayanım sonuçları.	59
4.13: PE malzemesinin çekme testi şekil değiştirme sonuçları.	60
4.14: PE malzemesinin darbe testi dayanım sonuçları.	62
4.15: PE malzemesinin eğilme test sonuçları.	64
4.16: PE malzemesinin yüzey pürüzlülüğü incelemesi sonuçları.	65

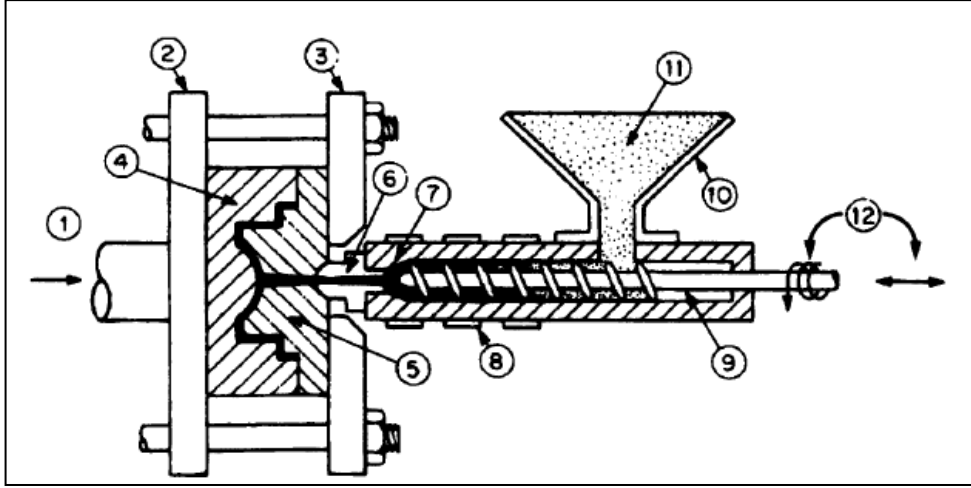
1. GİRİŞ

Termoplastiklerin, hafif olmaları, imalatının ve geri dönüşümlerinin kolay olması sebebiyle kullanımı giderek artmaktadır. Şekil 1.1 'de 1985 yılından itibaren malzemelerin dünyada kullanımının gelişimini göstermektedir [Biron and Marichal, 2013].



Şekil 1.1: Dünyada hammadde kullanımının gelişimi (1985 yılı 100 olarak temel alınmıştır).

Termoplastiklerin imalatında kullanılan en yaygın metot, termoplastik enjeksiyon prosesidir [Web 1, 2014]. Enjeksiyon prosesinde, granül halindeki hammadde, huniden geçerek enjeksiyon vidası tarafından silindire alınır. Burada bant şeklindeki rezistanslar ve sürtünme sonucu oluşan ısı ile granüller karışarak erir. Eriyik plastik, kalıp içerisindeki boşluğa enjekte edilerek kalıbın şeklini alması sağlanır. Ardından kalıp soğutularak, termoplastik malzeme önce camsı geçiş sıcaklığının altına, ardından deforme olmadan itilebilmesi için yumuşama sıcaklığının altına soğutulur. Şekil 1.2 'te plastik enjeksiyon ile kalıplama metodu şema olarak gösterilmiştir [Bralla, 1998].



Şekil 1.2: Enjeksiyon kalıplama metodunun şematik gösterimi. 1) Kalıp kapama kuvveti, 2) Hareketli plaka, 3) Sabit plaka, 4) Hareketli çelik, 5) Sabit çelik, 6) Meme, 7) Silindir, 8) Elektrikli bant ısıtıcı, 9) Vida, 10) Huni, 11) Granül halindeki plastik malzeme, 12) Vidanın dönel ve lineer hareketi.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Enjeksiyon prosesi sırasında parça üzerinde delik formu, birden fazla meme sistemi veya ürün et kalınlığı farklılığı dolayısıyla bir veya daha fazla akışın karşılaşması sonucu plastik üzerinde birleşme (kaynak) izleri oluşmaktadır. Tezin amacı, plastik enjeksiyon proses zamanını artırmadan birleşme izi oluşan bölgedeki mekanik ve kozmetik özellikleri iyileştirmektir.

Bu proseste granül halinde imal edilen termoplastik ara ürün, hammadde üreticisinin verdiği malzeme bilgisi doğrultusunda hammadde üretimi için gerekli nem seviyesine getirilmek üzere enjeksiyon makinesine entegre edilmiş kurutma hunisinde kurutulur. Böylece polimer enjeksiyon prosesine hazır hale getirilir.

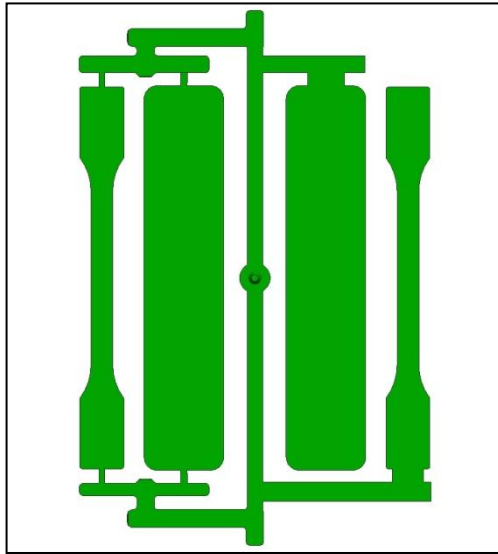
1.2. Kalıp ve Ürün İmalatı

Tez kapsamında imal edilen sabit ve dişi kalıp çelikleri iki adet çekme testi ve iki adet görsel muayene numunelerinden birer tanesi birleşme izi oluşturulacak şekilde tasarlandı. Birleşmenin yerinin ön görüldüğü bölgeye sabit çelik içerisine fişek rezistans boşatmaları işlendi.

Soğutma sistemi, her bir çelikten borverk tezgahı ile işlenen soğutma kanalların ürüne uzaklığı soğutma kanalları deliklerinin üç katı, birbirleri arası uzaklık ise soğutma kanalları deliklerinin üç katı olan 6 altı adet seri soğutma kanalları ile yapıldı. Bu referans alınan değerler, soğutma sisteminin çeliği uniform olarak soğurulabilmesi için önerilen değerlerdir [Rees, 1995].

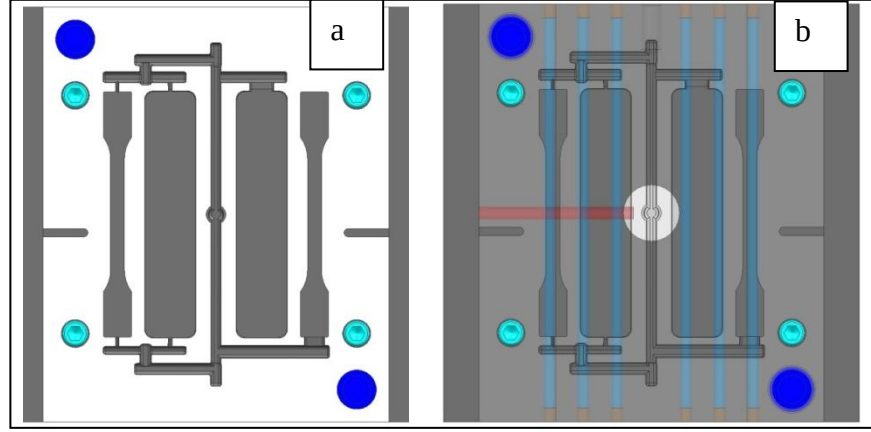
1.3. Kalıp ve Ürün Tasarımı

Çekme testi numunelerini oluşturacak ürünler, ISO527 standardına göre modellendi. Eğilme ve darbe testi numuneleri ISO180 standardına uygun olarak çekme testi numunelerinden kesilerek hazırlandı. Enjeksiyon prosesinde parça başına kullanılan hammadde miktarını azaltabilmek için parça üreticileri et kalınlığını minimum seviyede tutmaktadır. Bu değer genellikle 2.5 mm 'dir. Görsel inceleme yapılabilmesi için 2,5 mm et kalınlığına sahip iki görsel numune kalıba eklenmiştir. Ürünün CAD modelinin üstten görünüşü Şekil 1.3 'te verildi.



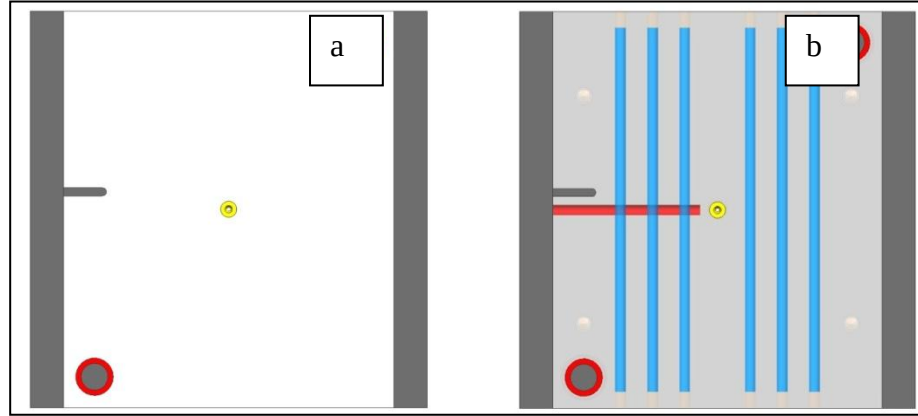
Şekil 1.3: Ürünün CAD modelinin üstten görünüşü.

Merkezeleme elemanları olan kolonlar simetrik olarak yerleştirildi. Hareketli kalıp çeliği, 4 adet M16 civata ile kalıp setine çekti. Hareketli çeliğin CAD modelinin görünüşü Şekil 1.4 'te verildi.



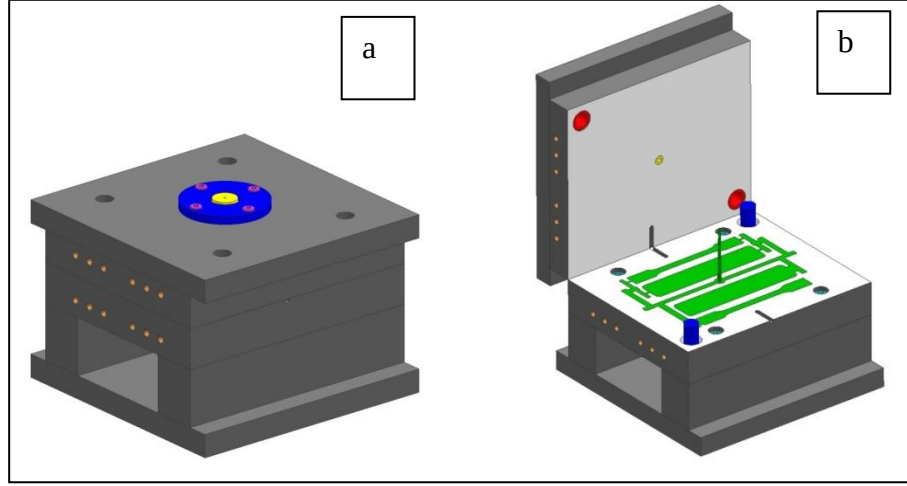
Şekil 1.4: Hareketli çeliğin CAD modelinin görünüşü. a) Hareketli çeliğin katı model görünüşü, b) Hareketli çeliğin şeffaf modelinin görünüşü.

Soğuk yolluk sistemi, kalıbın merkezinde olacak şekilde tasarlandı. Sabit kalıp çeliği, 4 adet M16 cıvata ile kalıp setine çektilirildi. Sabit çeliğin CAD modelinin görünüşü Şekil 1.5 'te verildi. Şekil 1.5 'te yarı şeffaf olan sabit çelik görüntüsünde rezistans konumu kırmızı yüzey ile belirtildi.



Şekil 1.5: Sabit çeliğin CAD modelinin görünüşü. a) Sabit çeliğin katı model görünüşü, b) Sabit çeliğin şeffaf modelinin görünüşü.

Sabit çelik kalıp bağlantı plakasına monte edilen merkezleme flanşı vasıtasıyla kalıp ile enjeksiyon memesi aynı seviyede tutulur. Kalıbın CAD modelinin izometrik görünüşü Şekil 1.6 'da verildi.



Şekil 1.6: Kalıbın CAD modelinin izometrik görünüşü a) Kalıbın kapalı durumda CAD modelinin izometrik görünüşü, b) Kalıbın açık durumda CAD modelinin izometrik görünüşü.

- Kalıp İmalatı

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı ile tasarımı tamamlanmış olan kalıp modelleri bilgisayar destekli imalat teknolojisi (CAM) ile bilgisayar kontrollü işleme makineleri ile test ve muayene numunelerinin negatif formları çelik malzemesine verildi.

Kalıp malzemesi olarak DIN standardında yer alan 1.2312 plastik enjeksiyon kalıp çeliği kullanıldı. Bu malzeme, kükürt içeriği sebebiyle çok iyi işlenebilme özelliğine sahiptir. Malzemenin diğer özellikleri;

- Tokluk
- Aşınma direnci
- Dengeli sertlik dağılımı
- Ölçüsel kararlılık
- Parlatılabilirlik

Sabit çelik alıştırma ve ürün form geometrisinin işlenebilirliği daha kolay olduğu için 3 eksen işleme özelliğine sahip Deckel Maho 104 V Linear model tezgâhında işleme tamamlandı. Sabit çeliğe göre daha kompleks yüzeylere sahip hareketli çelik ise 5 eksen işleme özelliğine Deckel Maho 75 Monoblock Linear sahip CNC tezgâhında işleme tamamlandı. Çeliklerin CNC tezgâhlarında bloklama ve işleme görüntüleri Şekil 1.7 'de verildi.



Şekil 1.7: Çeliklerin CNC tezgâhlarında bloklama ve işleme aşamaları. a) Çeliklerin CNC tezgâhlarında bloklama işlemi, b) Çeliklerin CNC tezgâhlarında işleme aşaması.

İmal edilen parçalar ile temin edilen standart parçalar aşağıdaki montaj sırası izlenerek monte edilmiştir. Plastik ürün formu ve alıştırma yüzeyleri düz olduğu için kalıp alıştırma yüzeyleri sadece taslama tezgâhında taşlanması alıştırma için yeterli görüldü.

- Kalıp Ekipmanları

Ürüne gerekli formu vermesi için sabit imal edilen sabit ve hareketli çelikler, enjeksiyon makinesi ne bağlanabilmesi için bağlantı plakaları çeliğe monte edildi.

Enjeksiyon vidasından gelen polimer soğuk yolluk ile soğuk yolluk kanallarından forma giriş yapıldı. Soğuk yolluk memesinin resmi Şekil 1.8 'de verildi.



Şekil 1.8: Soğuk yolluk memesi.

Sabit ve hareketli çeliklerin gerek baskı sırasında, gerek kalıbın montajı sonrası çeliklerin birbirini merkezleyebilmesi için hareketli çeliğe iki adet kolon mili, sabit çeliğe de kolon millerinin karşılığı olan noktalarda kolon burçları monte edildi. Kolon milleri ve burçlarının resmi Şekil 1.9 'da verildi.



Şekil 1.9: Kolon milleri ve burçları.

Soğutma kanalları arasında seri bağlantı soğutma hortumları ile sağlandı.

Kalıp prototip kalıbı olduğu ve baskı sayısı az ön görülerek itici grubu eklenmedi.

Kalıp taşıma esnasında sabit ve hareketli grubun birbirinden ayrılarak iş kazası oluşturmaması için kalıp emniyet kilidi kalıbın operatör kısmına monte edildi.

Enjeksiyon makinesi minimum kalıp yüksekliğini sağlayabilmek için kalıba kalıp seti monte edildi.

Kalıp imali sırasında açılan boşaltmaya bir adet rezistans ve üç adet termokupl monte edildi. Kalıp içerisinde 500 W güce sahip, 10 mm çapında ve 100 mm boyunda rezistans kullanıldı. Rezistansların birim zamanda çektiği güç değeri, ısıtma yapılacak bölgelerdeki sıcaklık değerleri okunarak hassas sıcaklık değerlerine ulaşabilmek için dimmer ile rezistans sıcaklıkları kontrol edildi. Rezistans görseli Şekil 1.10'da verildi.



Şekil 1.10: Kalıp Rezistansı.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Deney Araç-Gereçler ve Özellikleri

Deneylerde kullanılan malzeme, makine ve araçların teknik özellikleri aşağıda belirtildi.

2.1.1. Enjeksiyon Makinesi

Deney numunelerinin basılmasında 125 gr basma kapasitesi, 900 kN kapama kuvveti, WENSUI 5HP gücünde soğutma sistemi ve maksimum 95 °C'ye ayarlanabilen kalıp şartlandırıcısı olan Şekil 2.1 'deki YIZUMI-UN90A2 marka enjeksiyon makinesi kullanıldı.



Şekil 2.1: Plastik enjeksiyon makinesi.

2.1.2. Kalıp Şartlandırıcısı ve Kalıp Soğutucusu

Kalıp şartlandırıcısının resmi Şekil 2.2 'de, soğutucunun resmi Şekil 2.3 'te verildi.



Şekil 2.2: Kalıp Şartlandırıcısı.



Şekil 2.3: Kalıp Soğutucusu.

2.1.3. Darbe Test Cihazı

Dokunmatik ekranlı, otomatik çekiş tanımlama özelliğine sahip Şekil 2.4 'te gösterilmiş manüel INSTRON (Ceast 9050) marka cihaz darbe mukavemet ölçümleri için kullanıldı.



Şekil 2.4: Darbe test cihazı.

2.1.4. Çekme Test Cihazı

Bilgisayar yazılımı ile kontrol edilen INSTRON 5569 marka cihaz çekme mukavemet ölçümleri için kullanıldı. Şekil 2.5 'te çekme test cihazının resmi verildi.



Şekil 2.5: Çekme test cihazı.

2.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu

SEM analizleri GYTE Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu cihazı ile gerçekleştirildi. Şekil 2.6 'da taramalı elektron mikroskobunun resmi verildi.



Şekil 2.6: Taramalı elektron mikroskobu.

2.1.6. Profilometre

Plastik ürün yüzeyindeki pürüzlülük değerini tespit edebilmek için Mitutoyo Surftest SJ-210 marka profilometre kullanıldı. Test standardı olarak ISO 1997 uygulandı. Şekil 2.7 'de profilometrenin resmi verildi.

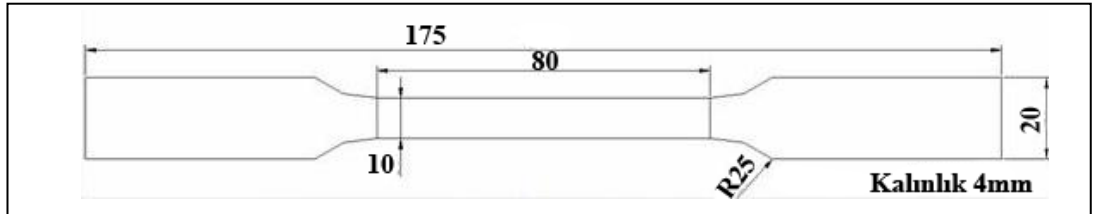


Şekil 2.7: Profilometre.

2.2. Deney Numuneleri

2.2.1. Çekme Test Numunesi

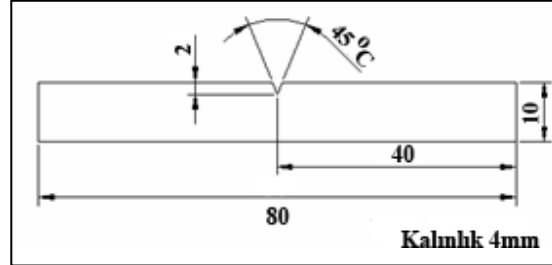
Şekil 2.8 'de görülen numunenin çekme testleri ISO 527 standardına göre yapıldı.



Şekil 2.8: Çekme testi numunesi.

2.2.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)

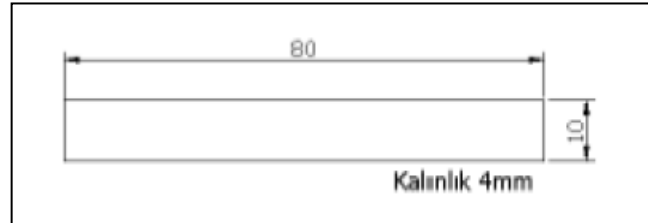
Şekil 2.9 'da görülen numunenin darbe testleri ISO 180 standardına göre yapıldı.



Şekil 2.9: Çentikli izod darbe testi numunesi.

2.2.3. Eğilme Test Numunesi

Şekil 2.10 'da görülen numunenin eğilme testleri ISO 178 standardına göre yapıldı.

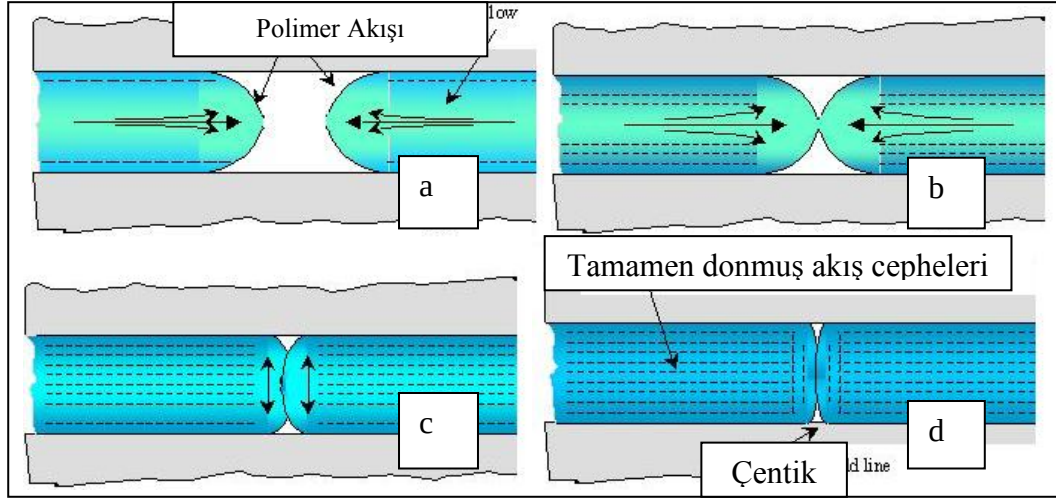


Şekil 2.10: Eğilme testi numunesi.

3. BİRLEŞME İZLERİ

Birleşme izleri, kalıp içerisinde iki veya daha fazla eriyik hattının buluşması ile oluşur. Yuvarlak akış cepheli eriyikler temas halinde düzenlenir ve birbirine yapışır. Bu işlem sırasında mevcut yüksek viskoziteli akış cephelerini uzaması gerekir. Eğer ısı ve basınç yeterli değilse bu bölgelerde gözle görülür bir iz oluşur ve oluşan çentik şeklindeki iz, parçanın görsel ve mekanik özelliklerini azaltmaktadır.

Şekil 3.1 'de iki karşı akışın birleşmesi ile meydana gelen birleşme izlerinin oluşumu verildi [Web 2, 2014], [Web 3, 2014].



Şekil 3.1: Birleşme izlerinin oluşumu: a) İki karşı akışın gösterimi, b) Karşı akışların birleşmesi, c) Birleşen polimerlerin katılaşması, d) Tamamen katılaşmış polimerler ve birleşme izinde meydana gelen çentik görüntüsü.

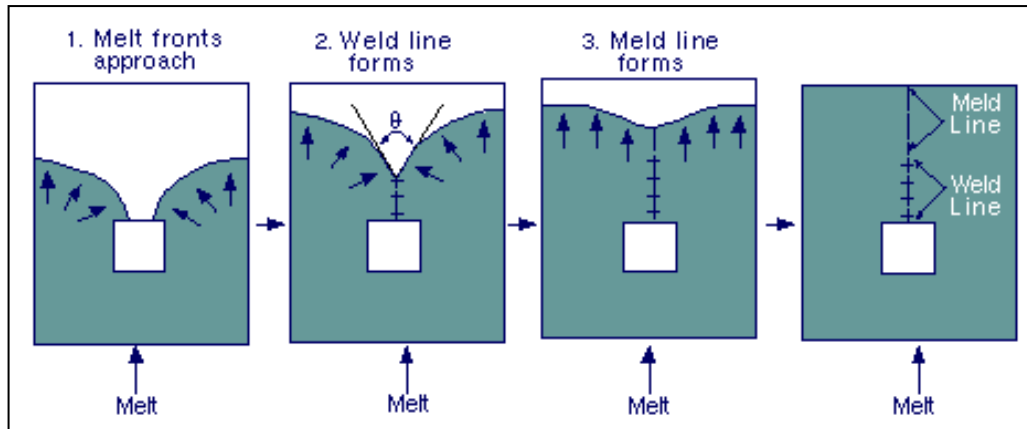
Lokal olarak iki karşı akışın birleştiği bölgelerde eriyik hammadde ilerleyemeden donduğu için bu bölgelerde oluşan birleşme hatları mukavemet ve görünüm açısından diğer birleşme hatlarına göre daha zayıftır. Şekil 3.2 'de iki karşı akışın birleşimiyle oluşan birleşme izi görüntüsü verildi [Web 4, 2014].



Şekil 3.2: İki karşı akışın birleşimiyle oluşan birleşme izi görüntüsü.

Eğer polimer ön akış hatları birleştikten sonra devam edebilecek geometri çevresinde meydana geliyorsa, iki akışın birleşme açısı, birleşme ve eriyik izlerinin oluşmasında önemli faktörlerden biridir [Özçelik vd., 2012].

Birleşme açısı, izin kaynak çizgisi veya eriyik çizgisi olarak sınıflandırılmasında kullanılır. Birleşme açısı 135° 'den küçük ise kaynak çizgisi, büyük ise eriyik çizgisi olarak adlandırılır. Şekil 3.3 'te birleşme çizgisi ve eriyik çizgisi oluşumunun gösterimi verildi. Şekil 3.4 'te iki akışın birlikte ilerlemesiyle oluşan birleşme izi görüntüleri verildi.



Şekil 3.3: Birleşme çizgisi ve eriyik çizgisi oluşumunun gösterimi.



Şekil 3.4: İki akışın birlikte ilerlemesiyle oluşan birleşme izi görüntüsü.

3.1. Birleşme İzlerinin Nedenleri

3.1.1. Enjeksiyon Prosesinden Kaynaklanan Birleşme İzlerinin Nedenleri

Proses kaynaklı hatalar aşağıdaki gibidir [YSM, 2011].

- Malzemenin tamamen plastisize olmaması.
- Kalıp sıcaklığının düşük olması.
- Meme sıcaklığının düşük olması.
- Enjeksiyon hızının düşük olması.
- Enjeksiyon basıncının düşük olması.
- Hammaddenin katkılı olması.
- Yolluk girişinin çok büyük veya çok küçük olması.
- Çok fazla kalıp ayırıcı silikon konulması.
- Kalıpta gaz tahliye kanallarının bulunmaması.

3.1.2. Ürün Tasarımından Kaynaklanan Birleşme İzlerinin Nedenleri

- Parça et kalınlığındaki farklılık sebebiyle oluşan birleşme izleri.
- Birden fazla noktadan yapılan plastik dolum sistemi ile ortaya çıkan birleşme izleri.
- Parça içindeki delik geometrileriyle oluşan birleşme izleri.

3.2. Birleşme İzlerinin Sonuçları

3.2.1. Birleşme İzlerinin Sonuçlarının Mukavemet Açısından İncelenmesi

Akış cepheleri birbirleriyle homojen bir erime yapmaması, birleşme izi olan bölgelerde plastik parçayı mukavemet açısından zayıflatmaktadır.

Parça yüke maruz kaldığında, parça birleşme izlerinin olduğu bölgeden deforme olmaktadır.

3.2.2. Birleşme İzlerinin Sonuçlarının Görsel Açısından İncelenmesi

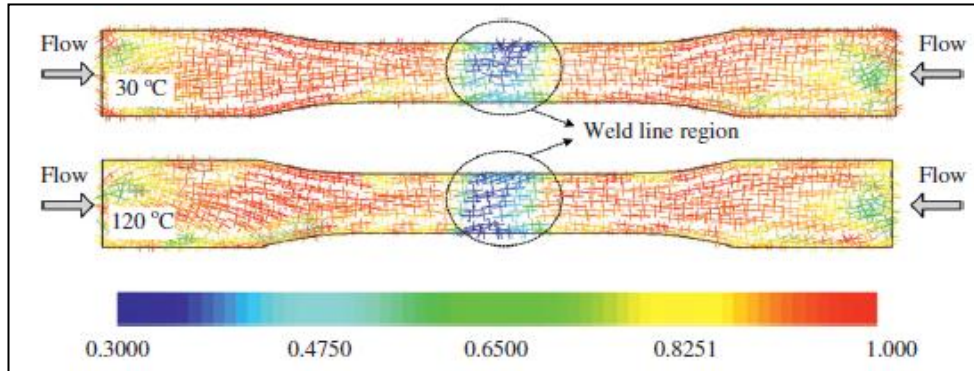
Eğer ısı ve basınç yeterli değilse akış cephelerinin köşe bölgeleri yeterince oluşmaz ve burada gözle görülür bir iz oluşur. Işığın yansımaları bu bölgede kırılarak parçanın görsel bütünlüğü bozulmaktadır.

Bunun yanı sıra birleşme izleri, özellikle birden fazla yolluklu kalıplarda ve bir delik geometrisi etrafında oluştuğunda uzun bir iz bırakmaktadır [Cracknell and Dyson, 1993]. Parça görsel bir görevde kullanılacak ise bu izlerin bulunduğu parçalar kalite ve kontrol onayından geçememektedir.

3.3. Birleşme İzini Önlemek İçin Yapılmış Çalışmalar

Plastik enjeksiyon prosesinin imalat endüstrisindeki payının giderek artması ile plastikler beyaz eşya, teknoloji ürünleri ve otomotiv sektöründe kullanımı giderek artmaktadır. Bununla beraber plastikler görsel nitelik taşıyan diğer malzemelerin yerini almaya başlamıştır. Dolayısıyla plastikler üzerindeki kozmetik hataları giderebilmek için yapılan çalışmalara ağırlık verilmiştir. Birleşme izlerini giderebilmek için kalıp sıcaklığını ısıtmak sıklıkla kullanılan bir prosestir. Özellikle görsel fonksiyonu öncelikli olan televizyon ve monitör çerçeveleri yüksek parlaklık içerdiği için bu yüzeylerde olası birleşme izleri kabul edilmemektedir.

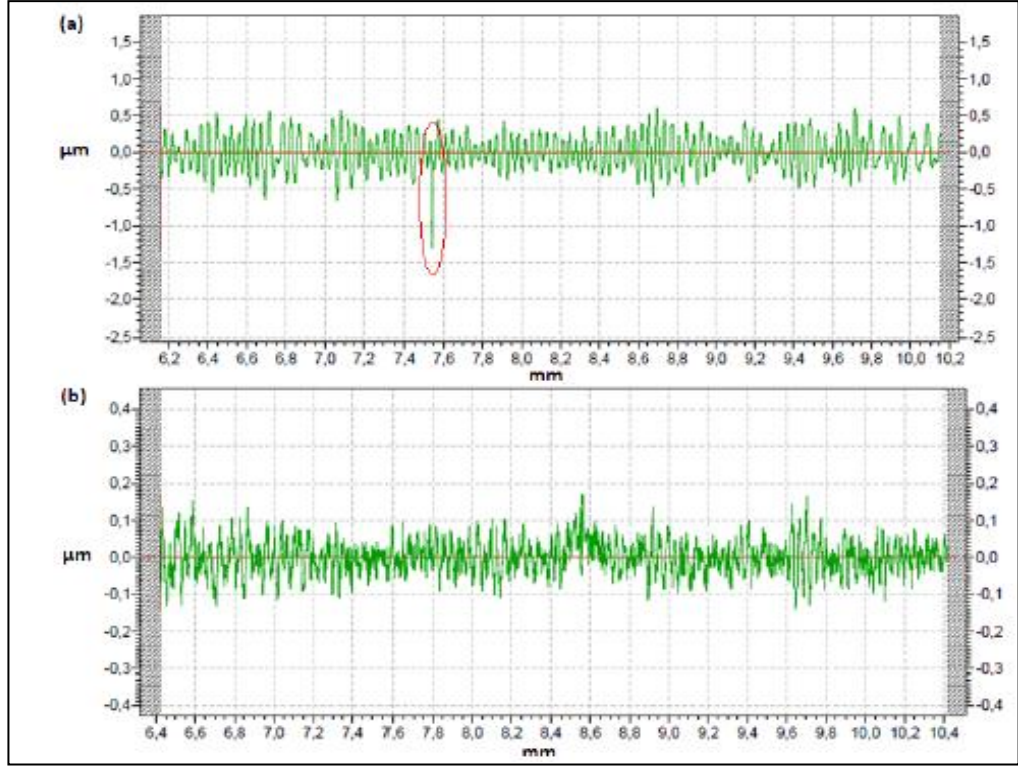
Literatürde seri ısı döngü ile kalıplama yapılarak yapılan çalışmada kalıp ön ısısı 20 °C den 20 °C aralıklarla 160 °Cye kadar artırılarak PS,ABS, ABS/PMMA ve PP-CE malzemeleri için çekme ve darbe deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerde yüksek kalıp ön ısısı PS,ABS ve ABS/PMMA malzemeleri için çekme ve darbe dayanım değerleri artarken cam elyaf katkılı PP malzemede fiber oryantasyonundaki bozulma dolayısıyla bu değerlerde azalma görülmüştür. Şekil 3.5 'te PP-CE için elyaf oryantasyon tensör değerlerini içeren grafik verilmiştir[Wang and Zhao, 2013].



Şekil 3.5: PP-CE için elyaf oryantasyon tensör değerleri.

Literatürde seri ısı döngü ile kalıplama yapılarak yapılan bir diğer çalışmada kalıp ön ısısı camsı geçiş sıcaklığının 10 °C altında camsı geçiş sıcaklığında ve camsı geçiş sıcaklığının 10°C üzerinde olmak üzere PMMA, ABS ve PC/ABS malzemeleri ile deney yapılmıştır. Kalıbı ısıtmak için 8 mm çapında 300 W güce sahip fişek rezistanslar kullanılmıştır. Kalıp soğutması kalıp içine açılmış soğutma kanalları ile

yapılmıştır. Programlanabilir mantıksal kontrol ünitesi ile kalıp kapandığında rezistanslar devreye girerek kalıp rejime girmektedir. Camsı geçiş sıcaklıkları 105°C, 100°C and 125°C olan malzemeler kullanılarak bir televizyon çerçeve parçasında oluşan birleşme izleri için numune 15 mm mesafede profilometre ile ölçülerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen en iyi sonuç camsı geçiş sıcaklığının 10 °C altında yapılan deneyde elde edilmiştir. Seri ısıtma döngüsü ile farklı çelik yüzey sıcaklıklarının farklı hammaddeler için mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Molekül zincirlerinin birleşme olan bölgede yetersiz yerleşme nedeniyle "v" şeklinde oluşan çentik, mekanik kalitesini düşürmektedir. Termal ısı döngüsü ile döngüsü ile çelik yüzey sıcaklığı artırılarak plastik ürünlerin yüzey kalitesinin değişimi gözlemlenmiştir. Geleneksel enjeksiyon prosesinde dolum 3 sn, ütüleme 4 sn, soğutma süresi 25 sn ve soğutma suyu sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır. Yüzey kalitesi ölçümü profilometre ile yapılmıştır. PMMA için enjeksiyon sıcaklığı 260 °C, kalıp sıcaklığı; ön ısıtmasız, 75 °C, 95 °C, 115 °C olmak üzere yapılan 4 proses koşulu için sırasıyla 0.82, 0.39, 0.25 ve 0.22 µm derinlikte birleşme izi ölçülmüştür. ABS için enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, kalıp sıcaklığı; ön ısıtmasız, 70°C, 90°C, 110°C olmak üzere yapılan 4 proses koşulu için sırasıyla 0.91, 0.58, 0.26 ve 0.21 µm derinlikte birleşme izi ölçülmüştür. PC/ABS için enjeksiyon sıcaklığı 260 °C, kalıp sıcaklığı; ön ısıtmasız, 79°C, 115 °C, 135 °C olmak üzere yapılan 4 proses koşulu için sırasıyla 0.86, 0.43, 0.33 ve 0.31 µm derinlikte birleşme izi ölçülmüştür.



Şekil 3.6: Birleşme izlerinin profilometre ile yapılmış derinlik ölçümü: a) Isıtma uygulanmamış birleşme izlerinin profilometre ile yapılmış derinlik ölçümü, b) Isıtma uygulanmış birleşme izlerinin profilometre ile yapılmış derinlik ölçümü.

Proseste toplam enjeksiyon proses zamanı PMMA için 72 ve 52 sn arası, ABS için 72 ve 50 sn arası, PC/ABS için 75 ve 54 sn arasındır. Çalışma sonucunda artan sıcaklıkla birleşme izi azalmış, proses zamanı yaklaşık iki kat artmıştır [Fiorotto and Lucchetta, 1981].

PP, PS ve HIPS üzerine yapılan çalışmada yüksek hammadde ve kalıp sıcaklıkları uygulandığında, birleşme izinin bulunduğu bölgede çekme dayanım değerlerinde %12 iyileşme tespit edilmiştir. [Malguarnera and Manisali, 1981].

Taguchi optimizasyon metodu, tam-faktöriyel sistem tasarımı ile aynı verileri, daha az sayıda deney için kullanılır. Taguchi optimizasyon metodu ile elde edilen datalar istatistiksel olarak analiz edilir. Bu analizde sinyalin gürültüye oranı (S/N) , cevap sinyalinin gürültüye bağlı varyasyon sonucunu vermektedir. S/N değerini maksimize ederek gürültüye duyarlı özelliklerin minimize edilir. Taguchi optimizasyon metodu ile elde edilen proses şartlarının etkilerini incelemek için yapılan çalışmada hammadde ve kalıp sıcaklıklarının, birleşme izlerini gidermek için en etkili proses koşulları olduğunu tespit etmiştir [Liu and Wu, 2000].

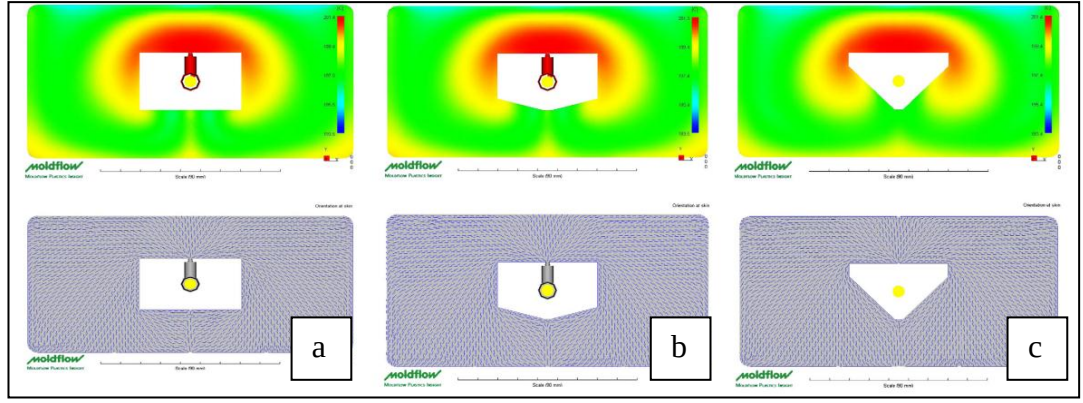
Enjeksiyon esnasında eriyik sıcaklığının yumuşama sıcaklığının hemen altına artırılması ile birleşme olan yüzeylerde zincirlerin yeniden yönlenmesi sağlayarak birleşme izinin bulunduğu bölgede dayanım özelliklerini artırdığı bulunmuştur [Kim and Suh, 1986].

Ayrıca enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, basınç altında tutma süresi ve tutma basınç parametrelerinin birleşme özellikleri üzerine olan etkilerinin, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon sıcaklığı değerlerinin birleşme özellikleri üzerine olan etkilerinden az olduğu gözlemlenmiştir [Piccarolo and Saiu, 1988].

Tez kapsamında kullanılacak olan sonlu hacimler metodu kullanarak çözüm gerçekleştiren Moldflow programında kullanılan parametreler, deneysel olarak yapılmış çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda analiz sonucunda verilen birleşme özellikleri ile deneysel çalışmanın sonucunun birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür [Kovács and Sikló, 2010].

Birleşme izlerinin oluşacağı öngörülen bölgelere basınç sistemine sahip itici pimler yerleştirilerek, bölgenin dolumu sonrasında ürün formundan alt seviyelerde bulunan sıcak polimere basınç uygulayarak plastiğin bu bölgede tekrar akması sağlanarak bölgedeki moleküler oryantasyon yeniden oluşturulmuştur. Deneysel ve simülasyon olarak yapılmış çalışma ile stres birikiminden kaynaklanan birleşme çizgileri elimine edilerek plastiğin daha geniş birleşme açılarıyla birleşmesi sağlanmıştır. Bu yöntem ile eğilme ve darbe dayanım özelliklerinde belirgin iyileşme sağlanırken çekme özelliklerinde daha az iyileşme gözlemlenmiştir. [Nian and Huang, 2013].

Literatürde sıcaklık ve basınç faktörlerine ilave olarak geometri faktörü ile birleşme izlerini giderme konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmada polipropilen malzeme için birleşme açısı 0° , 15° , ve 45° derece olacak şekilde test edilmek istenen plastik parça, plastik enjeksiyon kalıbı sırasıyla işlenerek farklı açılarda birleşme izi oluşturan ürünler elde edilmiştir. Şekil 3.7 'de belirtilen açılar için sıcaklık ve molekül oryantasyon analizlerinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.7: Farklı açılar için sıcaklık ve molekül oryantasyon analizleri: a) 0° birleşme açısı için sıcaklık ve molekül zinciri oryantasyon analizi, b) 15° birleşme açısı için sıcaklık ve molekül zinciri oryantasyon analizi, c) 45° birleşme açısı için sıcaklık ve molekül zinciri oryantasyon analizi.

200 °C, 220 °C, 240 °C ‘deki farklı sıcaklıklarda ve 14 MPa, 17 MPa, 20 MPa ütüleme basınçlarının birleşme izlerine olan etkileri mekanik olarak incelenmiştir. Kalıptan çıkarılan plastik ürünler su jeti ile kesilerek deney numunesi ölçülerine getirilmiştir. Bu numuneler üzerine yapılan çekme ve izod darbe deneyleri sonucunda basınç değerlerinin artırılmasının malzemenin çekme dayanımı değerlerini artırdığı görülmüştür. Engel açısı bakımından yapılan incelemeler sonucunda birleşme açısı 15 ° olan numunelerin çekme dayanım özelliklerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [Özçelik vd., 2012].

Birleşme çizgilerini gidermek için yapılan başka bir çalışmada ise enjeksiyon ile üretilen plastik bir kutu tasarımında et kalınlığı ve yolluk giriş noktası değiştirilerek birleşme izleri ve parça içerisinde oluşan hava kabarcıkları giderilmiştir. Ayrıca plastik parçada bölgesel et kalınlığını artırarak veya azaltarak belirli ölçülerde akışa yön verilebildiği ve birleşme izlerinin giderilebileceğini göstermiştir [Chun, 1999].

Birleşme izlerinin, parçanın mekanik özelliklerini azaltmasını araştıran bir çalışmada, bunun ana sebebinin birleşmenin olduğu bölgede gözlemlenen “V” şeklinde oluşan çentik olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, moleküllerin birbiri içine difüze olabilmesi için yeterli zaman olmaması, dolayısıyla tam olarak bağlanmanın gerçekleşmemektedir. Diğer bir etken de moleküler yerleşimin hammaddenin ön akış duvarında birbirine paralel akış duvarlarında zayıf olmasıdır [Nguyen-Chung, 2004].

Birleşme izlerini modellemek üzere yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu birleşme izlerinin yerini tahmin etme ve bu pozisyonlardaki termo-reolojik

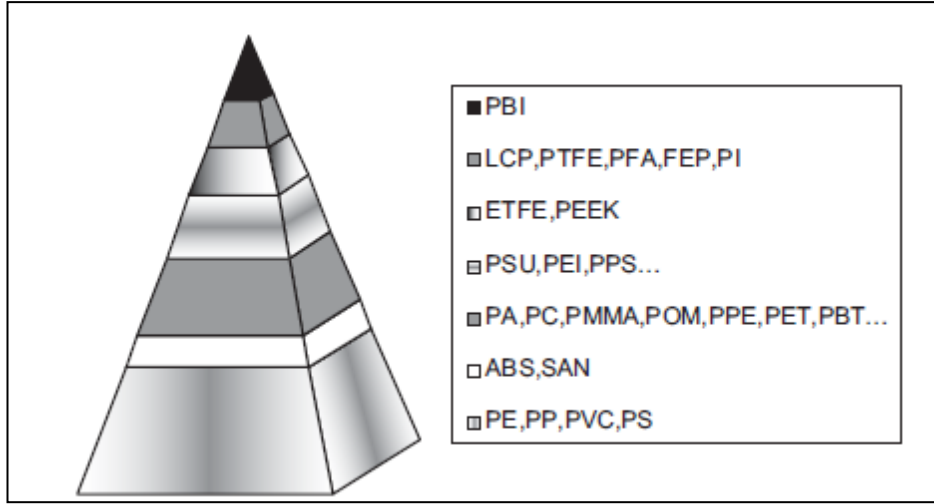
özelliklerini simüle ederek birleşme izlerinin dayanımını tayin etmeye yönelik olmuştur. Polimerin akış sırasında gösterdiği viskoelastik eriyiğin engel oluşturacak bir geometri etrafında oluşan stresin, kinematiğin pseudoplastik akış modeli olan Carreau modeline uygun olduğunu varsayarak hesaplamıştır. Hesaplanan bu değerlerde moleküler yönelim göstermiştir ki birleşmenin olduğu bölge dışındaki bölgelerde yerleşim düzgün, ancak birleşmenin olduğu bölgede düşük olduğunu saptamış, yaptığı optik deneylerle de bu sonuçları doğrulamıştır [Nordberg and Winter, 1987].

4. BİRLEŞME İZİNİ ÖNLEMEK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Birleşme izlerinin giderilmesi için, sonlu hacimler veya sonlu elemanlar metodunu kullanan bilgisayar destekli mühendislik yazımları ile tespit edilen bölgenin sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığına getirilecektir. Burada hedeflenen, düşük vizikositeye sahip ön akış formlarının viskozite değerlerini yükselterek daha iyi birleşme sağlamaktır.

Deney setlerinden çok kullanılan ve genel kullanım termoplastiklerinden olan AYPE, sert ve rijit yapısı ile tercih edilen ABS kopolimeri kullanıldı. Şekil 4.1 'de gösterilen piramitte, polimerler plastik ailesi ve tüketim miktarına göre sınıflandırmıştır [Biron and Marichal, 2013].

- Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil Klorid (PVC), Polistiren (PS): Genel kullanım termoplastikleridirler.
- Akronitril-Bütadien-Stiren (ABS), Stiren Akronitril (SAN): Kısmi özel uygulama kopolimerleridir.
- Poliasit (PA), Polikarbonat (PC), Polymethylmethacrylate (PMMA), Polyacetal (POM), Polyphenylene Ether (PPE), Polyethylene Terephthalate (PET), Polybutylene Terephthalate (PBT): Mühendislik termoplastikleridirler.
- Polysulfone (PSU), Polyetherİmide (PEI), Polyphenylene Sulfide (PPS) : Özel performansa sahip mühendislik termoplastikleridirler.
- Ethylene-tetrafluoroethylene (ETFE), PolyetheretherKetone (PEEK): Yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılır, sınırlı kullanıma sahiptir.
- Liquid Crystal Polymer (LCP), Polytetrafluoroethylene (PTFE), Perfluoroalkoxy (PFA), Fluorinated Ethylene Propylene (FEP), polyimides
- (PI): yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılır, çok sınırlı kullanıma sahiptir.
- PolyBenzİmidazole (PBI): çok yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılır, çok sınırlı kullanıma sahiptir.



Şekil 4.1: Polimerlerin plastik ailesi ve tüketim miktarına göre sınıflandırılması.

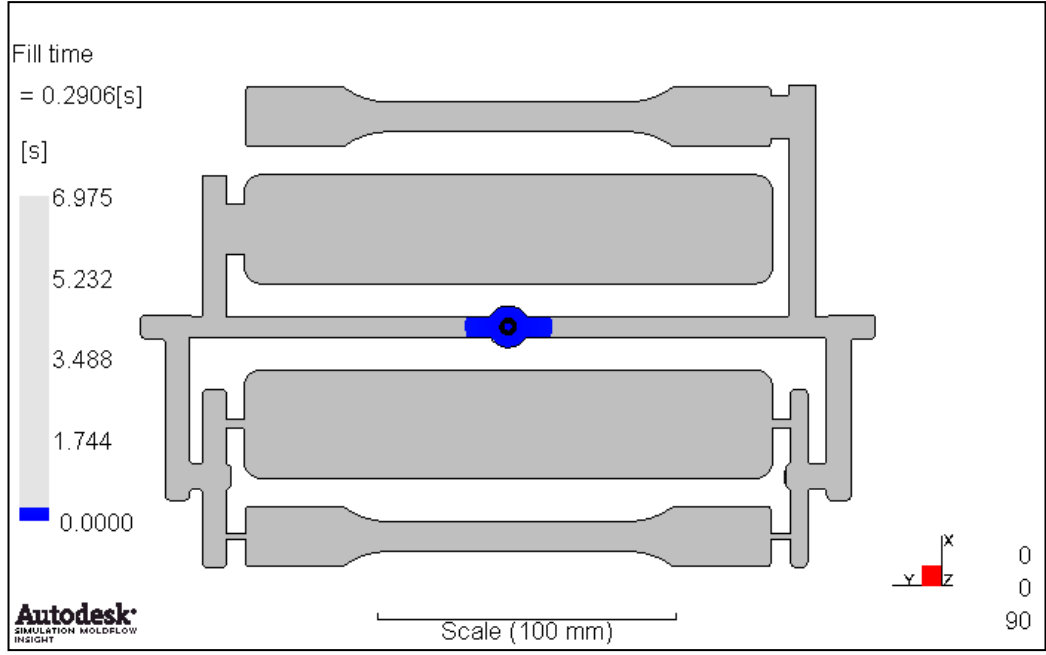
4.1. Akış Analizleri

Akış analizleri ve termal analizler Autodesk Moldflow Insight sonlu hacimler çözücüsü aşağıdaki çalışmalar yapıldı. ABS ve PE için akış analizleri aynı sonuçları verdiği için ayrıca gösterilmedi.

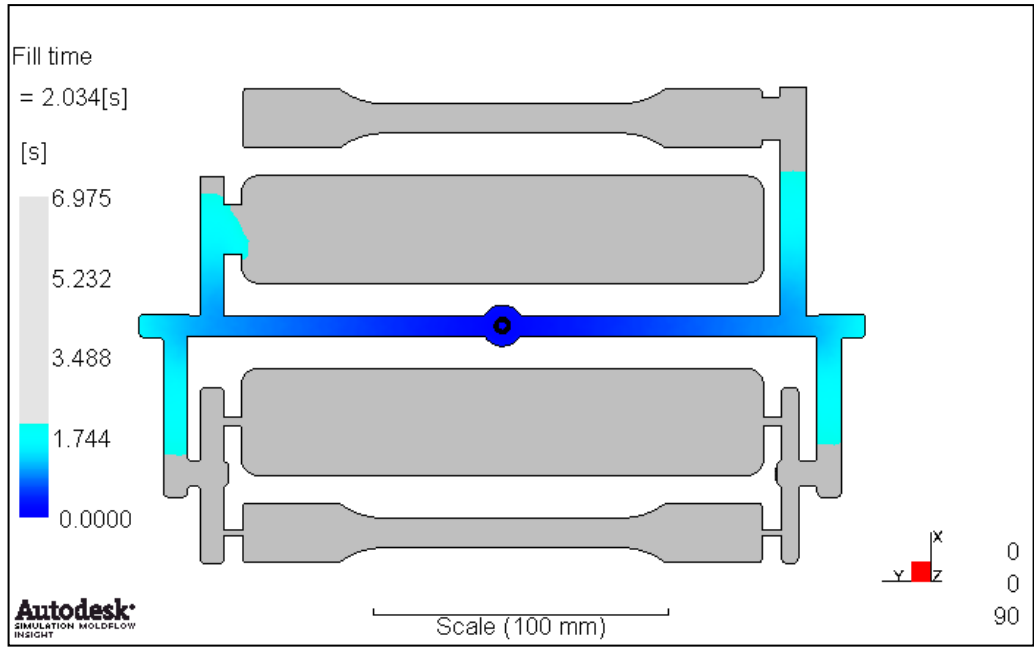
Akış analizleri aşağıdaki bilgileri elde etmek için yapılmaktadır.

- Parçanın dolum analizini ve dolum profilini incelemek.
- Hava boşluğu oluşan noktaları tespit etmek.
- Ütüleme basınç profilini belirlemek.
- Kapama tonaj değerini belirlemek.
- Polimer zinciri oryantasyonun incelemek.
- Birleşme izi oluşan yerleri incelemek.

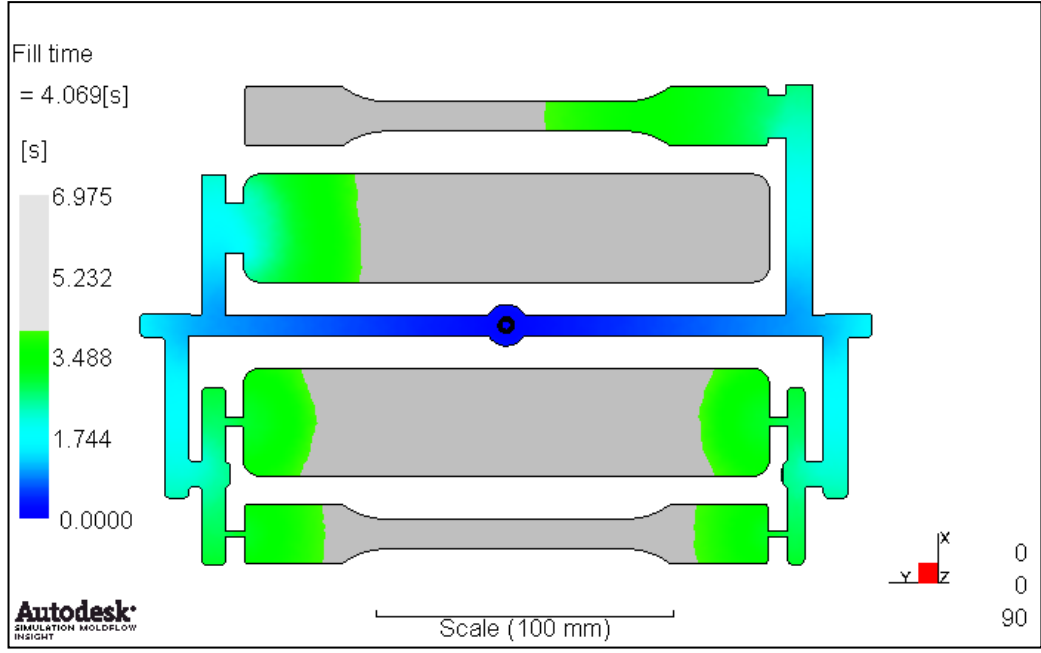
Dolum analizi, hammaddenin zamana bağlı olarak kalıp içerisindeki ilerlemesini göstermektedir. Ürün yolluk tasarımı, dengeli dolumu elde edebilecek şekilde tasarlanıp analiz edildi. Birleşme izi olmayan ve et kalınlığı 2.5 mm olan ürüne daha geniş yolluk ile giriş yapılırken birleşme izi olan ürünlere 2 giriş yapıldığı için dar yolluklar kullanıldı. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ‘da Dolum analiz görselleri verildi.



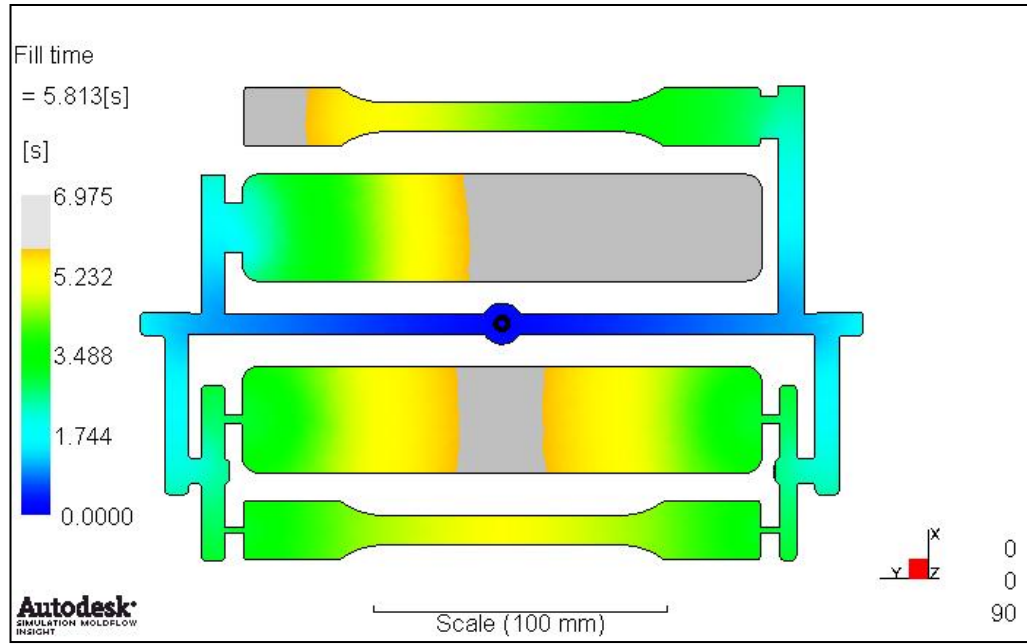
Şekil 4.2: 0.2 'nci saniyede gerçekleşen dolum profili.



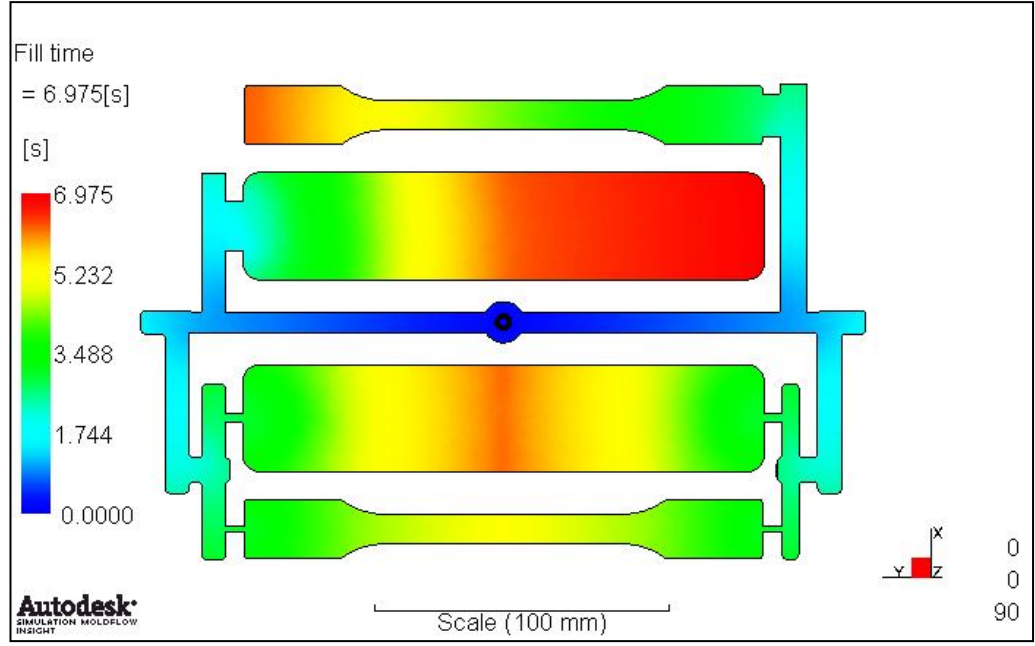
Şekil 4.3: 2 'nci saniyede gerçekleşen dolum profili.



Şekil 4.4: 4 ‘üncü saniyede gerçekleşen dolum profili.

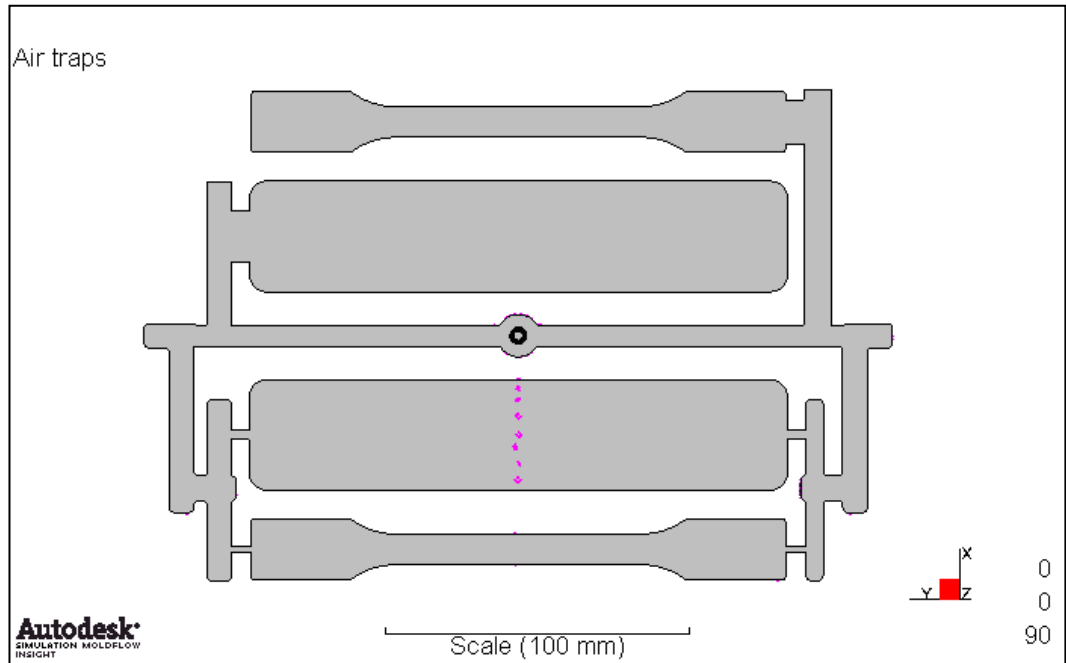


Şekil 4.5: 5.8 ‘inci saniyede gerçekleşen dolum profili.



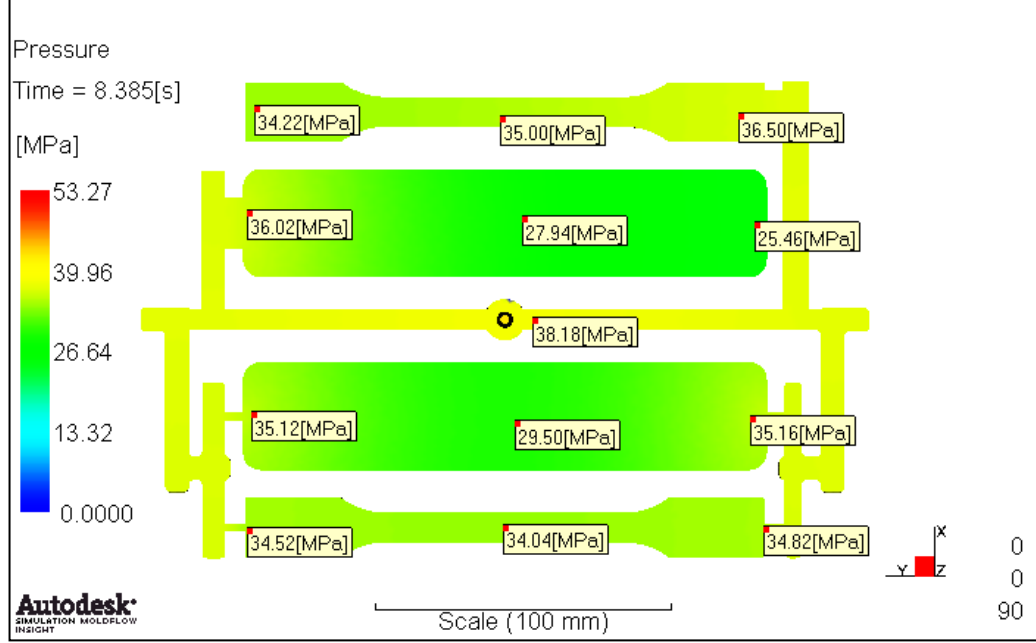
Şekil 4.6: 6.9 ‘uncu saniyede gerçekleşen dolum profili.

Parçanın hava boşluğu izi analizi, ön görüldüğü üzere iki noktadan beslenen ürünlerin orta noktalarında oluşmaktadır. Kalıba CAM sırasında gaz kanalları açılarak gaz oluşumu engellendi. Hava boşlukları analizi Şekil 4.7’de verildi.



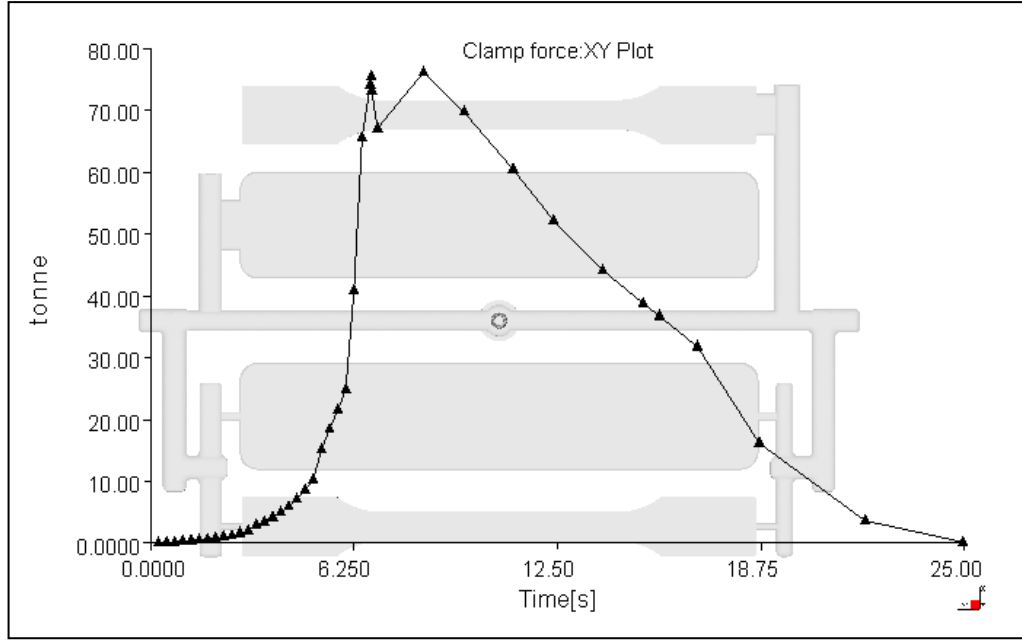
Şekil 4.7: Hava boşluğu analizi.

Parçanın ütüleme basıncı analizi Şekil 4.8’ de verildi. Parça üzerinde en fazla basınç alan bölge ile en az basınç alan bölge arasındaki basınç düşme miktarı %35 ‘tir. Bu oran %40 ‘ın altında olduğu için parça yeterli derecede ütülenebilmektedir.



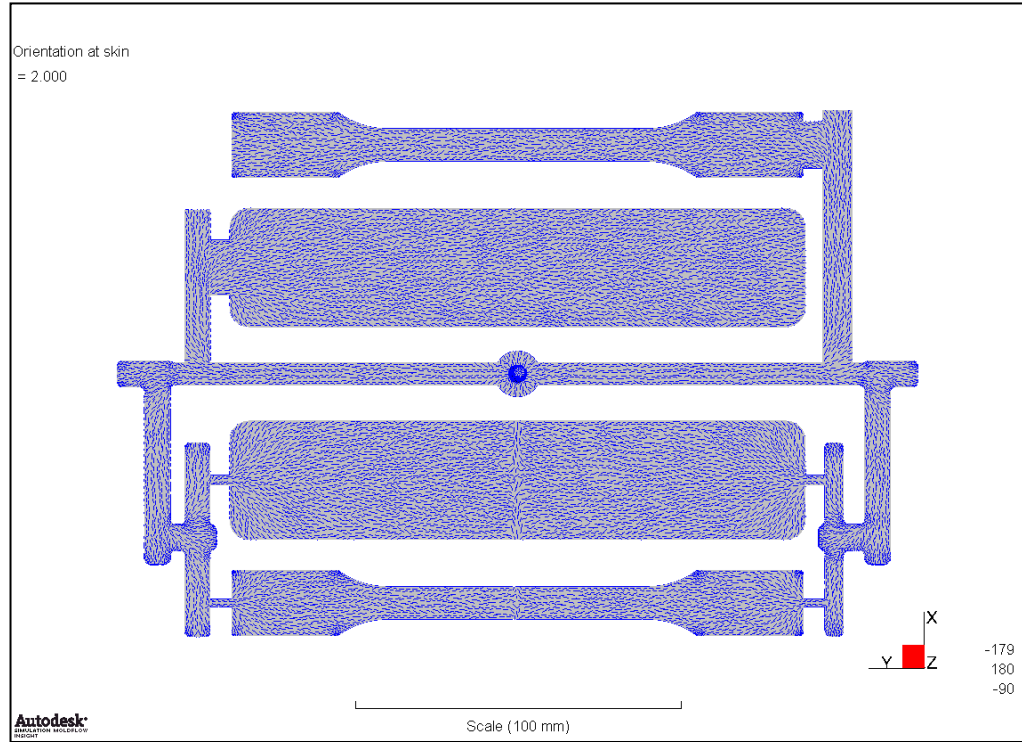
Şekil 4.8: Ütüleme basınç dağılım analizi.

Enjeksiyon tonaj analizi Şekil 4.9 ’daverildi. Minimum kalıp kapama kuvveti, analiz sonucu 75 t olarak bulundu. Bu değere göre kullanılan olan 90 t enjeksiyon makinesi yeterlidir.

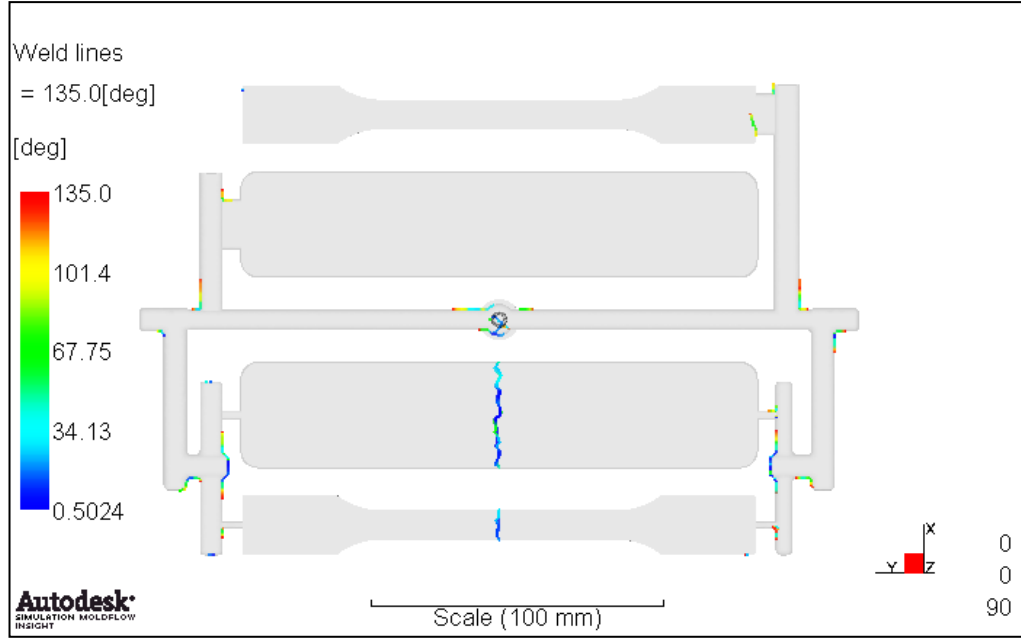


Şekil 4.9: Kapama tonajı.

Parçanın dış yüzeylerinde molekül zinciri oryantasyonu Şekil 4.10’ da, birleşme izleri Şekil 4.11 ’de verildi. Bu analizlere göre parça üzerinde birleşme izleri, ön görülen bölge üzerinde olacağı tespit edildi.



Şekil 4.10: Polimer zinciri oryantasyonu.

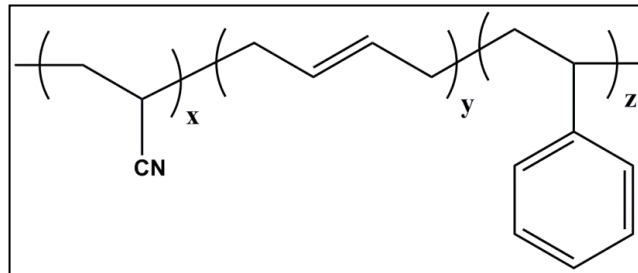


Şekil 4.11: Birleşme izi oluşumu.

4.2. Akrilonitril Bütadien Stiren Polimeri

4.2.1. Yapısı ve hammadde özellikleri

ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), akrilonitril ve stiren monomerlerinin polibütadien yanında polimerizasyonu ile sentezlenen bir terpolimerdir. Akrilonitril ve stiren kopolimeri polibütadien ana zincir üzerinde yan dallar halinde bulunur. Akrilonitril bileşeni, polimere kimyasal direnç ve ısı kararlılık, bütadien darbe dayanımı, stiren ise sertlik özellikleri kazandırır [Saçak, 2005]. ABS ürünleri, otomotiv parçaları, ofis makineleri ve ev eşyaları gibi birçok endüstriyel ve tüketici ürünleri uygulamalarında koruyucu ve dekoratif amaçlı olarak kullanılır [Long, 2010].



Şekil 4.12: ABS malzemesinin kimyasal yapısı.

Bu çalışmada kullanılan ABS LG-ABS HI121H markadır. Malzemenin teknik özellikleri Tablo 4.1 'de verildi.

Tablo 4.1: Kullanılan akrilonitril bütadien stiren malzemesinin teknik özellikleri.

LG Chem HI121H ABS			
Test	Birim	Değer	Test Metodu
	Fiziksel		
Eriyik Akış İndeksi (230 °C/2,16 kg)	g/10 dk	23	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	1,04	ASTM D-792
	Mekanik		
Maksimum Dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	kg/cm ²	520	ASTM D638
Maksimum Uzama (23 °C, hız=50mm/dk)	%	30	ASTM D638
İzod Darbe Testi (23 °C, çentikli)	kg.cm/c m	20	ASTM D-256



Şekil 4.13: ABS malzemesinin enjeksiyon öncesi granül görüntüsü.

4.2.2. Enjeksiyon Hazırlık ve Üretim Şartları

Bu test çubuklarının Tablo 4.2 'deki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirildi.

Tablo 4.2: ABS malzemesinin hazırlık ve üretim şartları.

	Meme	210
Isıtıcılar (°C)	Fırın 1	210
	Fırın 2	200
	Fırın 3	190
Enjeksiyon Basıncı (bar)		50-80
Enjeksiyon Hızı (%)		50-55
Soğuma Zamanı (sn)		30
Ütüleme Basıncı (bar)		45
Ütüleme Zamanı (sn)		5
Kalıp Sıcaklığı (°C)		50
Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)		15
Kurutma Sıcaklığı (°C)		80
Kurutma Süresi (saat)		2

Tezin amacı, önerilen malzeme ve kalıp sıcaklıklarında, optimum sürede birleşme izi etkilerini azaltmak olduğu için kalıp soğuma proses zamanı, bu değerler için hesaplanarak 30 sn soğutma zamanı enjeksiyon makinesine girildi.

$$t = \frac{s^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_h - T_m}{T_p - T_m} \right) \quad (4.1)$$

$$t = \frac{4^2}{\pi^2 0,0827} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{210 - 50}{60 - 50} \right) \quad (4.2)$$

$$t = 30 \text{ sn} \quad (4.3)$$

4.2.3. Deney Setleri

Birleşme izlerini ve bu izlerin görsel ve mekanik olarak iyileşmesini gözlemlemek için üç deney seti hazırlandı. İlk deney setinde rezistans pasif olup kalıp sıcaklığı 50±3 °C’de tutulu. İki numaralı deney setinde ürünün A yüzeyinde birleşme izlerinin etkilerini azaltmak için birleşme izinin oluşacağı çelikte yüzey sıcaklığı 65±3 °C’ye çıkarılarak numuneler alındı. Bu sıcaklık değeri akronitril bütadien stiren malzemesinin yumuşama sıcaklık değeri olan 90±4 °C değerleri sınırındadır. Üç numaralı deney setinde yumuşama sıcaklığının üzerine 15 °C çıkılarak rezistans 80±3 °C’ye birleşme izlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

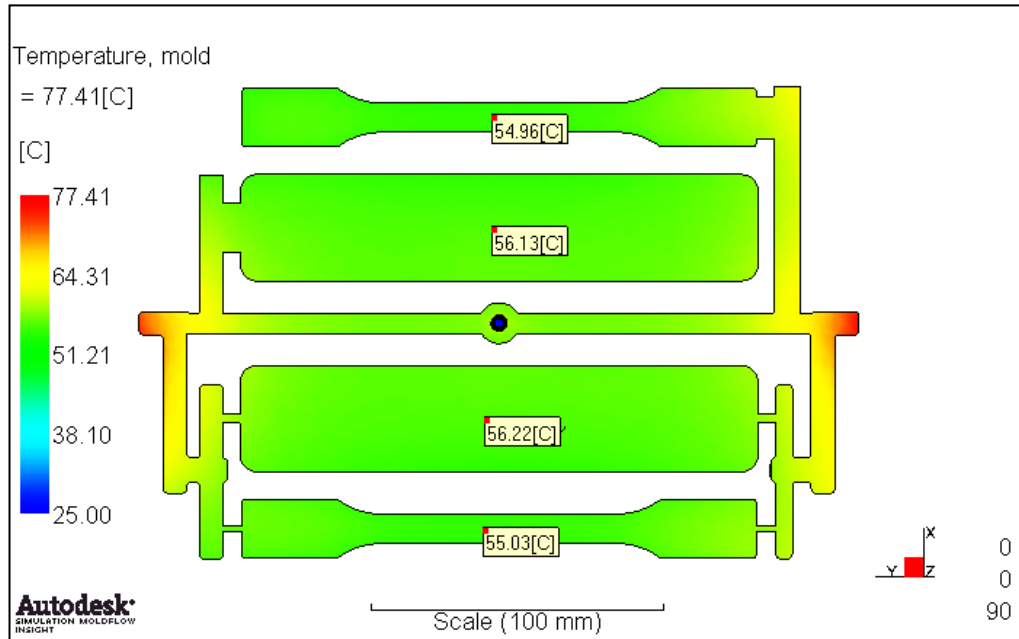
Bu değerler sıcaklıklar ve incelenen numunelerin deney setleri Tablo 4.3 ‘te, deney setlerinin enjeksiyon ürün görüntüsü Şekil 4.4 ‘te verilmiştir.

Tablo 4.3: ABS malzemesinin deney setleri.

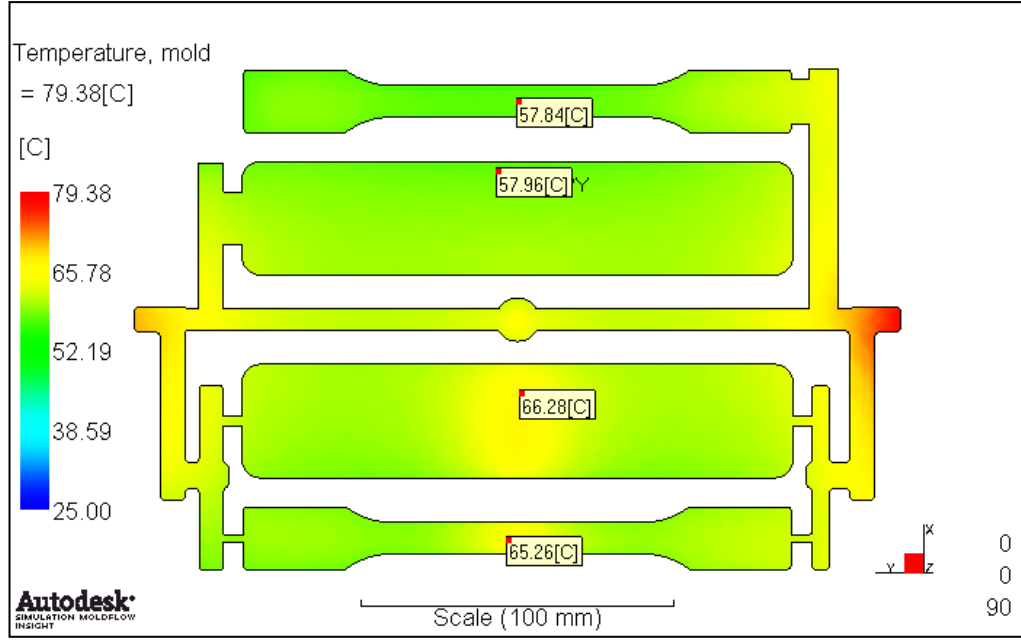
Deney Setleri	Deney Setleri Kısaltmaları
Kalıp sıcaklığı 50 °C ve rezistans pasif durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	ABS-50-W
Kalıp sıcaklığı 50 °C ve rezistansın 65 °C 'ye ayarlanmış durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	ABS-50-65-W
Kalıp sıcaklığı 50 °C ve rezistansın 80 °C 'ye ayarlanmış durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	ABS-50-80-W
Kalıp sıcaklığı 50 °C olduğu durumdaki birleşme oluşturulmamış deney seti.	ABS-50-D

4.2.4. ABS için Termal Analizler

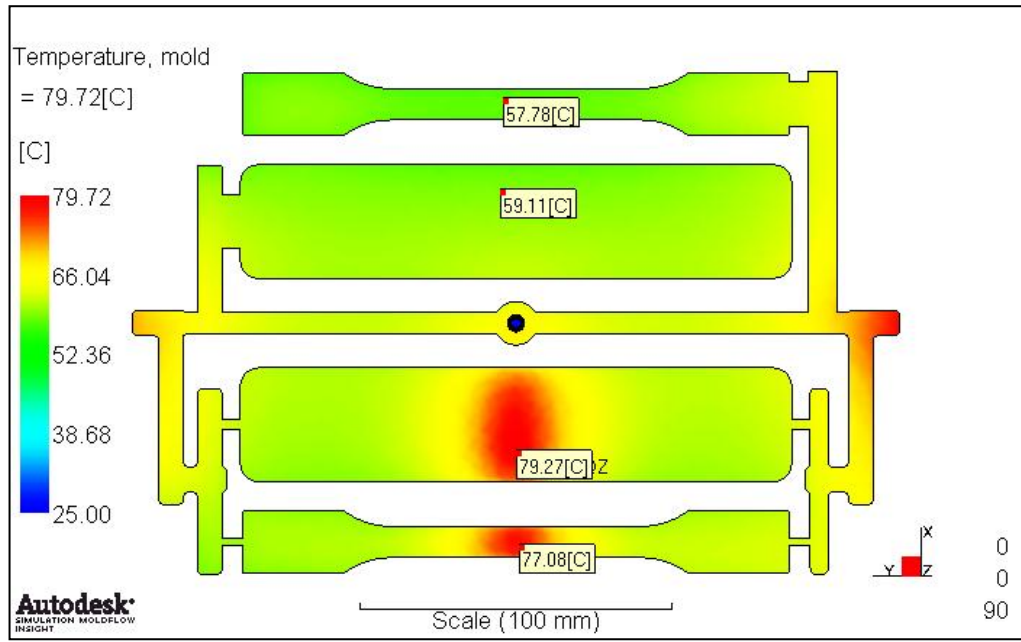
ABS için yapılan deney setlerine göre parça üzerinde sıcaklık dağılımları Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da verildi. Rezistans seçimi bu değerlere göre yapıldı.



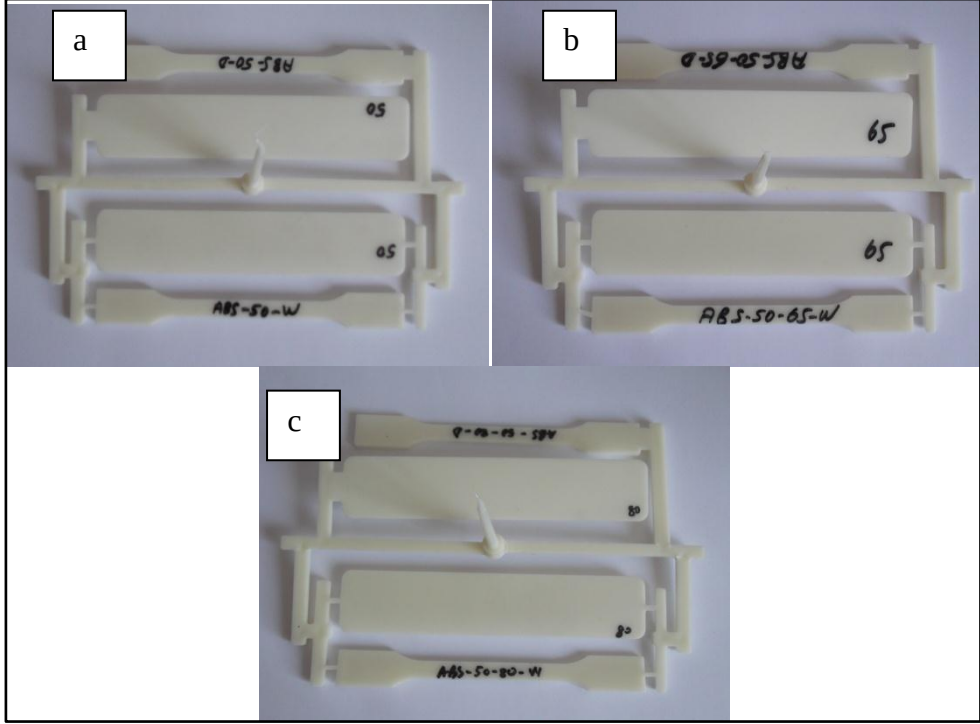
Şekil 4.14: ABS-50-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.15 : ABS-50-65-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.16 : ABS-50-80-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.17: ABS malzemesinin deney setlerinin görüntüleri. a) ABS-50-W ve ABS-50-D deney setlerinin enjeksiyon ürün görüntüsü, b) ABS-50-65-W deney setinin enjeksiyon ürün görüntüsü, c) ABS-50-80-W deney setinin enjeksiyon ürün görüntüsü.

4.2.5. Mekanik Testler

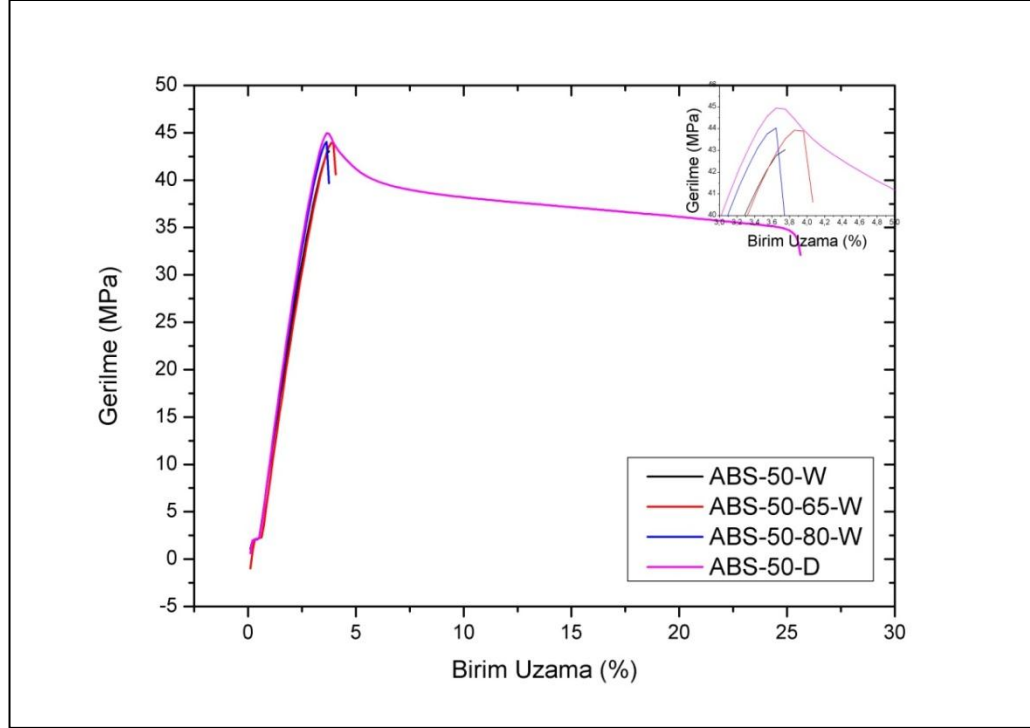
4.2.5.1. Çekme Testi

ABS malzemesine çekme test hızı 5 mm/dak olarak ISO 527 test standardına göre yapıldı. Tablo 4.4 'te ABS malzemesinin dört deney setindeki maksimum uzama, maksimum çekme dayanımı, çekme elastisite modülü ve akma dayanım değerleri verilmiştir.

Şekil 4.19 'te görülen gerilme-uzama eğrisinde düz giriş ile beslenen ABS numunesi sert ve sağlam olarak nitelendirilirken diğer 2 beslemeye sahip, birleşme izli numuneler sert ve kırılkan olarak nitelendirilirler [Erturan ve Deniz, 2009].

Tek noktadan enjekte edilen ve birleşme izi oluşmayan ABS-50-D deney setinde kopma noktasında %26 birim uzama tespit edilirken, iki noktadan enjekte edilen ve birleşme izi oluşan deney setlerinde bu değer %3 'ün altındadır. Bu, çekme yönünde zorlanan birleşme izine sahip parçaların düşük uzama miktarlarında parça üzerinde beyazlama şeklinde yüzey hatası oluşturmaya sebep olmaktadır. Yapılan

önceki çalışmalarda da, amorf polimer olan CPVC için birleşme izi oluşan numunelerde sıcaklığın artmasıyla uzama değerlerinin azaldığı ve bu bölgelerin kırılgan olduğu tespit edilmiştir [Merah et al., 2003].



Şekil 4.18: ABS malzeme numunesinin örnek gerilme-birim uzama grafiği.

ABS-50-D deney setinde birden fazla düzlem üzerinden kopma oluşurken sadece birleşme izinin bulunduğu numunelerde kopma, birleşme noktası üzerinde bulunan zayıf düzlem üzerinde meydana gelmektedir. Bu düzlemin dört tarafında oluşan mikro çentikler, çekme esnasında büyüyerek parçanın deformasyonu tamamlanmadan kopmasına neden olmaktadır.

Tablo 4.4'te görülen çekme sonuçları ön görülen kaynak bölgesinde sıcaklığın artırılması ile çekme özelliklerinin artıracağı tezini doğrulamaktadır.

Akma dayanımında ABS-50-D deney seti ile ABS-50-W deney seti arasında %6.9 fark bulunurken birleşme izi bulunan bölgede sıcaklığın 15 °C artırılması ile fark %5.5'e, birleşme izi bulunan bölgede sıcaklığın 30 °C artırılması ile %3.5 değerine düşmüştür. Maksimum çekme dayanımı ve çekme elastisite modülü değerlerinde de benzer şekilde birleşme izi bulunan bölgede sıcaklık değeri yükseldikçe artmaktadır.

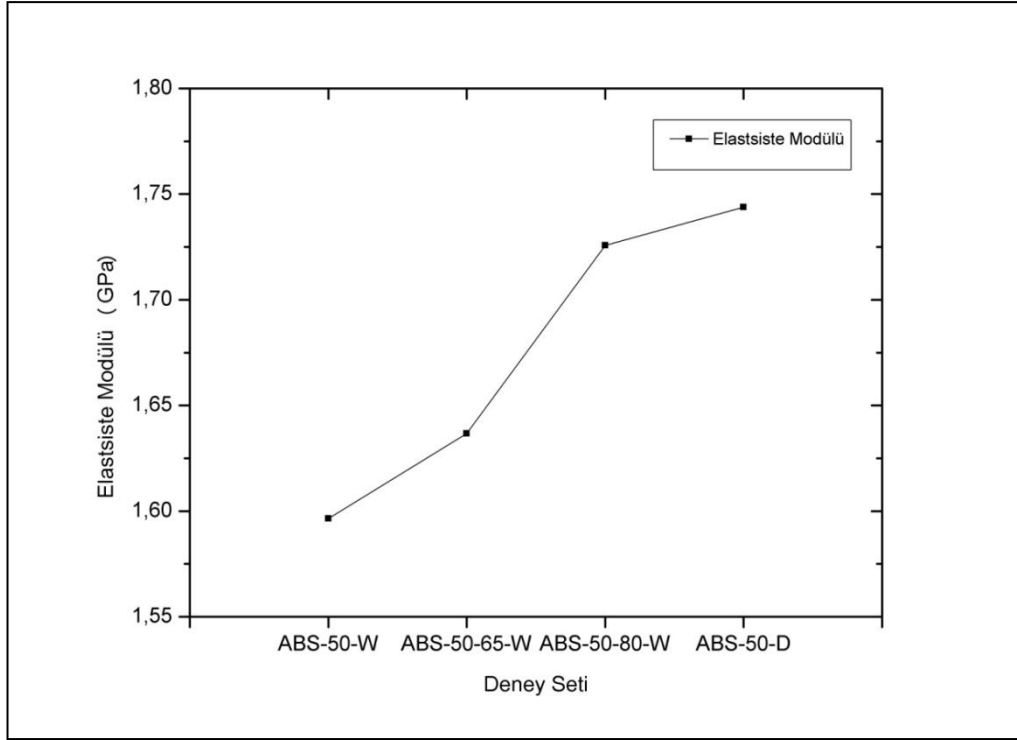
Literatürde, test sonucunda bulunan değerleri desteklemektedir. ABS malzemesi için birleşme izinin et kalınlığına ve kalıp sıcaklığına göre değişimini gözlemleyen çalışmada, 50 °C, 60 °C ve 70 °C kalıp sıcaklığına, 1 mm, 1.2 mm ve 2.5 mm et kalınlıklarında ürünlerle yapılan deneylerde birleşme izine sahip ürünlerde çekme dayanım değerinde %5 iyileşme görülmüştür [Chen et al., 2007].

Tablo 4.4: ABS malzemesinin çekme testi dayanım sonuçları.

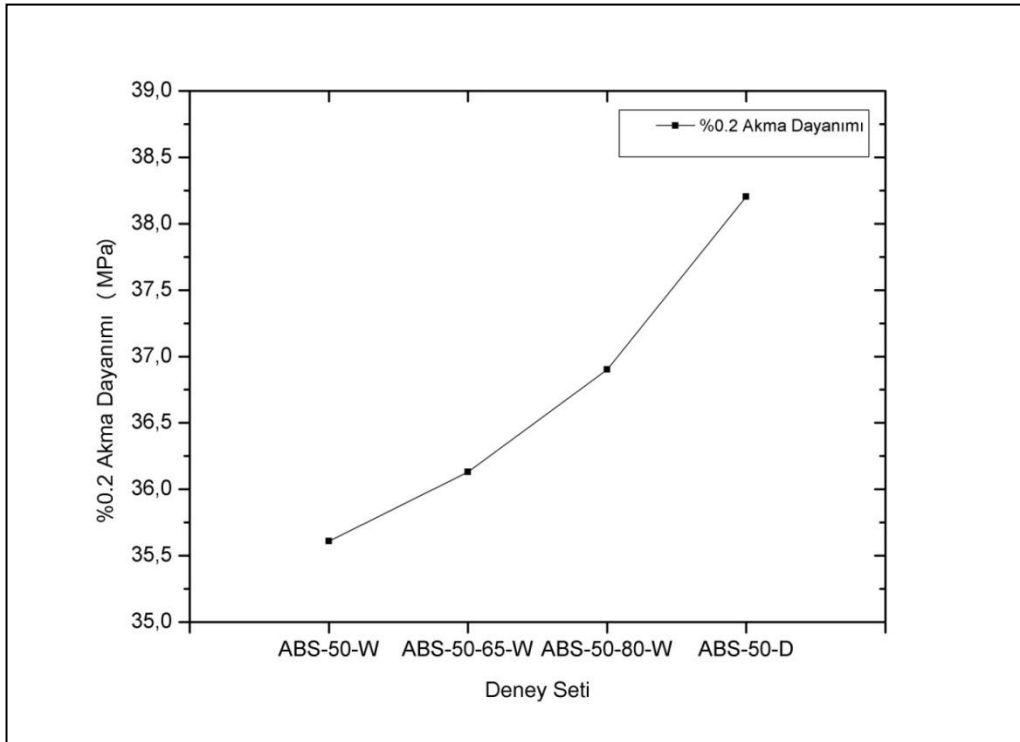
Deney Şartları	Maksimum Çekme	Çekme Elastisite	
	Dayanımı	Modülü	Akma Dayanımı
	(MPa) Ortalama	(GPa) Ortalama	(MPa) Ortalama
ABS-50-W	43.53	1.59	35.60
ABS-50-65-W	43.64	1.63	36.12
ABS-50-80-W	44.17	1.72	36.90
ABS-50-D	45.01	1.74	38.20

Tablo 4.5: ABS malzemesinin çekme testi şekil değiştirme sonuçları.

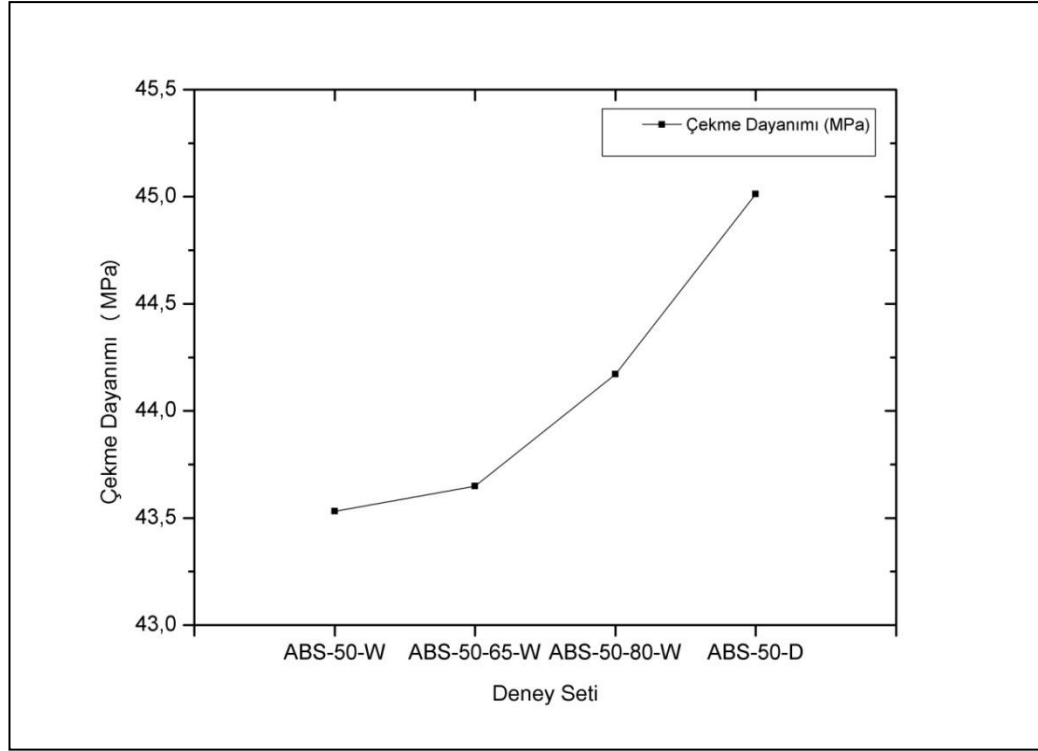
Deney Şartları	Maksimum	Maksimum Dayanım	
	Dayanım Değerinde	Değerinde Uzama(mm)	
	Uzama(%) Ortalama	Ortalama	Maksimum Uzama Miktarı (mm) Ortalama
ABS-50-W	3.81	3.06	3.05
ABS-50-65-W	3.71	2.93	3.00
ABS-50-80-W	3.50	2.80	2.84
ABS-50-D	3.69	2.94	13.40



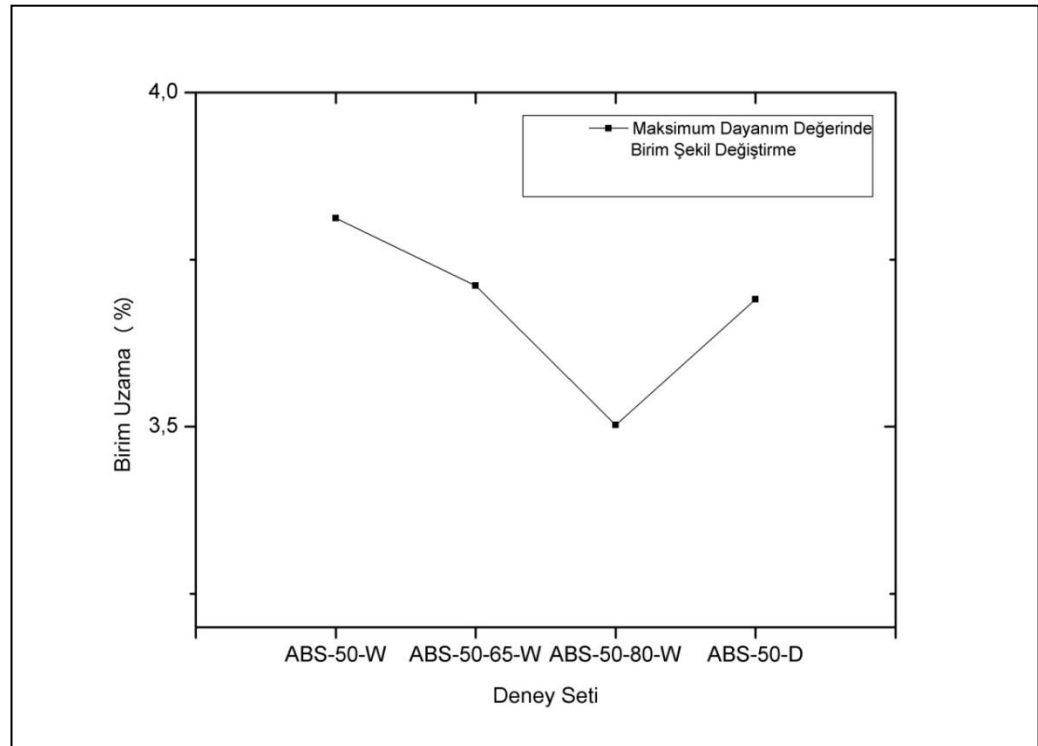
Şekil 4.19: ABS malzemesinin elastisite modülü grafiği.



Şekil 4.20: ABS malzemesinin %0.2 akma dayanımı grafiği.



Şekil 4.21: ABS malzemesinin çekme dayanım grafiği.



Şekil 4.22: ABS malzemesinin birim uzama grafiği.

4.2.5.2. Darbe Testi

ABS hammadde için izod darbe testi ISO 180 numaralı standarda göre 2,75 joule'luk çekiçe yapıldı.

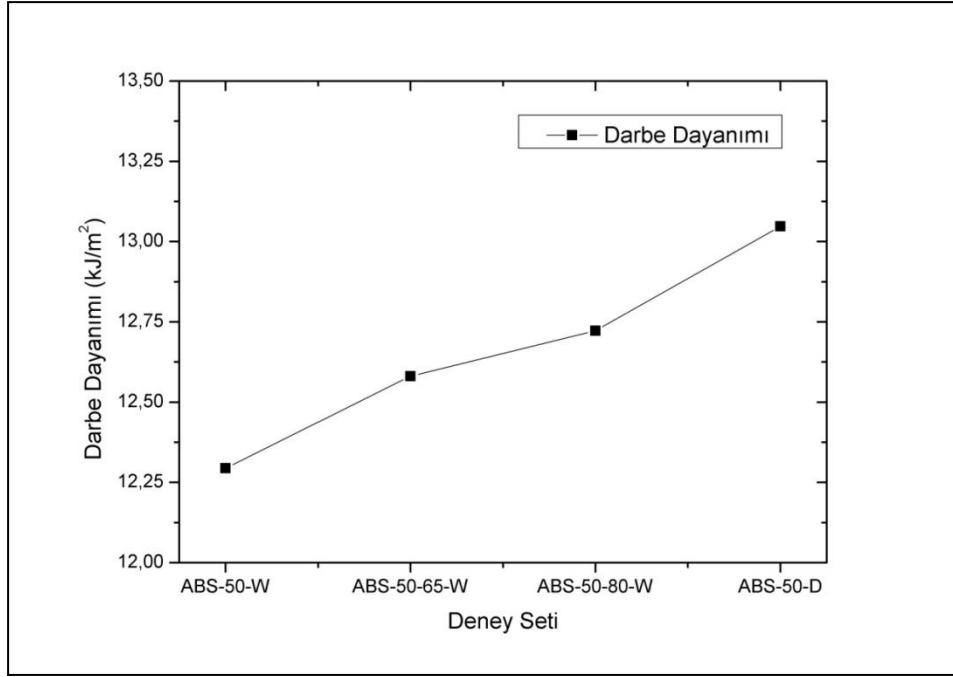
Darbe dayanımında, dört deney seti için de gerekli enerji absorpsiyon değerlerini sağlayabilmek için test numunelerine ISO 180 standardına göre A tipi çentikler açıldı. Literatürde de çentik açılmayan numuneler kırılma göstermediği için numunelere çentik açılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonunda kırılma olan malzeme için darbe dayanım değerinin düştüğü belirtilmiştir [Daiyan et al., 2010].

Test sonuçları Tablo 4.6 'da verildi. Şekil 4.11'de ise izod darbe dayanım değerleri, grafik olarak verildi.

Darbe dayanımında ABS-50-D deney seti ile ABS-50-W deney seti arasında %5,8 fark bulunurken birleşme izi bulunan bölgede sıcaklığın 15 °C artırılması ile fark %3,6 'ya, birleşme izi bulunan bölgede sıcaklığın 30 °C artırılması ile %2,5 değerine düşmüştür.

Tablo 4.6: ABS malzemesinin darbe testi dayanım sonuçları.

Deney Şartları	Darbe Dayanımı (kj/m ²)
	Ortalama
ABS-50-W	12.29
ABS-50-65-W	12.58
ABS-50-80-W	12.72
ABS-50-D	13.04



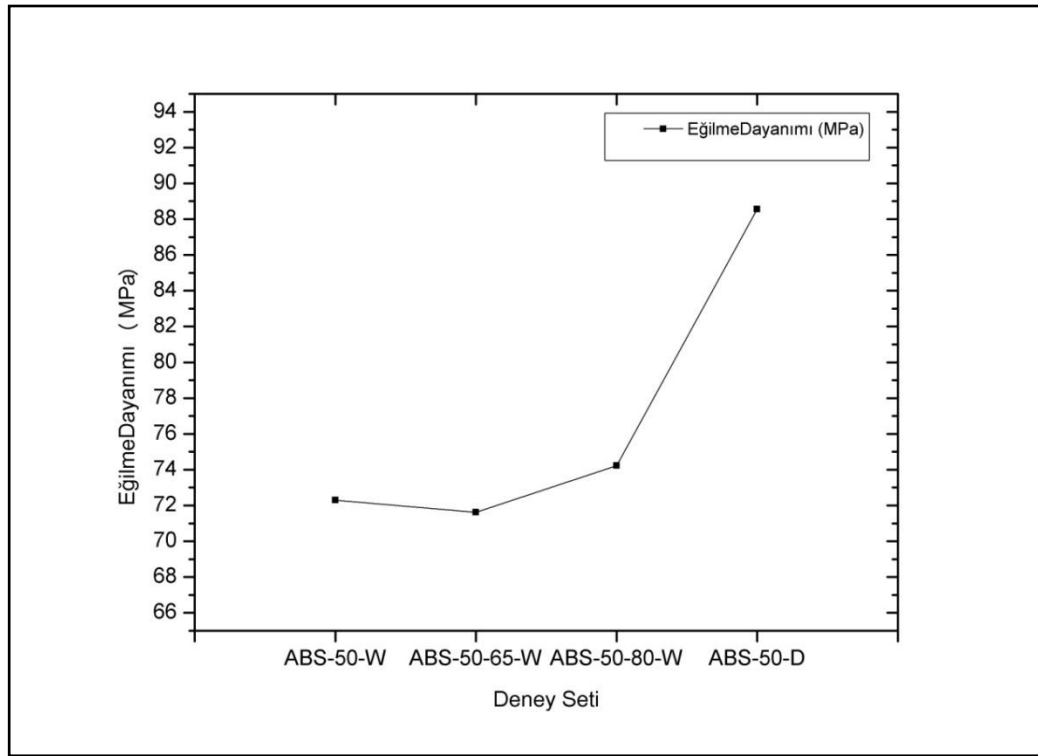
Şekil 4.23: ABS malzemesinin darbe dayanım grafiği.

4.2.5.3. Eğilme Testi

ABS malzemesine üç noktalı eğilme dayanımı testi 10mm/dak hızla uygulanmıştır. Tablo 4.7 'de ABS malzemesinin eğilme dayanım değerleri Şekil 4.12 'de verildi. Eğme dayanım değerleri artan sıcaklık değerleri ile eğme testinde basıya maruz kalan bölgede polimer zincir yerleşimi akış yönüne dik olduğu için bu bölge bası kuvvetlerine karşı ABS-50-D deney setinden daha kuvvetlidir. Ancak kaynak hattına sahip deney setleri, çentik etkisine karşı eğme dayanımını çeki yönünde zayıflatmaktadır. Sert ve kırılgan olan ABS polimeri çentik etkisiyle birlikte eğilme dayanımı, birleşme izine sahip tüm deney setlerinde %20 oranında azalmaktadır.

Tablo 4.7: ABS malzemesinin eğilme test sonuçları.

Deney Şartları	Eğilme Dayanımı	Eğilme Modülü
	(MPa)	(GPa)
	Ortalama	Ortalama
ABS-50-W	72.29	2.59
ABS-50-65-W	71.61	2.53
ABS-50-80-W	74.23	2.77
ABS-50-D	88.54	2.85



Şekil 4.24: ABS hammaddesinin eğilme dayanımı grafiği.

4.2.5.4. Yüzey Pürüzlülük testi

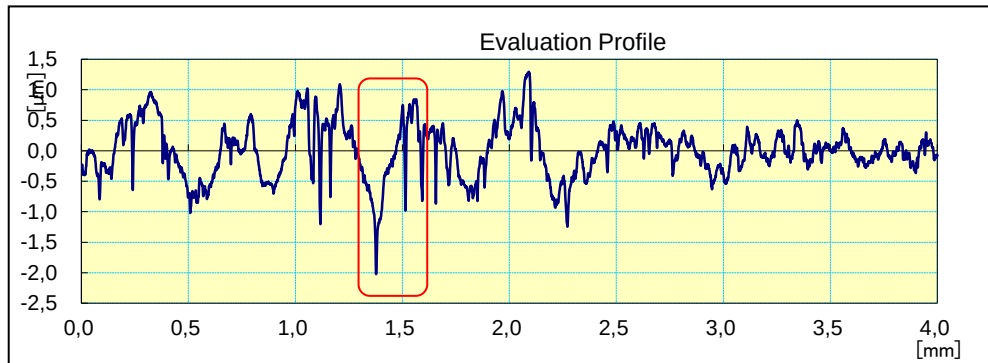
Birleşme izlerini inceleyebilmek için bu bölgelerde yüzey pürüzlülük testi yapılmıştır. Birleşme olan noktalar tespit edilerek 4 mm uzunluğunda bölüm mekanik profilometre ile taranmıştır. Tablo 4.8 'de ABS malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri (Ra) verilmiştir. Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 1.16'da yüzey pürüzlülük değerleri verildi.

Yüzey sıcaklığının 50 °C ‘den 65 °C ‘ye artırılması ile Ra değeri 0,335 μm ‘den 0,254 μm ‘ye azalmasının sebebi, yumuşama sıcaklığının altında plastik, çelik yüzeyine daha iyi yapışmaktadır. Birleşme noktasında bulunan “v” şeklindeki çentik derinliği 2 μm değerinden 1,4 μm değerine azalırken çentik genişliğinde azalma gözlemlendi. Yüzey sıcaklığının 50 °C ‘den 80°C ‘ye artırıldığında ortalama yüzey pürüzlülük değeri sıcaklığın yumuşama sıcaklığına yaklaşması sebebiyle 0,335 μm ‘den 0,343 μm ‘ye artmakta, birleşme noktasında bulunan “v” çentik derinliği 2 μm değerinden 1,1 μm değerine azalırken çentiğin görüntüsü, artan pürüzlülük profili içerisinde belirsiz olmaktadır (Şekil 4.17).

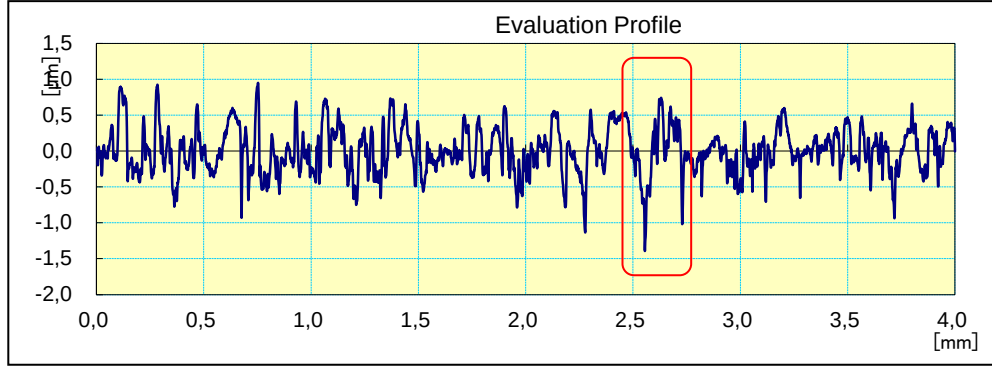
Literatürde seri ısı döngü ile yüksek sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan deneylerde birleşme izlerinin bulunduğu bölgede profilometre ile yapılan ölçümlerde yüzey Ra değerinde iyileşme görülmüştür [Fiorotto and Lucchetta, 1981].

Tablo 4.8: ABS malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri sonuçları.

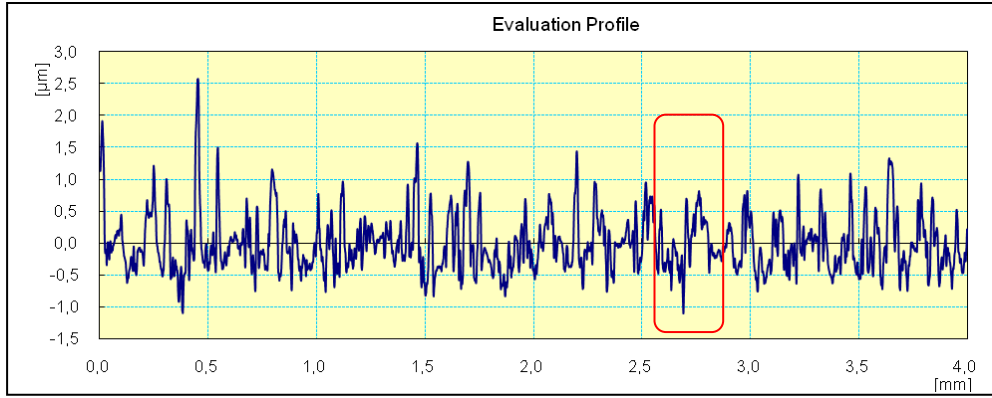
Deney Şartları	Ra μm
ABS-50-W	0.335
ABS-50-65-W	0.254
ABS-50-80-W	0.343
ABS-50-D	0.132



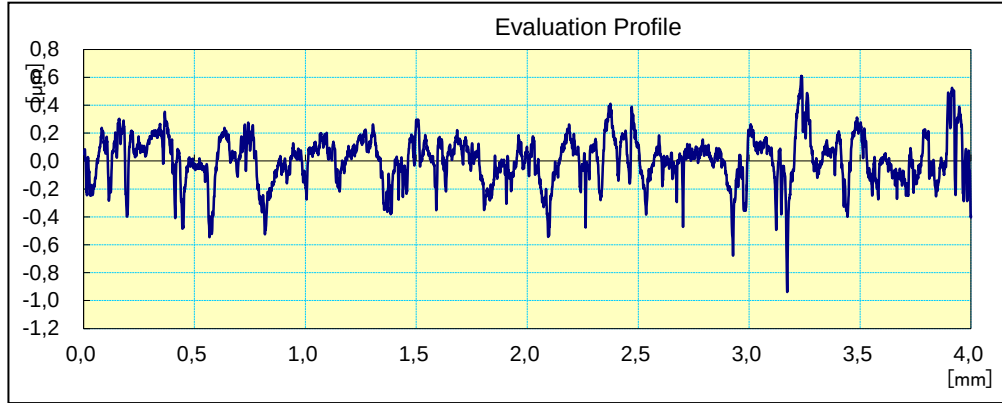
Şekil 4.25: ABS-50-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



Şekil 4.26: ABS-50-65-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



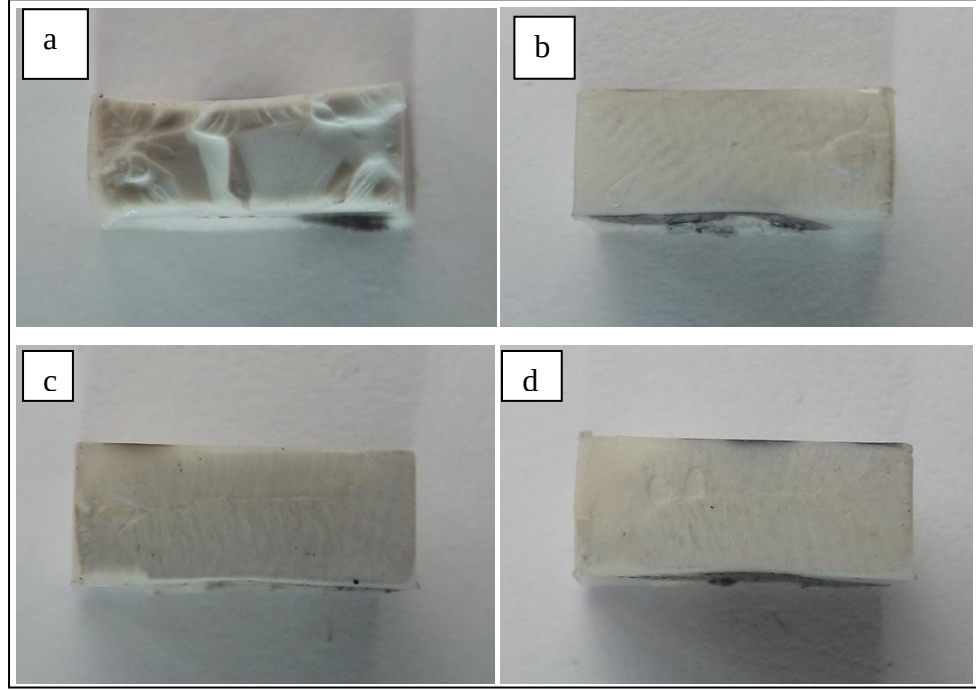
Şekil 4.27: ABS-50-80-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



Şekil 4.28: ABS-50-D deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.

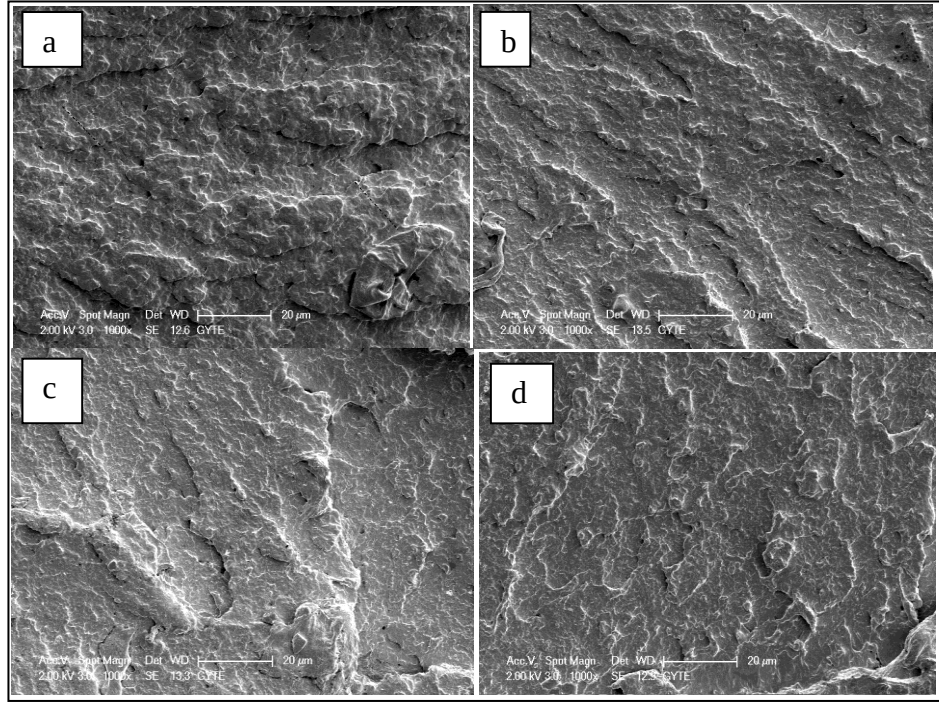
4.2.5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri

Çekme testi sonrası ürün kopma yüzeyleri Şekil 4.6’ da verilmiştir. Şekilde “c” ve “d” görüntülerinde çelik yüzeyinin daha sıcak olması dolayısıyla birleşmenin “b” ‘de verilen görüntüden daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



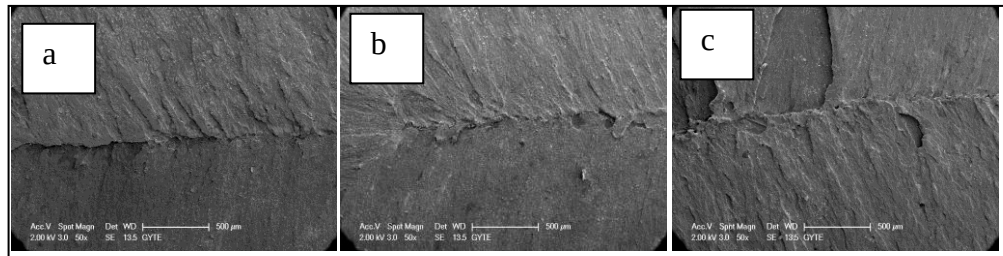
Şekil 4.29: ABS deney setlerinin çekme testi kopma yüzeyi görüntüleri. a) ABS-50-D çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, b) ABS-50-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, c) ABS-50-65-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, d) ABS-50-80-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü.

Çekme testi sonrası ürün kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile tarandı. Birleşme izi olan ürünlerinkopma yüzeylerinin 1000 kat büyütülerek alınan görüntülerde, kopma yüzeylerinde düzlemsel geometriler tespit edildi. Bu kopma yüzeyi sert ve kırılğan malzeme olarak literatürde yer almaktadır [Beer and Johnston, 2010].



Şekil 4.30: ABS malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüleri. a) ABS-50-D çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, b) ABS-50-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, c) ABS-50-65-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, d) ABS-50-80-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü.

ABS malzemenin birleşme izinde sıcaklık etkisiyle oluşan değişimleri tespit etmek için taramalı elektron mikroskobu ile birleşme izinin bulunduğu bölge 50x büyütme ile incelendi. Şekil 4.31 'deki görüntülerde en düzgün birleşme yüzeyi 65 °C kalıp yüzey sıcaklığına sahip olan ikinci deney setinde elde edildiği görülmektedir. ABS-50-80-W deney setinde daha etkili kaynama tespit edilirken sıcaklık etkisiyle yüzeyde dalgalanma gözlemlendi. Profilometre ile yapılan yüzey pürüzlülük testi, elde edilen SEM sonuçlarını doğrulamaktadır.

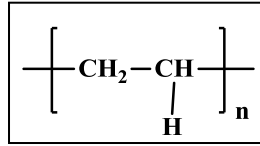


Şekil 4.31: ABS malzemesinin deney setlerine göre birleşme izi yüzeyi SEM görüntüleri. a) ABS-50-W deney setine ait birleşme izi SEM görüntüsü, b) ABS-50-65-W deney setine ait birleşme izi SEM görüntüsü, c) ABS-50-80-W deney setine ait birleşme izi SEM görüntüsü.

4.3. Alçak Yoğunluklu Polietilen

4.3.1. Yapısı ve Hammadde Özellikleri

Genel olarak, PE (Polietilen) yüksek yoğunluklu ve alçak yoğunluklu olarak 2 şekilde üretilebilmektedir. YYPE’de (Yüksek yoğunluklu polietilen) dallanma görülmez ve zincirler doğrusaldır. Bu nedenle YYPE kristalin yapı gösterir. AYPE ise üretim esnasında basınç uygulanmasıyla zincirlerde dallanma meydana gelir. Polimer zincirlerindeki dallanmalar, metilen, etilen, propilen gibi birkaç karbonluk kısa yapıda olabileceği gibi, ana zincire eş uzunlukta da olabilir. Bu durum, AYPE’nin amorf özellik göstermesine neden olur. Bu çalışmada kullanılan AYPE DOW-LDPE 780E marka polietilendir.



Şekil 4.32: Alçak yoğunluklu polietilenin kimyasal formülü.

Tez kapsamında polietilen malzeme olarak DOW LDPE 780E marka ürün kullanılmıştır. DOW LDPE 780E alçak yoğunluklu polietilen malzemeye ait üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Kullanılan alçak yoğunluklu polietilen malzemesinin teknik özellikleri.

DOW LDPE 780E POLİETİLEN			
Test	Birim	Değer	Test Metodu
Fiziksel			
Eriyik Akış İndeksi (230 °C/2,16 kg)	g/10 dk	19	ASTM D-1238
Yoğunluk	g/cm ³	0,9222	ASTM D-792
Mekanik			
Maksimum Dayanım (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	11	ISO 527-2
Akma Dayanımı (23 °C, hız=50mm/dk)	MPa	8,2	ISO 527-2
Maksimum Uzama (23 °C, hız=50mm/dk)	%	50	ISO 527-2



Şekil 4.33: PE malzemesinin enjeksiyon öncesi granül görüntüsü.

4.3.2. Enjeksiyon Hazırlık ve Üretim Şartları

Test çubuklarının Tablo 4.10 'daki üretim şartlarına göre plastik enjeksiyonda basımı gerçekleştirildi.

Tablo 4.10: Alçak yoğunluklu polietilen enjeksiyon hazırlık ve üretim şartları.

	Meme	190
Isıtıcılar (°C)	Fırın 1	195
	Fırın 2	190
	Fırın 3	185
Enjeksiyon Basıncı (bar)		50-75
Enjeksiyon Hızı (%)		50-70
Soğuma Zamanı (sn)		20
Ütüleme Basıncı (bar)		40
Ütüleme Zamanı (sn)		5
Mal Alma Hızı (%)		50
Kalıp Sıcaklığı (°C)		30
Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)		15

Tezin amacı, önerilen malzeme ve kalıp sıcaklıklarında, optimum sürede birleşme izi etkilerini azaltmak olduğu için kalıp soğuma proses zamanı, bu değerler için hesaplanarak 30 sn soğutma zamanı enjeksiyon makinesine girildi.

$$t = \frac{s^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_h - T_m}{T_p - T_m} \right) \quad (4.4)$$

$$t = \frac{4^2}{\pi^2 0,0827} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{190-30}{40-30} \right) \quad (4.5)$$

$$t = 30 \text{ sn} \quad (4.6)$$

4.3.3. Deney Setleri

Birleşme izlerini ve bu izlerin görsel ve mekanik olarak iyileşmesini gözlemlemek için üç deney seti hazırlandı. İlk deney setinde rezistans pasif olup kalıp sıcaklığı 30 °C’de tutulu. İki numaralı deney setinde ürünün A yüzeyinde birleşme izlerinin etkilerini azaltmak için birleşme izinin oluşacağı çelikte yüzey sıcaklığı 45±4 °C’ye çıkarılarak numuneler alındı. Bu sıcaklık değeri alçak yoğunluklu polietilenin yumuşama sıcaklık değeri olan 43-54 °C değerleri arasındadır. Üç numaralı deney setinde yumuşama sıcaklığının üzerine 15 °C çıkılarak rezistans 60±4 °C’ye birleşme izlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

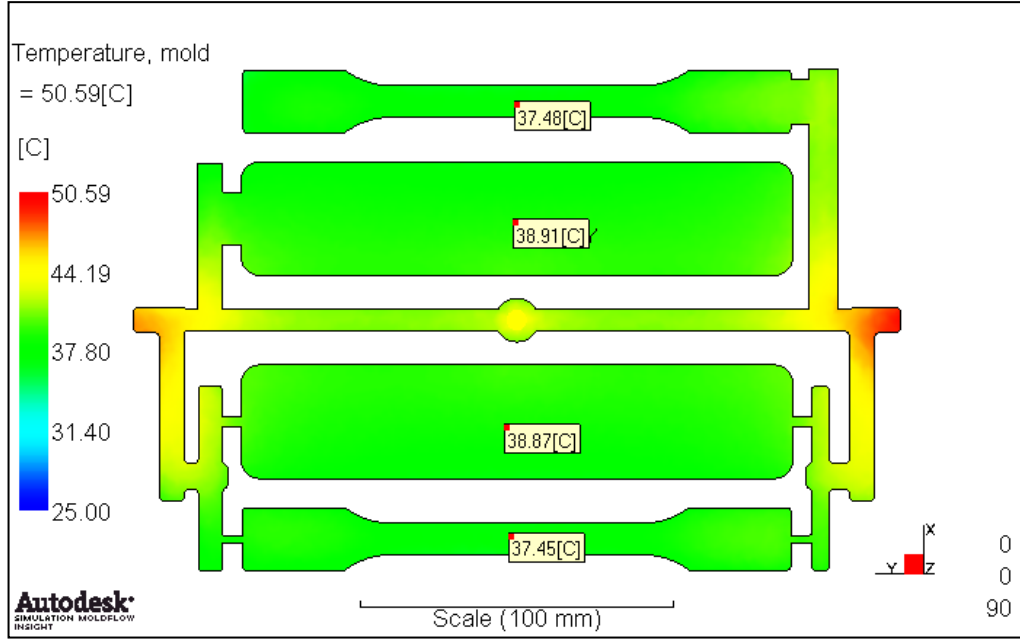
Bu değerler sıcaklıklar ve incelenen numunelerin kısaltılmaları Tablo 4.11’de, deney setlerinin enjeksiyon ürün görüntüsü Şekil 4.19 ‘da verilmiştir.

Tablo 4.11:PE malzemesinin deney setleri.

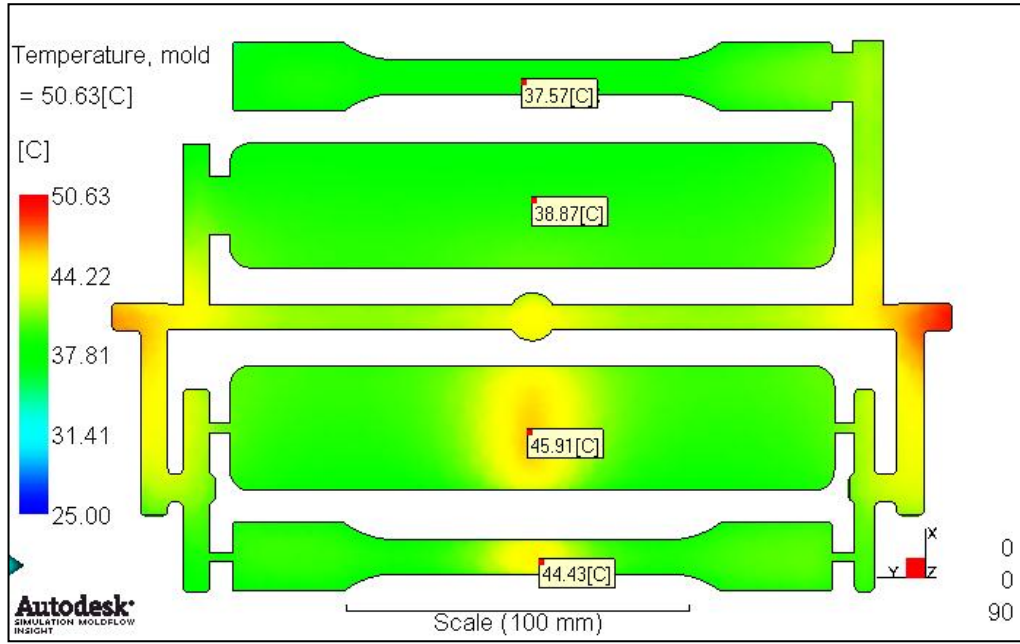
Deney Setleri	Deney Setleri Kısaltmaları
Kalıp sıcaklığı 30 °C ve rezistans pasif durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	PE-30-W
Kalıp sıcaklığı 30 °C ve rezistansın 45 °C ‘ye ayarlanmış durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	PE-30-45-W
Kalıp sıcaklığı 30 °C ve rezistansın 60 °C ‘ye ayarlanmış durumdaki birleşme izi oluşturulmuş deney seti.	PE-30-60-W
Kalıp sıcaklığı 30 °C olduğu durumdaki birleşme oluşturulmamış deney seti.	PE-30-D

4.3.4. PE için Yapılan Termal Analizler

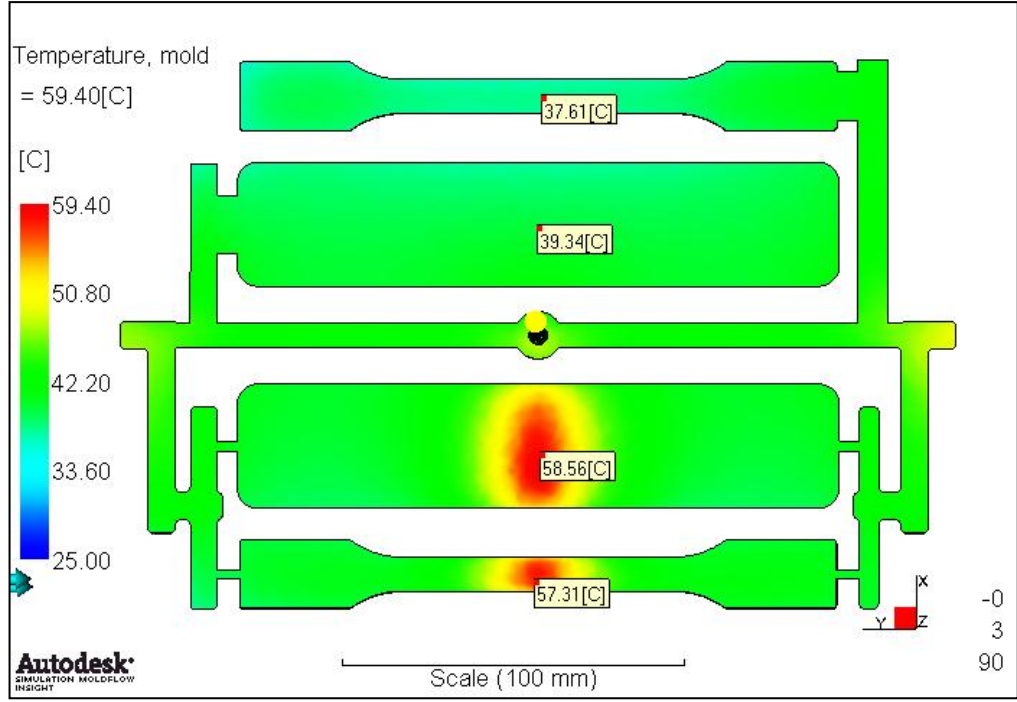
Deney setlerine göre parça üzerinde sıcaklık dağılımları Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’ de verildi. Rezistans seçimi bu değerlere göre yapıldı. Şekil 4.38 ‘de PE malzemesinin deney setlerine göre enjeksiyon ürün görüntüsü verildi.



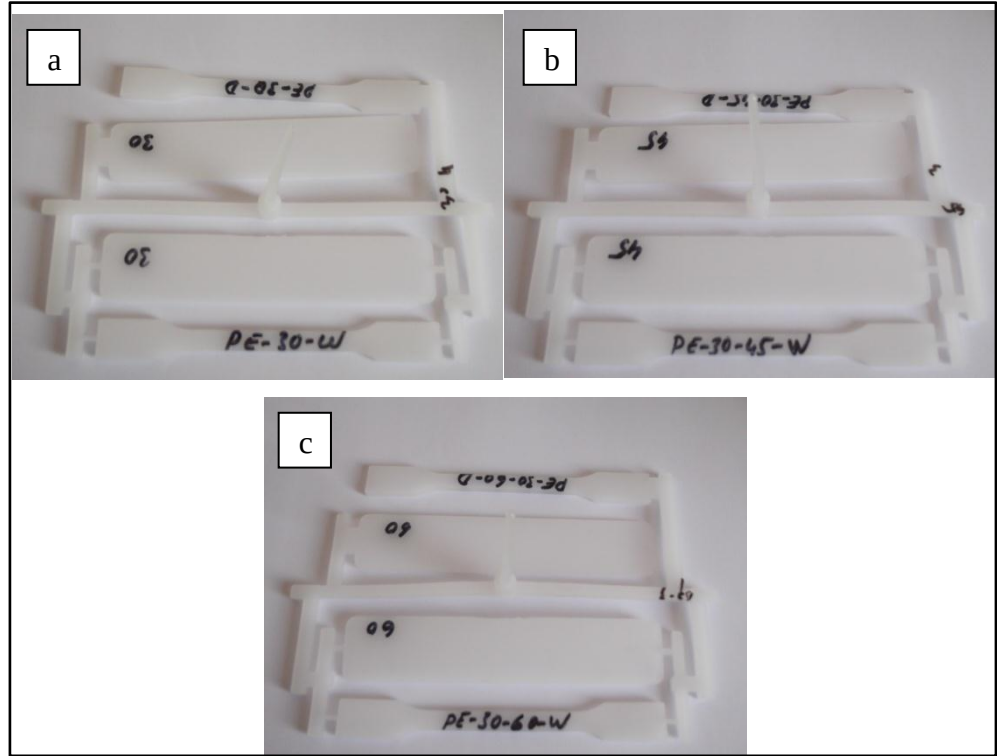
Şekil 4.34: PE-30-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.35: PE-30-45-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.36: PE-30-45-W deney seti için kalıp yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.37: PE malzemesinin deney setlerinin görüntüleri. a) PE-30-W ve PE-30-D deney setlerinin enjeksiyon ürün görüntüsü, b) PE-30-45-W deney setinin enjeksiyon ürün görüntüsü, c) PE-30-65-W deney setinin enjeksiyon ürün görüntüsü.

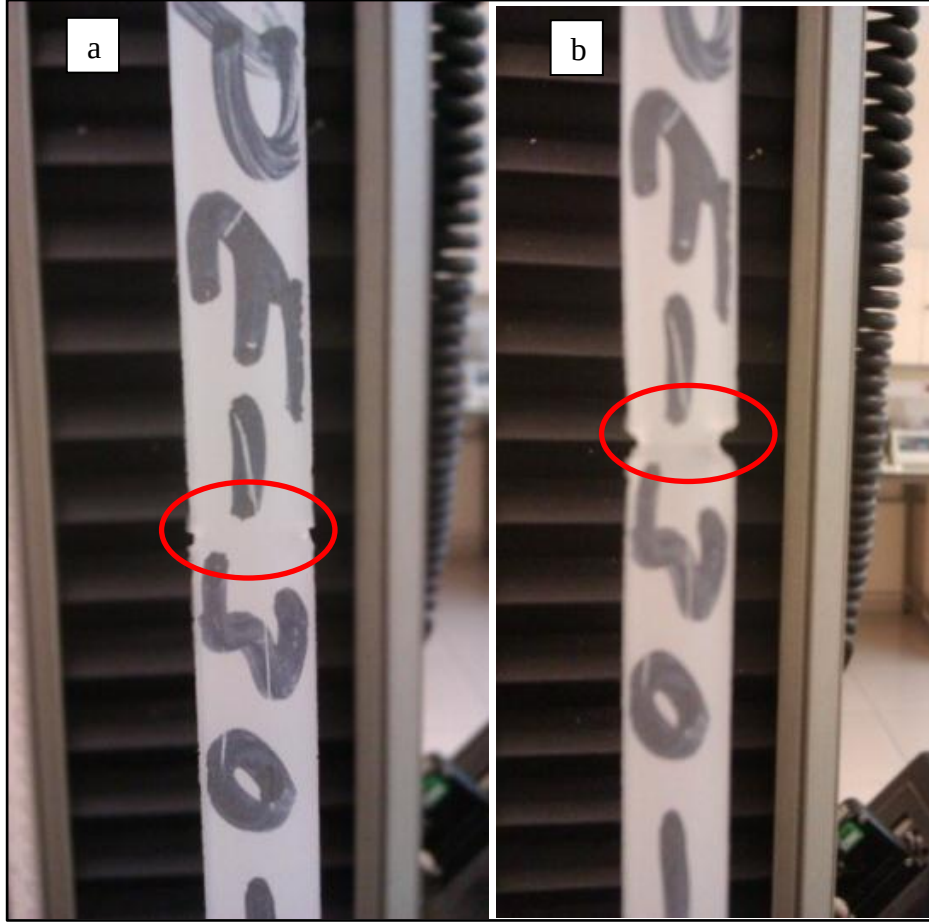
4.3.5. Mekanik Testler

4.3.5.1. Çekme Testi

AYPE malzemesine çekme test hızı 50 mm/dak olarak ISO 527 test standardına göre yapıldı. Tablo 4.12 ve Tablo 13 'te PE malzemesinin dört deney setindeki maksimum uzama, maksimum çekme dayanımı, çekme elastisite modülü ve akma dayanım değerleri verildi. Şekil 41,42,43 ve 44 'te çekme testi değerlerinin grafik olarak gösterimi verildi.

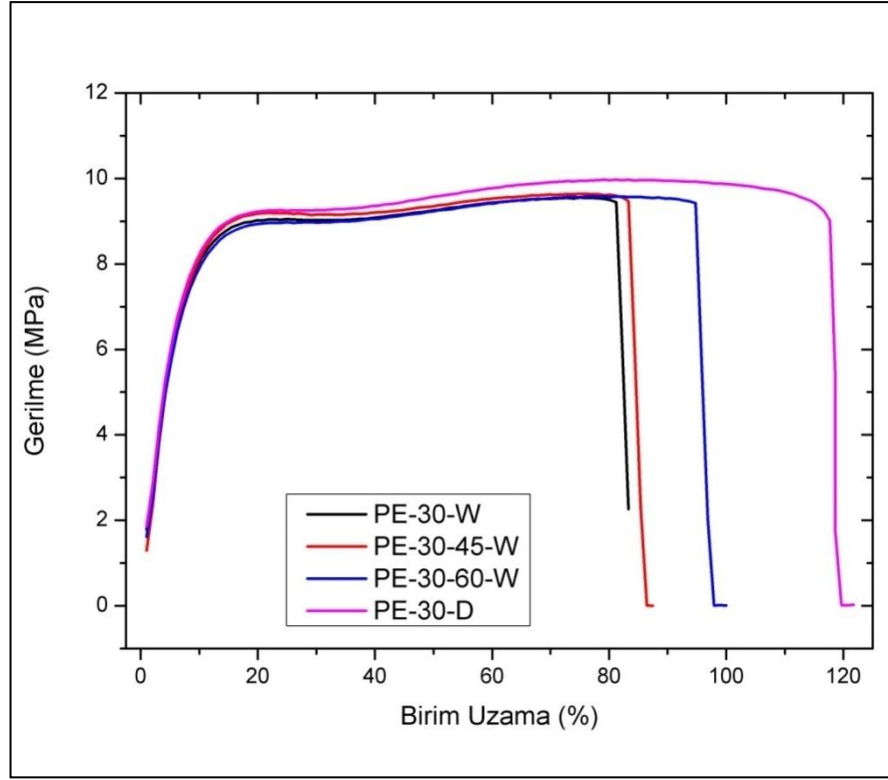
Şekil 4.40 'ta görülen gerilme-uzama eğrisinde PE numunesi bütün deney setleri için yumuşak zayıf olarak nitelendirilirler [Erturan and Deniz, 2009].

Tek noktadan enjekte edilen ve birleşme izi oluşmayan ABS-50-D deney setinde kopma noktasında %120 birim uzama tespit edilirken, iki noktadan enjekte edilen ve birleşme izi oluşan deney setlerinde bu değer %100 'ün altındadır.



Şekil 4.38: Birleşme izi yapılmış PE malzemesinin çekme testi sırasında oluşan çentik. a) Çentik oluşumu, b) Çentik gelişimi.

PE-30-D deney setinde birden fazla düzlem üzerinden kopma oluşurken sadece birleşme izinin bulunduğu numunelerde kopma, birleşme noktası üzerinde bulunan dört çentik düzlemi üzerinde meydana gelmektedir. Bu düzlemin dört tarafında oluşan mikro çentikler, çekme esnasında büyüyerek parçanın deformasyonu tamamlanmadan kopmasına neden olmaktadır. Şekil 4.39 ‘de birleşme izine sahip PE malzemesinin çekme testi sırasında çentik oluşumu, malzeme sünek yapıda olduğu için gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.39: PE malzeme numunesinin örnek gerilme-birim uzama grafiği.

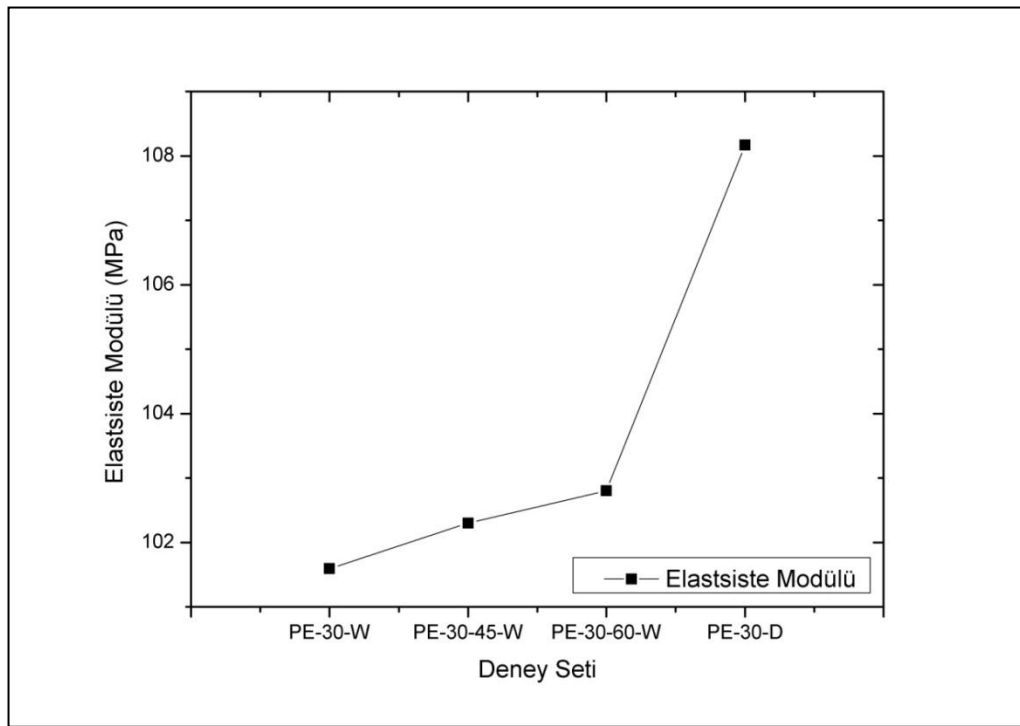
Akma dayanımında PE-30-D deney seti ile ABS-30-W deney seti arasında %6,5 fark bulunurken birleşme izi bulunan bölgede sıcaklığın 15 °C artırılması ile ortalama akma dayanım değerinde değişme gözlemlenmedi. Sıcaklığın 30 °C artırılması ile %5,5 değerine düşmüştür.

Tablo 4.12: PE malzemesinin çekme testi dayanım sonuçları.

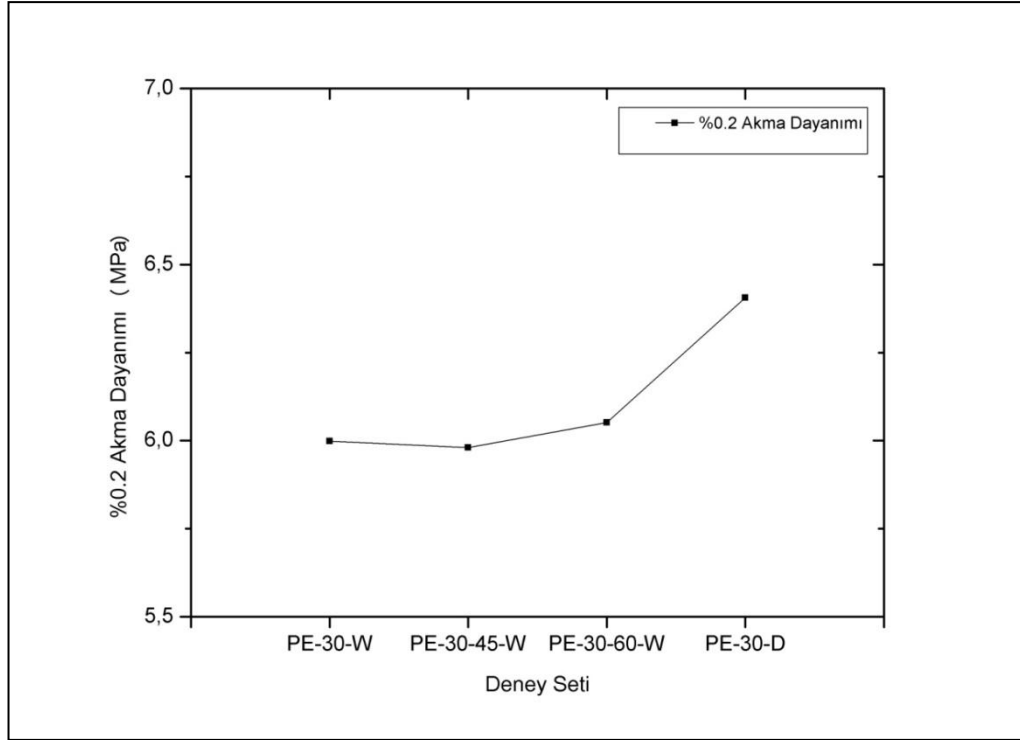
Deney Şartları	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Elastisite Modülü (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama
PE-30-W	9.44	101.59	5.99
PE-30-45-W	9.47	102.30	5.98
PE-30-60-W	9.50	102.80	6.05
PE-30-D	9.88	108.17	6.40

Tablo 4.13: PE malzemesinin çekme testi şekil değıştirme sonuçları.

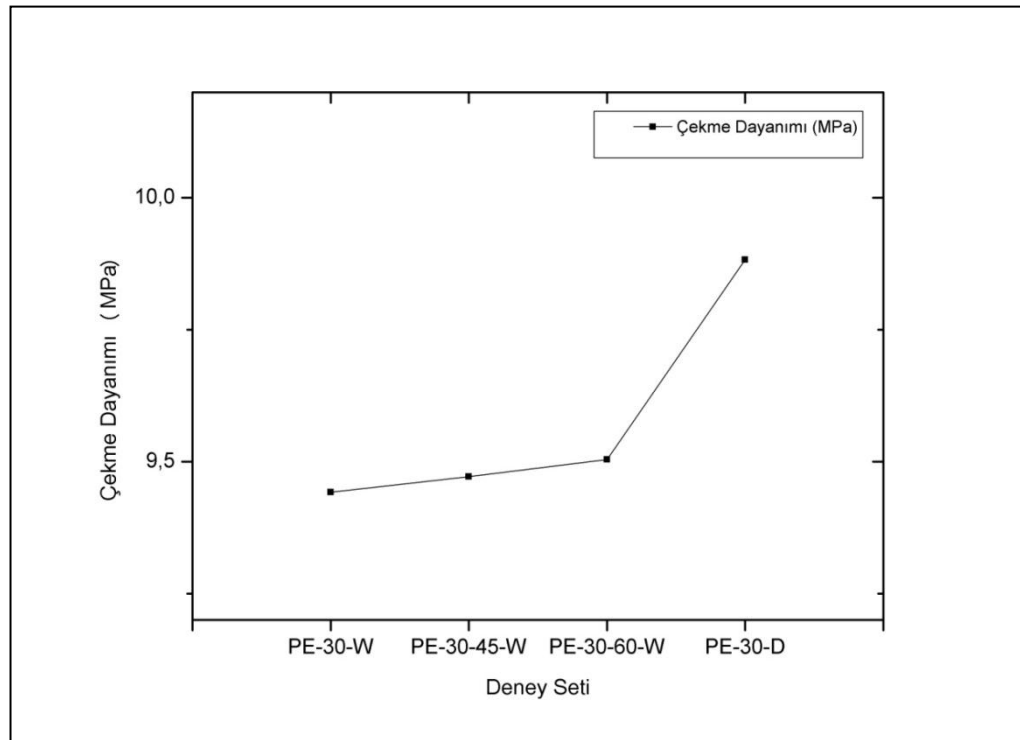
Deney Şartları	Maksimum Uzama (%)	Maksimum Dayanım Değerinde Uzama(mm)	Maksimum Uzama Miktarı (mm)
	Ortalama	Ortalama	Ortalama
PE-30-W	75.34	60.27	73.8
PE-30-45-W	77.08	62.14	71.82
PE-30-60-W	77.60	62.08	86.08
PE-30-D	81.77	65.41	93.98



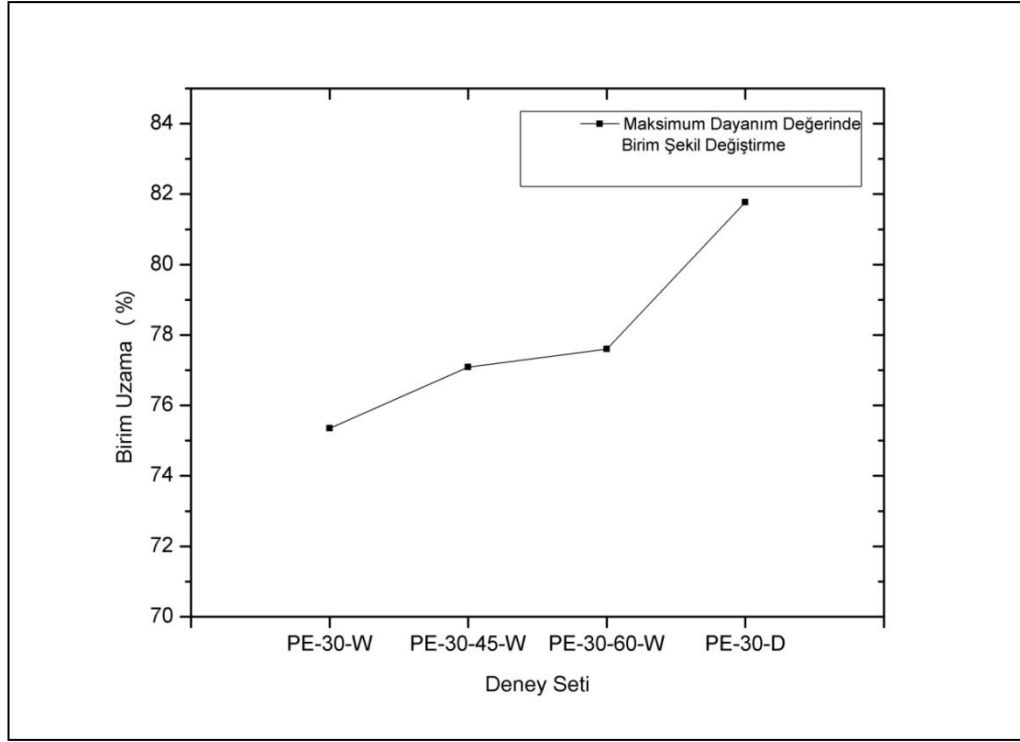
Şekil 4.40: PE malzemesinin elastisite modülü grafiği.



Şekil 4.41: PE malzemesinin %0.2 akma dayanım uzama grafiği.



Şekil 4.42: PE malzemesinin çekme dayanım grafiği.



Şekil 4.43: PE malzemesinin birim uzama grafiği.

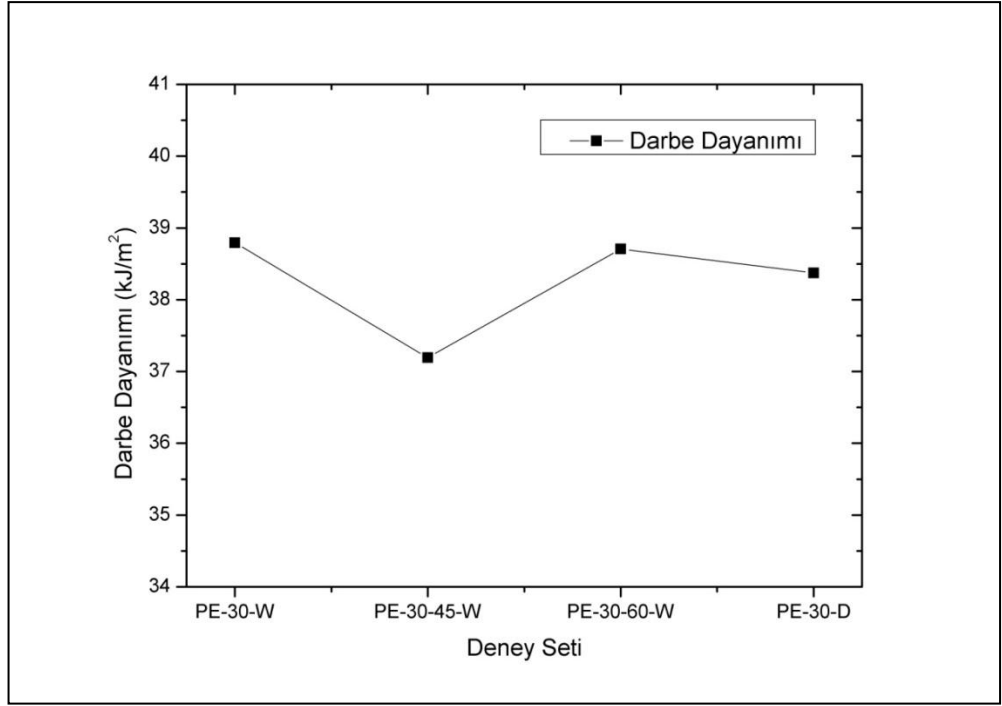
4.3.5.2. Darbe Testi

Darbe dayanımında, dört deney seti için de gerekli enerji absorbisyon değerlerini sağlayabilmek için test çentikler açıldı.

PE hammadde için izod darbe testi ISO 180 numaralı standarda göre A tipi çentikli çubuklar kullanılarak 5,5 joule'luk çekiçe yapıldı. Test sonuçları Tablo 4.14'te verildi. Şekil 4.45'te ise izod darbe dayanım değerleri, grafik olarak verildi. Darbe dayanım değerlerinde değişiklik gözlemlenmedi.

Tablo 4.14: PE malzemesinin darbe testi dayanım sonuçları.

Deney Şartları	Darbe Dayanımı (kj/m2) Ortalama
PE-30-W	38.79
PE-30-45-W	37.19
PE-30-60-W	38.70
PE-30-D	38.37



Şekil 4.44: PE malzemesinin darbe dayanım grafiği.

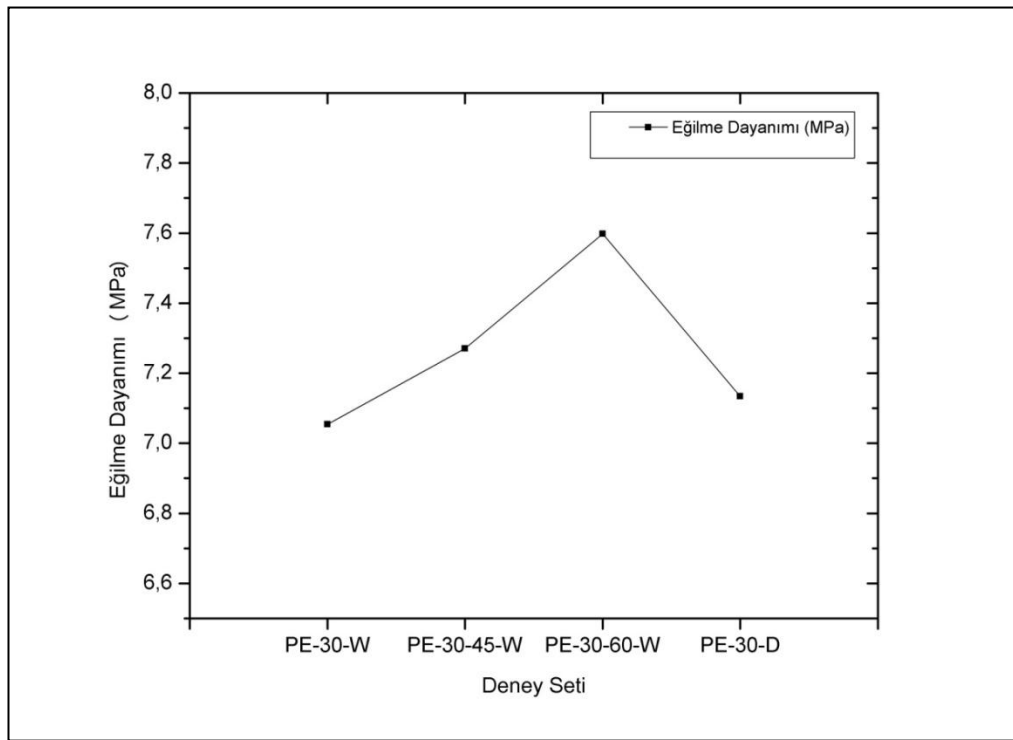
4.3.5.3. Eğilme Testi

PE malzemesine üç noktalı eğilme dayanımı testi 10mm/dak hızla uygulanmıştır. Tablo 4.15 'te PE malzemesinin eğilme dayanımı değerleri, Şekil 4.28'te eğilme dayanım grafiği verildi.

Eğme dayanım değerleri artan sıcaklık değerleri ile eğme testinde basıya maruz kalan bölgede polimer zincir yerleşimi akış yönüne dik olduğu için bu bölge bası kuvvetlerine karşı PE-30-D deney setinden daha kuvvetlidir. Ancak kaynak hattına sahip deney setleri, çentik etkisine karşı eğme dayanımını çeki yönünde zayıflatmaktadır.

Tablo 4.15: PE malzemesinin eğilme test sonuçları.

Deney Şartları	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (GPa)
	Ortalama	Ortalama
PE-30-W	7.05	189.95
PE-30-45-W	7.27	190.25
PE-30-60-W	7.59	202.06
PE-30-D	7.13	195.82



Şekil 4.45: PE eğilme dayanımı grafiği.

4.3.5.4. Yüzey Pürüzlülük Testi

Birleşme izlerini inceleyebilmek için bu bölgelerde yüzey pürüzlülük testi yapılmıştır. Birleşme olan noktalar tespit edilerek 4 mm uzunluğunda bölüm mekanik profilometre ile taranmıştır. Tablo 4.16 'da PE malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri (Ra) verilmiştir. Şekil 4.47, 4.48, 4.49, 4.50 'de yüzey pürüzlülük değerleri verildi.

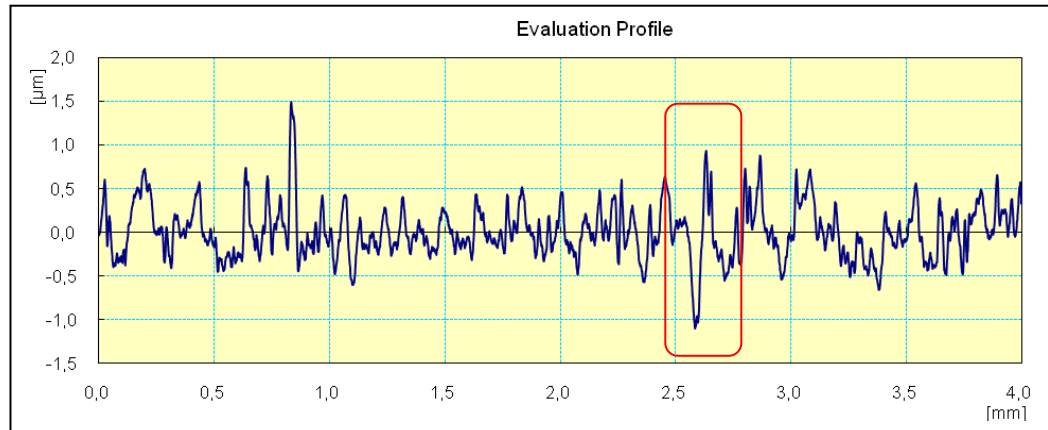
Yüzey sıcaklığının 30 °C 'den 45 °C 'ye artırılması ile Ra değeri 0.233 µm 'den 0,195 µm 'ye azalmasının sebebi, yumuşama sıcaklığının altında plastik, çelik

yüzeyine daha iyi yapışmasıdır. Birleşme noktasında bulunan “v” çentik derinliği 1,1 μm değerinden 0,65 μm değerine azalırken çentik genişliğinde azalma gözlemlendi. Yüzey sıcaklığının 30 °C ‘den 60 °C ‘ye artırıldığında ortalama yüzey pürüzlülük değeri sıcaklığın yumuşama sıcaklığına yaklaşması sebebiyle 0.233 μm ‘den 0.297 μm ‘ye artmakta, birleşme noktasında bulunan “v” çentik derinliği 1,1 μm değerinden 1,4 μm değerine artarken çentiğin görüntüsü, artan pürüzlülük profili içerisinde belirsiz olmaktadır (Şekil 4.32).

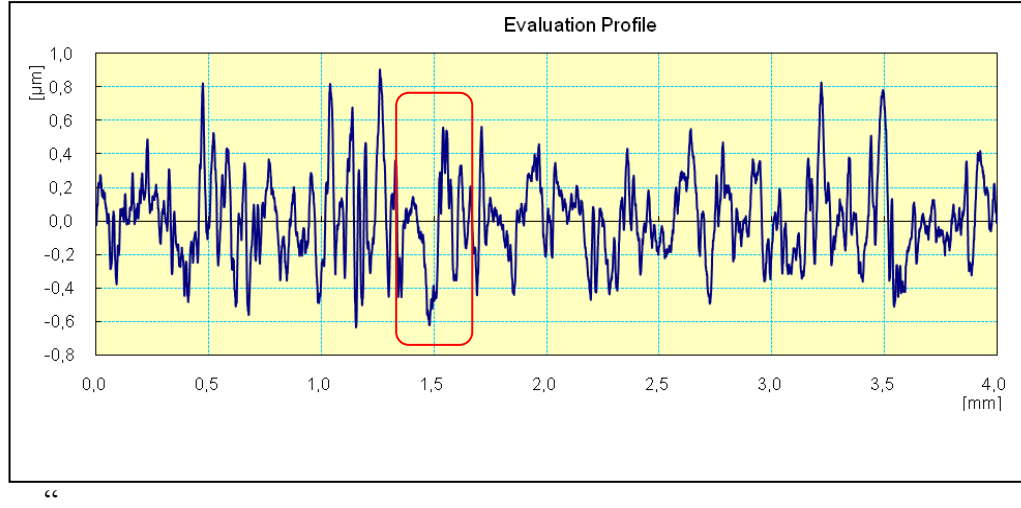
Literatürde seri ısı döngü ile yüksek sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan deneylerde birleşme izlerinin bulunduğu bölgede profilometre ile yapılan ölçümlerde yüzey Ra değerinde iyileşme görülmüştür [Fiorotto and Lucchetta, 1981].

Tablo 4.16: PE malzemesinin yüzey pürüzlülüğü incelemesi sonuçları.

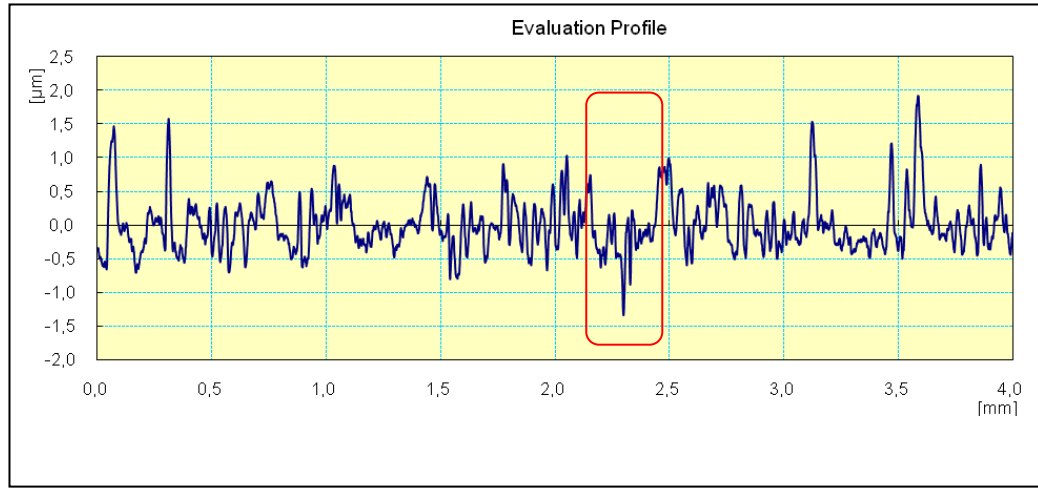
Deney Şartları	Ra μm
PE-30-W	0.233
PE-30-45-W	0.195
PE-30-60-W	0.297
PE-30-D	0.227



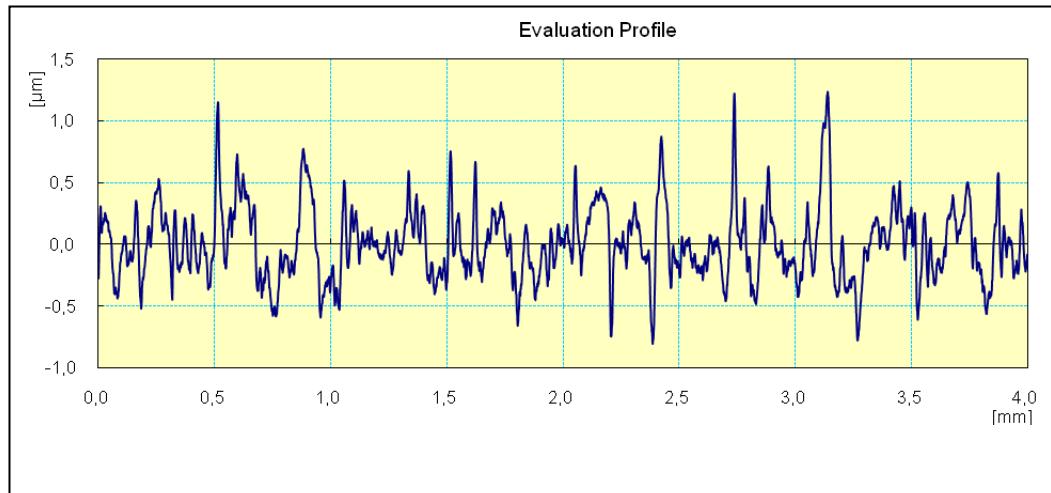
Şekil 4.46: PE-30-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



Şekil 4.47: PE-30-45-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



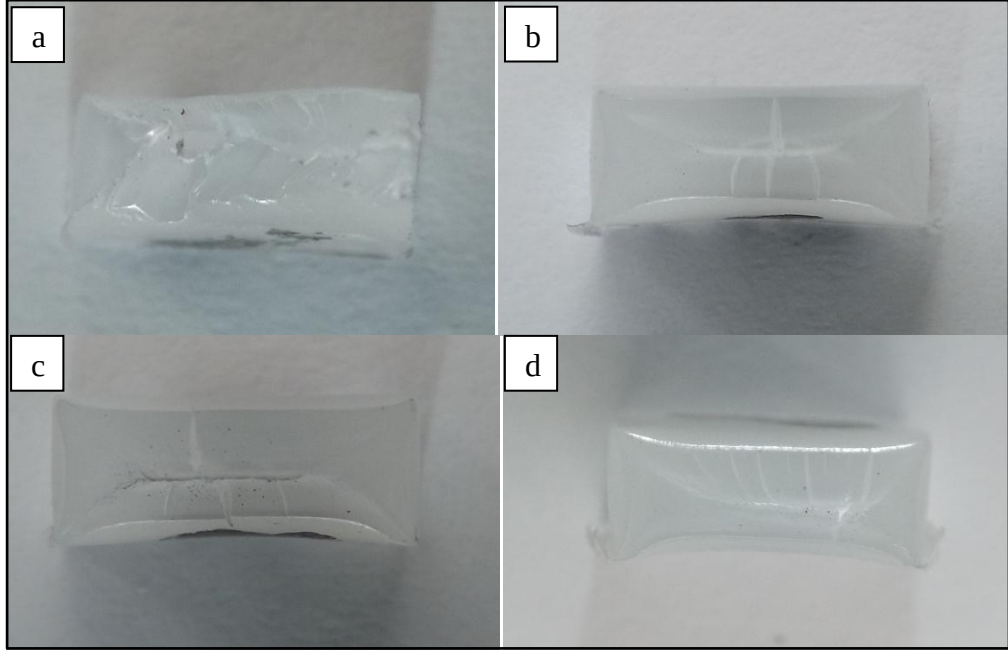
Şekil 4.48: PE-30-60-W deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.



Şekil 4.49: PE-30-D deney seti için yüzey pürüzlülük değeri.

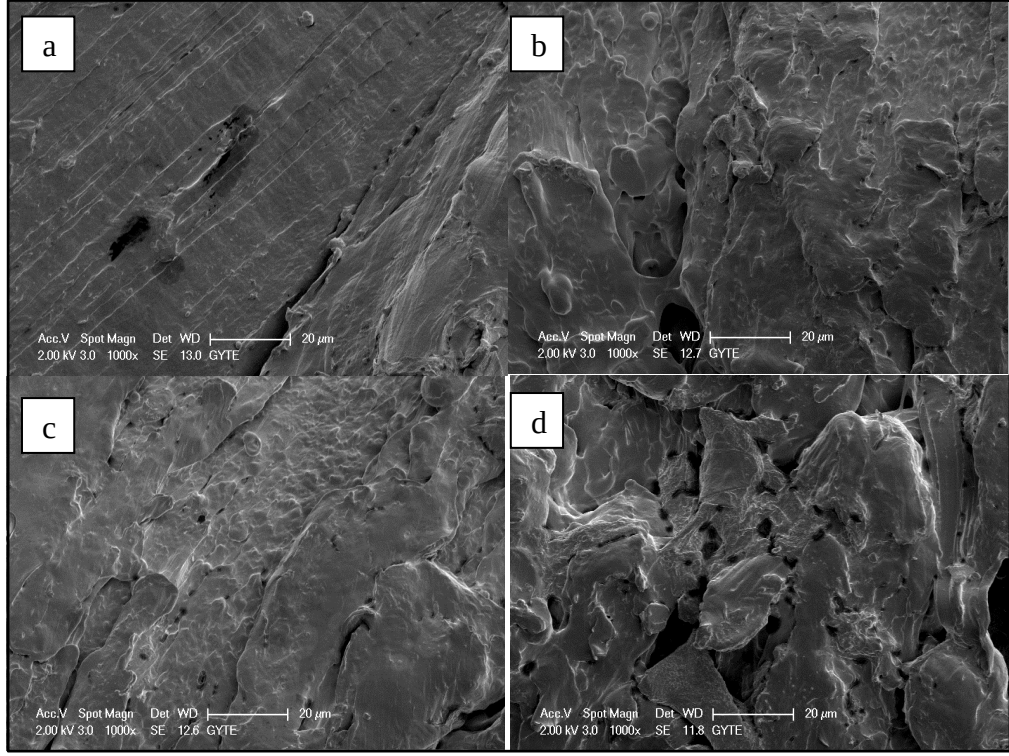
4.3.5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri

Birleşme kopma yüzeylerini incelemek için çekme testi kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile görüntülendi. Şekil 4.52 'de AYPE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi görüntüleri verildi. Şekil 4.53 'de AYPE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüleri verildi.



Şekil 4.50: PE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi görüntüleri. a) PE-30-D çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, b) PE-30-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, c) PE-30-45-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü, d) PE-30-60-W çekme testi kopma yüzeyi görüntüsü

Çekme testi sonrası ürün kopma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile tarandı. 1000x büyütme ile alınan Şekil 4.53 'teki görüntülerde, deney setlerinde uygulanan artan sıcaklık ile birlikte kopma yüzeylerinin arttığı gözlemlendi.



Şekil 4.51: PE malzemesinin deney setlerine göre çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüleri. a) PE-30-D çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, b) PE-30-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, c) PE-30-45-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü, d) PE-30-60-W çekme testi kopma yüzeyi SEM görüntüsü.

Taramalı elektron mikroskobunun numune hazne sıcaklığı yüksek olduğu için yumuşak plan AYPE polimerinin birleşme izi yüzeyleri bozulduğu için inceleme yapılamadı.

5. SONUÇLAR

Elde edilen veriler sonucunda ABS malzemesi için birleşme izi olan deney setleri için çekme ve darbe dayanım değerinde en iyi sonuç ABS-50-80-W deney setinde elde edildi. Sert ABS polimeri için eğilme dayanım değeri birleşme izi olan deney setlerinde çentik etkisi sebebiyle en fazla %2 'lik artış görüldü. A yüzeyinde sıcaklık değerinin 30 °C artırılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değeri artmış, ancak maksimum derinlik değeri, ortalama değere yaklaştığı için birleşme izi görüntüsüne iyileşme tespit edilmiştir. Yapılan SEM ve yüzey pürüzlülük testleri ile birleşme izi olan deney setleri için en iyi birleşme yüzeyi ABS-50-65-W deney setinde elde edildi. Ancak parçanın bütünü itibariyle mikron seviyesinde olan dalgalanma, parçanın kozmetik özelliklerini bozmadığı için görsel olarak ideal yüzey ABS-50-80-W deney setinde elde edildi.

AYPE polimeri için birleşme izi olan deney setleri için çekme dayanım değerinde en iyi sonuç PE-30-60-W deney setinde elde edildi. Sünek AYPE polimeri için tüm deney setlerinde darbe dayanım değerinde değişme gözlemlenmezken eğilme dayanımdeğerleri artan sıcaklık değerleri ile eğme testinde basıya maruz kalan bölgede polimer zincir yerleşimi akış yönüne dik olduğu için bu bölge bası kuvvetlerine karşı PE-30-D deney setinden daha kuvvetlidir. Yapılan yüzey pürüzlülük testleri ile birleşme izi olan deney setleri için en iyi birleşme yüzeyi PE-30-45-W deney setinde elde edildi.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, aynı proses zamanında sabit çelikte kullanılan ve maliyeti az olan rezistans sistemi ile uygulanan ısı neticesinde, birleşme izlerinin kozmetik ve mukavemet özelliklerinde iyileşme sağlanmasıdır. Yapılan seri ısı döngü ile kalıplama sistemleri, bazı uygulamalarda proses zamanını artırırken aynı zamanda enjeksiyon makinesine pahalı termal sistemler eklenmektedir. Bunun yanında sinter metal teminolojisi ile imal edilen seri ısı döngü kalıplarının maliyetleri, bu çalışmada kullanılmış olan sisteme göre oldukça fazladır.

KAYNAKLAR

- Biron M., Marichal O., (2013), “Thermoplastics and Thermoplastic Composites”, 2nd Edition, Elsevier Publications.
- Bralla J., (1998), “Design for Manufacturability Handbook”, 1st Edition, Mcgraw-Hill Handbooks.
- Chun-Sheng C., Tsyr-Jang C., Rean-Der C., Shia-Chung C., (2007), “Investigation on the weldline strength of thin-wall injection molded ABS parts”, International Communications in Heat and Mass Transfer, 34, 448–455.
- Cracknell P.S., Dyson R.W., (1993), “Handbook of thermoplastics injection mould design”, 1st Edition, Blackie Academic & Professional.
- Daiyan H., Andreassen E., Grytten F., Lyngstad O.V., Luksepp T., Osnes H., (2010), “Low-velocity impact response of injection moulded polypropylene plates – Part 2: Effects of moulding conditions, striker geometry, clamping, surface texture, weld line and paint”, Polymer Testing, 29, 894-901.
- Erturan S., Deniz S., (2009), “Polimer Mühendisliği Esasları Ders Notları”, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım ve Yayın Merkezi.
- Fiorotto M., Lucchetta G., (2011), “Influence of process parameters on the weld lines formation in rapid heat cycle molding”, AIP Conference Proceedings, 1353, 797-802.
- Guilong W., Guoqun Z., Xiaoxin W., (2013), “Effects of cavity surface temperature on mechanical properties of specimens with and without a weld line in rapid heat cycle molding”, Materials and Design, 46, 457–472.
- Hwan C., (1999), “Cavity filling analyses of injection molding simulation: bubble and weld line formation”, Journal of Materials Processing Technology, 89, 177-181.
- ISO, (2010), Eğilme özelliklerinin belirlenmesi, ISO 178, International Organization for Standardization.
- ISO, (2011), Izod darbe mukavemeti testi, ISO 180, International Organization for Standardization.
- ISO, (2012), Gerilme özelliklerinin belirlenmesi, ISO 527, International Organization for Standardization.
- Kim S.G., Suh N.P., (1986), “Performance prediction of weldline structure in amorphous polymers”, Polym Engineering Science, 26(17), 1200–1206.
- Kovács J.G., Sikló B., (2010), “Experimental validation of simulated weld line formation in injection moulded parts”, Polymer Testing, 29, 910–914.

Liu S.J., Wu J.Y, Chang J.H., (2000), “An experimental matrix design to optimize the weldline strength in injection molded parts”, *Polymer Engineering Science*, 40(5), 1256–1262.

Long Jin F., Lai Lu S., (2010), “Effect of rubber contents on brittle–tough transition in acrylonitrile-butadiene-styrene blends”, *Material Science Engineering*, 527, 3438–3441.

Malguarnera S.C., Manisali A., (1981), “The effects of processing parameters on the tensile properties of weld lines in injection molded thermoplastics”, *Polymer Engineering Science*, 21(10), 586–593.

Merah N., Irfan-ul-Haq M., Khana Z., (2003), “Temperature and weld-line effects on mechanical properties of CPVC”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142, 247–255.

Nguyen-Chung T., (2004), “Flow analysis of the weld line formation during injection mold filling of thermoplastics”, *Rheologica Acta*, 43, 240–245.

Ozcelik B, Kuram E., Topal M., (2012), “Investigation the effects of obstacle geometries and injection molding parameters on weld line strength using experimental and finite element methods in plastic injection molding”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 275–281.

Piccarolo S., Saiu M., (1988), “Knit-line structure in the injection molding of Polystyrene”, *Plastic Rubber Proceedings*, 10, 11–16.

Rees H., (1995), “Mold engineering”, 1st Edition, Hanser&Gardner Publications.

Saçak M., (2005), “Polimer Teknolojisi” , 1. Baskı, Gazi Kitabevi.

Shih-Chih N. and Ming-Shyan H., (2013), “Enhancement of Weld Line Mechanical Strength Using a Novel Ejector-Pins Compression System”, *Applied Polymer Science*, 10, 509-516

Web 1, (2014), http://en.wikipedia.org/wiki/Injection_molding, (Erişim Tarihi: 14/04/2014).

Web 2, (2014), <http://www.pitfallsinmolding.com/weldlinepage.html>, (Erişim Tarihi: 12/08/2014).

Web 3, (2014), <http://www.ptonline.com/articles/what-to-do-about-weak-weld-lines>, (Erişim Tarihi: 02/09/2014).

Web 4, (2014), <http://www.roctool.com/plasticInjection.php>, (Erişim Tarihi: 07/09/2014).

Wei K. H., Nordberg M. E., Winter H. H., (1987), “Simulation of planar welding flows: part 2. Strain history, stress calculation, and experimental comparison”, *Polymer Engineering Science*, 27 1390–1398.

YSM, (2011), Installation and maintenance manual, Yizumi Seiki Machinery Publications.

ÖZGEÇMİŞ

Levent Saraç 1988 yılında İstanbul’da doğdu. 2006 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında başarıyla tamamlayarak 2012 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı. 2013 yılında Doç.Dr. Babür Özçelik’in yürütmüş olduğu Tübitak 110M245 proje numaralı “Plastik Enjeksiyonda Oluşan Plastik Atıkların Tekrar Kullanılabilme Şartlarının Araştırılması ve Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi” projesinde proje asistanı olarak görev aldı. 2011 yılından bu yana Karel Kalıp A.Ş. ‘de Ürün Geliştirme Mühendisi görevini sürdürmektedir.