

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYONLA ÜRETİLEN ABS VE CAM ELYAF TAKVİYELİ
PA66 KOMPOZİT LEVHALARIN BOYUTSAL DEĞİŞİMİNE SOĞUTMA
ORTAM VE SICAKLIKLARI ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müge FİLİZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin UZUN

Ocak 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYONLA ÜRETİLEN ABS VE CAM ELYAF TAKVİYELİ
PA66 KOMPOZİT LEVHALARIN BOYUTSAL DEĞİŞİMİNE SOĞUTMA
ORTAM VE SICAKLIKLARI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müge FİLİZ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Ahmet DEMİRER	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Hüseyin UZUN	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Müge FİLİZ

13/01/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin UZUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni büyüten, yetiştiren, en kıymetli motivasyon kaynağım sevgili annem Vildan FİLİZ'e, her zaman yanımda olan, varlığı bana güç veren sevgili babam Recep FİLİZ'e, her konuda destek olan en iyi dostum sevgili ablam Beyza FİLİZ'e teşekkür ederim.

Beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve tezimi hazırlama sürecinde en ince ayrıntısına kadar her konuda yardımcı olan en büyük destekçim, sevgili eşim Samet KIRMIZITEPE'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1

BÖLÜM 2.	
LİTARİTÜR ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Polimer Malzeme Türleri	6
2.1.1. Takviye dolgu ve ilave maddeler	9
2.1.2. Sık kullanılan termoplastikler	10
2.1.2.1. Akrlonitril butadien stiren (ABS)	10
2.1.2.2. Polistiren(PS)	11
2.1.2.3. Polimetil metakrilat (PMMA).....	11
2.1.2.4. Polivinil klorür (PVC).....	11
2.1.2.5. Polipropilen (PP).....	11
2.1.2.6. Poliasetal (POM).....	12
2.1.2.7. Poliamid (PA)	12
2.1.2.8. Polietilen (PE).....	12
2.2. Polimer Malzemelerin Özellikleri	13
2.2.1. Polimer malzemelerin mekanik özellikleri	13
2.2.1.1. Polimerlerin gerilme - birim şekil değiştirme özelliği	13
2.2.1.2. Malzeme modülü.....	14
2.2.1.3. Gerilme-birim uzama davranışı.....	15
2.2.2. Kimyasal özellikler	19
2.2.3. Isıl özellikler	21
2.2.4. Elektriksel özellikler	25

2.3. Polimerlerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörler	266
2.3.1. Polimer metaryellerin zamana bağlı davranışı	31
2.3.1.1. Viskoelastiklik	33
2.3.1.2. Polimerlerin sürünme davranışı	34
2.4. Enjeksiyon Kalıplama Metoduyla Plastik Parça Üretimi	37
2.4.1. Plastik enjeksiyon makinesi	37
2.4.1.1. Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi	38
2.4.1.2. Kalıp	39
2.4.1.3. Kapatma ünitesi	40
2.4.1.4. Kontrol ünitesi	41
2.4.2. Enjeksiyon makinesi spesifikasyonları	41
2.4.3. Plastik enjeksiyon çevrimi	41
2.4.4. Plastik enjeksiyon kalıbı	43
2.4.4.1. Erkek kalıp	43
2.4.4.2. Dişi kalıp	44
2.4.4.3. Yolluk sistemi	44
2.4.4.4. Soğutma sistemi	48
2.4.4.5. İtici sistem	49
2.4.5. Boyutlardaki çekme	50
2.4.6. Plastik enjeksiyon kalıplama parametreleri	52
2.4.6.1. Basınç	53
2.4.6.2. Sıcaklık	55
2.4.6.3. Zaman	55
2.4.6.4. Hız	56

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Hazırlanması	577
3.2. Hammaddelerin Kurutulması	58
3.3. Enjeksiyon İşlemi ve Kullanılan Parametreler	59
3.4. Soğutma Aşaması	6565
3.5. Görsel Muayene Ve Boyutsal Ölçüm	6666
3.6. Shore-D Sertlik Ölçümü	68
3.7. Çekme Deneyi	69
3.7.1. Deney numunelerinin hazırlanması	70
3.7.2. Çekme deneyinin gerçekleştirilmesi	711
3.8. Optik Mikroskop İle İnceleme	73

BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	74
4.1. Enjeksiyon Sonrası Soğutma Ortam Sıcaklıklarının Levha Boyutuna Etkisi	74
4.2. Görsel Kontrol	80
4.3. Shore-D Sertlik Ölçümü	84
4.4. Çekme Deneyi	86
4.5. Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları	91

BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
5.1. Sonuçlar.....	94
5.2. Öneriler.....	96
KAYNAKLAR	97



KISALTMALAR

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
PA	Naylon Poliamid
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
FITR	Fouirer Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi
PP	Polipropilen
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Propilen
AYPE	Alçak Yoğunluklu Propilen
PC	Polikarbonat
CE	Cam Elyaf
POM	Polioksimetilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil klorür
PMMA	Polimetil metakrilat
PE	Polietilen
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Tm	Erime sıcaklığı
VST	Vicat yumuşama sıcaklığı
N	Newton
MPa	Mega Pascal
E	Elastisite Modülü
G	Kayma Modülü
v	Poisson Oranı
mm	Milimetre
TS	Türk Standardı
EN	Avrupa Normu
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Bazı plastiklerin DTUL ve VST değerleri.....	23
Tablo 2.2 : Polimerlerin bozulma sıcaklık değerleri.....	24
Tablo 2.3 : Bazı plastiklerin termal özellikleri.....	25
Tablo 2.4 : Polimerlerin Tg ve Tm değerleri	29
Tablo 2.5 : Bazı polimerler için çekme oranları.	50
Tablo 3.1: ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerinin temin edildiği markalar ve karışım oranları.	58
Tablo 3.2: Plastik enjeksiyon makinesi teknik özellikler.....	60
Tablo 3.3: Enjeksiyon verileri.....	62
Tablo 3.4: ABS içerikli hammaddenin parametre hız ayarları.....	63
Tablo 3.5: %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammaddenin parametre hız ayarları.....	64
Tablo 3.6: Levhaların soğutma ortamları.....	66
Tablo 4.1 : ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin enjeksiyon sonrası ve on gün bekleme sonrası 18°C (hava), 13°C (su) ve 80°C (fırın) sıcaklık ortamlarındaki enjeksiyon levhaların boyutları.....	75
Tablo 4.2 : 1. gün ve 10. gün sonundaki boyutsal değişimler.....	75
Tablo 4.3 : ABS levhaların ilk basım ve 10. gün sonunda çekilen makro fotoğrafları.....	81
Tablo 4.4 : %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhaların ilk basım ve 10. gün sonunda çekilen makro fotoğrafları.....	82
Tablo 4.5 : Sertlik ölçüm sonuçları.....	84
Tablo 4.6 : Çekme testi sonuçları.....	89
Tablo 4.7 : Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi.....	90
Tablo 4.8 : Sıcaklığın makro yapı üzerindeki etkisi.	93

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Polimerlerin performans piramidi.....	7
Şekil 2.2 : Plastik malzemelerin sınıflandırılması	8
Şekil 2.3 : Termoplastiklerin zincir yapıları	9
Şekil 2.4 : Çekme esnasında meydana gelen boyut değişim	14
Şekil 2.5 : Gerilme-birim uzama davranışındaki elastiklik modülleri	16
Şekil 2.6 : Polimer malzemenin gerilme-birim uzama davranışı	17
Şekil 2.7 : a)Polimer molekülünün uzaması b)Bağlı molekül zincirinin açılması c) Moleküller arası kayma	18
Şekil 2.8 : Çeşitli metaryaller için gerilme-birim uzama davranışları	19
Şekil 2.9 : Polistiren-Etilbenzen kimyasal gösterimi	20
Şekil 2.10 : Alkali ve seyreltik asit ile etkileşimi	21
Şekil 2.11 : Amorf ve kristalin malzemelerin Tg ve Tm değerleri değişim grafiği [15].	22
Şekil 2.12 : Sıcaklık artışının mekanik özelliklere etkisi.....	27
Şekil 2.13 : Tipik bir polimerin gerilme-birim uzama eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki elastiklik modülü	28
Şekil 2.14 : Farklı uzama hızlarında ve 23 ⁰ C’de YYPE’nin çekme gerilmesine karşı yüzde şekil değişimesi	30
Şekil 2.15 : Modül-sıcaklık eğrisi üzerinde kristallik etkisi	31
Şekil 2.16 : İdeal elastik bir malzemenin davranışı	32
Şekil 2.17 : Saf viskoz davranış	33
Şekil 2.18 : İki farklı zamanda elastik ve viskoelastik malzemelerin gerilme-birim uzama davranışı.....	34
Şekil 2.19 : Zamana bağlı yüzde şekil değişimi.....	36
Şekil 2.20 : Enjeksiyon makinası ana bölümleri	38
Şekil 2.21 : Vida bölümleri	39
Şekil 2.22 : Enjeksiyon ünitesi birimleri	39
Şekil 2.23 : Hidro-mekanik kapatma sistemi	40
Şekil 2.24 : Enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi	42
Şekil 2.25 : Enjeksiyon kalıp açılımı	44
Şekil 2.26 : Yolluk sistemi parçaları	45
Şekil 2.27 : Yolluk kesit tipleri	46
Şekil 2.28 : Sıcak yolluk sistemi elemanları	47
Şekil 2.29 : Laminer ve türbülanslı akış.....	49
Şekil 2.30 : İtici pimler ile parça çıkarılması	50
Şekil 2.31 : Plastik enjeksiyon problem dağılımı.....	53
Şekil 2.32 : Enjeksiyon-Zaman grafiği	54
Şekil 2.33 : Çevrim zamanı sıralaması	56
Şekil 3.1 : Hammadde kurutma ünitesi.	59

Şekil 3.2 : Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanması.....	60
Şekil 3.3 : Enjeksiyon prosesi.	61
Şekil 3.4 : Enjeksiyon makinesi kontrol paneli.....	65
Şekil 3.5 : Levha ebatları teknik resmi.....	67
Şekil 3.6 : Levha ölçüm işlemi.....	67
Şekil 3.7 : ABS levhanın sertlik ölçümü.....	69
Şekil 3.8 : %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhanın sertlik ölçümü.....	69
Şekil 3.9 : Çekme numunesi ölçüleri.	70
Şekil 3.10 : Çekme numunesi ölçüleri.	70
Şekil 3.11 : Numunelerin görseli.	71
Şekil 3.12 : Çekme deneyi.	72
Şekil 3.13 : Çekme deneyi sonrası numuneler.	72
Şekil 3.14 : Optik mikroskopla inceleme.....	73
Şekil 4.1 : 18°C hava ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değişimi.....	75
Şekil 4.2 : 80°C fırın ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değişimi.	76
Şekil 4.3 : 13°C su ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değişimi.....	76
Şekil 4.4 : 18°C hava ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.	77
Şekil 4.5 : 80°C fırın ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.	77
Şekil 4.6 : 13°C su ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.	78
Şekil 4.7 : Sertlik ölçüm ortalamaları grafiği.....	85
Şekil 4.8 : 80°C fırın ortam sıcaklığında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.....	86
Şekil 4.9 : 18°C ortam sıcaklığında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.....	87
Şekil 4.10 : 13°C soğuk su ortamında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.....	87
Şekil 4.11 : 80°C fırın ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.....	88
Şekil 4.12 : 18°C ortam sıcaklığında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.	88
Şekil 4.13 : 13°C soğuk su ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi.	89
Şekil 4.14 : Gerilme değerlerinin karşılaştırılması.	90
Şekil 4.15 : X50 büyütmeyle %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhaların optik fotoğrafı.	91
Şekil 4.16 : X50 büyütmeyle ABS levhaların optik fotoğrafı.....	92

PLASTİK ENJEKSİYONLA ÜRETİLEN ABS VE CAM ELYAF TAKVİYELİ PA66 KOMPOZİT LEVHALARIN BOYUTSAL DEĞİŞİMİNE SOĞUTMA ORTAM VE SICAKLIKLARI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Plastik enjeksiyon kalıplama, ısıtılarak ergitilmiş plastik esaslı malzemelerin bir kalıp içerisine hızlıca enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutulmuş kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde parça soğutulma süreci, yöntemin önemli bir aşamasıdır. Kalıplanmış ürün ısısının %90'ı, kalıp içerisinde belirli bir soğutma süresince bekleme yoluyla ve %10'u ise kalıp dışındaki soğutma ortamlarında kaybolur. Bu nedenle kalıp dışındaki soğutma ortam sıcaklıklarının kalıplanmış ürünün boyutsal değişimine ne kadar bir oranda etkiye sahip olabileceği merak konusu olmuştur. Bu çalışmanın amacı, plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların boyutsal değişimine, soğutma ortamının etkisini incelemek ve uygun soğutma ortam sıcaklığını belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda enjeksiyonla kalıplanan levhalar, 13°C'lik su, 18°C'lik hava ve 80°C'lik fırın olmak üzere üç farklı ortam ve sıcaklıklarda, 10 gün süreyle bekletilerek levhaların boyutsal değişim değerleri ölçülmüştür. Ayrıca üç farklı ortam ve sıcaklıklarda bekletilen levhaların sertlik değerleri ölçülmüş ve çekme deneyleri yapılmıştır. Optik mikroskop yardımıyla levhaların çekme deneyi sonucu kopan numune yüzeyleri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ABS levhaların 18°C'lik hava, 80°C'lik fırın ve 13°C'lik su ortam sıcaklıklarında yaklaşık %1 oranında boyutsal bir değişim tespit edilirken, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların 13°C'lik su ortam sıcaklığında yaklaşık %18 oranında, 18°C hava ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklıklarında ise yaklaşık %1 oranında boyutsal bir değişimi tespit edilmiştir. Üç farklı soğutma ortam ve sıcaklıklarının, ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhalarında belirgin bir sertlik değişimine etki etmediği görülmüştür. Levhaların soğutma ortam ve sıcaklığı değiştikçe, çekme mukavemetinin değiştiği fakat birim şekil değişiminin ise aynı kaldığı belirlenmiştir. Soğutma ortam ve sıcaklığı değiştikçe, levhaların süneklik ve gevreklik davranışları da değişmektedir. ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların plastik enjeksiyon işlemi sonrası, 18°C'lik hava ortamı ve sıcaklığında soğutulması, optimum değer olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon kalıplama, ABS levha, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levha, boyutsal değişim, soğutma ortam ve sıcaklık etkisi, çekme testi, sertlik.

EFFECT OF COOLING ENVIRONMENT AND TEMPERATURE ON DIMENSIONAL CHANGE OF ABS AND GLASS FIBER REINFORCED PA66 COMPOSITE SHEETS FABRICATED BY PLASTIC INJECTION MOLDING

SUMMARY

Plastic injection molding is a manufacturing method to obtain molded products by injecting plastic-based materials molten by heat into a mold, and then cooling and solidifying them. The cooling of the parts produced by this method is an important stage of the process. 90% of the molded part heat is lost in the mold during a certain cooling time and 10% is lost in the cooling environments outside the mold. For this reason, it has been a matter of curiosity how much of an effect the cooling environment and temperatures of outside the mold can have on the dimensional change of the molded product. The aim of this study is to examine the effect of cooling environment and temperatures on the dimensional change of ABS and 30% glass fiber reinforced PA66 composite sheets produced by plastic injection molding and to determine the appropriate cooling environment and temperature. For this purpose, the dimensional change values of the injection molded sheets in three different the cooling environment and temperatures of 13°C water, 18°C air and 80°C air conditioning furnace were measured by keeping for 10 days. In addition, the hardness values of the sheets kept at three different the cooling environment and temperatures were measured and tensile tests were carried out. The broken surfaces of the tensile sample were examined by an optical microscope.

According to the results, a dimensional change ~1% of the injection molded ABS sheets was determined at the 13°C water, 18°C air and 80°C furnace ambient temperatures. On the other hand, although a dimensional change of ~18% of 30% glass fiber reinforced PA66 composite sheets was determined at 13°C water of the cooling environment and temperatures, a dimensional change of ~1% was observed at the 18°C air and 80°C furnace. According to the results of the hardness values of the sheets, it was determined that there was no significant change in the three different the cooling environment and temperatures of both the ABS and the composite sheets. It was determined that as the cooling environment and temperature of the sheets changed, the tensile strength changed but the strain value of the tensile sample remained the same. As the cooling environment and temperature change, the ductility and brittleness behaviours of the sheets also change. After the plastic injection process of ABS and 30% glass fiber reinforced PA66 composite sheets, cooling at 18°C air environment and temperature was determined as the optimum value.

Keywords: Plastic injection molding, ABS sheet, 30% glass fiber reinforced PA66 composite sheet, dimensional change of the molded product, cooling environment and temperature, tensile test, hardness.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enjeksiyon kalıpları ile istenilen şekil ve boyutlarda dikişsiz plastik ürünlerin kolayca üretilmesine imkan tanıyan plastik enjeksiyon kalıplama metodu, plastiklerin şekillendirildiği endüstriyel sektörlerin vazgeçilmez bir üretim metodudur. Literatür çalışmasının yapıldığı bu bölümde plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen ABS ve elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin özellikleri, kalıpları, enjeksiyon parametreleri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Yavuz Çakır ve arkadaşlarının [36] (2001) gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada; plastik enjeksiyonla üretim esnasında üretilen parçanın çekme miktarına enjeksiyon parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Bilindiği üzere enjekte sıcaklığı, enjekte basıncı, soğutma süresi, plastik hammaddesinin cinsi gibi birçok faktör plastik enjeksiyon makinesinde üretim esnasında çekme miktarına etki etmektedir. Çalışma esnasında katkı maddesinin çekme miktarını belirlemek amacıyla I 20-3 Polietilen, renklendirmeyi sağlamak ve dayanımı arttırmak amacıyla I 668 (UV) Polietilen malzemeler kullanılmıştır. Ürünler ilk olarak 170°C den başlayarak 10°C adımla 210°C kadar, her adımda yirmişer adet ürün basılarak enjekte sıcaklığının çekmeye etkisi incelenmiştir. I 20-3 polietilen malzeme için 4 bar'dan 8 bar'a kadar 1'er bar artırılarak yirmişer adet deneysel parça üretilerek enjekte sıcaklığının çekmeye etkisi incelenmiştir. Basım esnasında enjeksiyon süresi ve kalıbın kapalı kalma süresi farklı değerlerde ayarlanarak yirmi adet numune üretilerek çekme miktarına kalıbın kapalı kalma süresinin etkisi de incelenmiştir. Son olarak I 668 yüksek yoğunluklu polietilen malzeme, I 20 düşük yoğunluklu malzeme içerisine sırasıyla %10, %20, ..., %50 oranlarında %10 adımla karıştırılmış ve yirmişer numune basılarak katkı maddesi oranının çekme miktarına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarının sonucunda elde edilen numuneler incelendiğinde; enjekte sıcaklığı ve takviye malzemesi oranı çoğaldıkça çekme miktarı

artmakta, enjekte basıncı ve ütüleme zamanı arttıkça çekme miktarı azalmakta olduğu tespit edilmiştir.

Cem Barış Özgüven [10] (2020) çalışmasında konvansiyonel soğutmalı enjeksiyon prosesi ile hızlı ısıtma soğutmalı enjeksiyon prosesinin karşılaştırmasını gerçekleştirmiştir. Çalışma esnasında PC/ABS hammadde içerikli Gekko adını verdiği ve farklı parametrelerde ısıtılıp soğutulmuş numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Numune üretimi esnasında parametreler şu şekildedir: Konvansiyonel soğutmalı enjeksiyon prosesinde, parçanın görsel tarafını çıkartan enjeksiyon tarafı ve itici kısım 60°C su bağlanmıştır. Hızlı ısıtmalı soğutmalı proste ise, parçanın görsel olan tarafını çıkartan enjeksiyon tarafı 135°C ve itici kısım ise 60°C sıcaklıkta su dolaşarak üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin görsel incelemeleri yapılarak birbirleriyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiş ve bu farklılıkları görselleştirerek meydana gelen değişimleri ispatlamıştır. Görsel analiz sonucunda; konvansiyonel soğutmalı prosten elde edilen numunelerin yüzeylerinin hızlı ısıtmalı soğutmalı proste üretilen numunelere kıyasla belirgin bir biçimde parlak olduğu ve desenlerinin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak Moldflow analizi ile parçanın basınç gereksinimleri ve kalıbın termal analizlerinin kıyaslamasını da gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın diğer bölümünde ise üretilen numunelerin lazer tarama ile ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların kıyaslamalarını gerçekleştirilmiştir. Kıyaslama sonucunda, konvansiyonel metot ile üretilen parçaların tüm ölçülerinin tolerans içerisinde olmasına karşın hızlı ısıtma soğutma metodu ile üretilen numunelerin ölçümlerinde min. 0 mm ve max. 0,448 mm sapma mevcut olduğu ve Z ekseninde çarpılmaların yüksek oranlarda olduğunu tespit edilmiştir.

Fatma Songül Karabıyık [16] (2018) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, araçlarda kullanılan metal silecek kollarını daha hafif ve daha ucuz olarak üretebilmek amacıyla polimer esaslı malzemelerle üretilebilmesini hedeflemiştir. Çalışma esnasında cam elyaf takviyeli PA66 kompozit hammadde kullanılmıştır. Elde edilen ürüne dış ortam koşullarına dayanım, cam elyaf dağılımı et kalınlığı analizi, çekme dayanımı, fonksiyon testi gibi ürün doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışması esnasında Türkiye’de ilk kez su destekli enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Fatma Karabıyık’ın kullandığı bu yöntem sayesinde malzeme içerisinden su geçirilerek eriyiğin soğumasına yardımcı olarak parçanın kalıp içerisindeki soğutma süresini ve

buna bağı olarak toplam çevrim süresinin kısaltılması sağlanmış hem de parçanın ağırlığı hafifletilmiştir.

Çetin Bitirgiç [12] (2010) çalışmasında, plastik enjeksiyon prosesinde PP malzemeye ilave edilen ABS ve cam elyafın mekanik spesifikasyonlara etkisini incelemiştir. Numune hazırlık aşamasında PP hammadde içerisine çeşitli oranlarda ABS ve cam elyaf takviye ederek 1 kg'lık karışım elde etmiş. Sonrasında elde edilen farklı oranlardaki karışımardan plastik enjeksiyon makinesinde 11 adet numune basımı gerçekleştirmiş. Elde edilen numunelere plastik akışkanlık testi yapmıştır. Test sonucunda, en yüksek akışkanlığın PP'de en düşük akışkanlığın ise ABS malzemede olduğu, ancak cam elyafın ise malzeme akışkanlığına önemli derece etki ettiği saptanmıştır. PP ve ABS karışımında, PP ve cam elyaf karışımında görüldüğü gibi akışkanlığın azaldığı ve buna ek olarak üç farklı malzemeden oluşturulan karışımında minimum seviyenin yakalandığı tespit edilmiştir. Akışkanlık testine ek olarak eğme testleri, izod darbe deneyleri ve çekme testlerini gerçekleştirmiştir.

Mehmet Emin Özmen [27] (2012) çalışmasında, plastik enjeksiyonda parça yüzeyini takip eden soğutma kanalları ile soğumasının analizi incelenmiştir. Çalışmada Polystyrol 165 H malzemeden plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen buzdolabı rafı incelenmiştir. Parçaların enjeksiyonda üretimi esnasında konformal ve düz soğutma kanallı kalıplar olmak üzere iki farklı kalıpta üretilmesini sağlayarak sonuçları karşılaştırılmıştır. İki farklı kalıptan çıkabilecek parçalar karşılaştırılmış ve konformal kalıp kullanarak yapacağı üretimden 41 s yerine 33 s'li soğumayla çevrim süresini düşürerek ve yüzey kalitesi korunarak üretim yapabileceğini tespit edilmiştir.

Hasan Birol Kızıllöz [17] (2019) gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıbında soğutma parametrelerinin değiştirilmesi ve polipropilen metaryel imalatındaki etkileri incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak debi değişkenliğini sağlayacak bir prototip cihaz tasarlanmıştır ve 2-3,5 m³/saat debi değerleri arasında 0,1 değer oranında arttırarak değişen her debi aralığından bir numune alınması sağlanmıştır. Deney numuneleri random kopolimer polipropilen ile üretilen ambalaj üründür ve debi farkını net bir biçimde gözlemleyebilmek adına debi değerleri haricindeki tüm parametreleri her bir numune için sabit tutulmuştur. Ek olarak numune üretiminden önce malzeme içerisinde başka bir malzeme olması ihtimaline karşın ve malzemenin tanımlanması

amacıyla DSC (Diferansiyel Taramalı Kalormetri) ve FITR (Fouirer Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi) analizlerini gerçekleştirerek sonuçlar yorumlanmıştır. Numune üretimi sonrasında debi değişiminin her bir numunenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla basma ve çekme testleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Debi değeri arttıkça plastik ürünlerdeki çekme oranının azaldığı ve özellikle 3 m³/s debi ve üzerindeki değerlerin parça üzerindeki olumlu etkileri olduğu saptanmıştır.

Ahmet Demirer ve Yavuz Soydan [1] (2003) çalışmalarında, standart ve sıcak yolluk sistemiyle şekillendirilen PP malzemenin enjeksiyon prosesine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında Polipropilen hammadde kullanılarak iki gözlü ve sıcak yolluk ve normal yolluk sistemi ile basım yapılabilecek kalıp, üç farklı aşama ile enjeksiyon basım parametreleri değiştirilerek numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında numuneler oda sıcaklığında belirli bir süre bekletilerek sonrasında kumpas ile numunelerin enine ve boyuna ölçümleri yapılarak çekme miktarlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Ölçüm işlemi belirli zaman aralıklarıyla tekrarlanmış ve onuncu gün sonunda ölçüm işlemi tamamlanarak değerlerin ortalaması alınmıştır. Sonrasında ilgili hesaplamalarla değerlerin yüzde çekme oranları hesaplanmıştır. Çalışmanın devamında NYS (normal yolluk sistemi) ve SYS (sıcak yolluk sistemi) için KAD (kalıplama alanı diyagramı) ve çeşitli grafikler oluşturularak elde edilen tüm veriler yorumlanmıştır.

Ahmet Demirer ve arkadaşları [2] (2009) çalışmalarında, PP ve YYPE hammaddeler kullanılarak enjeksiyon prosesinde imal edilmesinde soğutma sisteminin numune kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma esnasında PP ve YYPE malzemelerinden enjeksiyonda basım hızı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı her iki sistem içinde sabit tutularak, çevrim süreleri (10s,15s, 20s) ve kalıp sıcaklıkları (35°C ve 45°C), değiştirilerek tek gözlü kalıpta normal dizaynlanan soğutma ve iyileştirilmiş (modifiye) soğutma sistemi kullanılarak numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri oda sıcaklığında bekletilerek 1.gün, 3.gün ve 7.gün dijital kumpas ile boyutsal ölçümleri yapılmış ve meydana gelen değişimler kayıt edilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen verilerden % çekme oranları ve çarpılma miktarı hesaplanarak grafik oluşturulmuş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Abdurrahman Çetin ve arkadaşlarının [13] (2016) gerçekleştirmiş oldukları bir çalışmada, katkısız PA66, %10 cam elyaf katkılı PA66, %20 cam elyaf katkılı PA66, %30 cam elyaf katkılı PA66 hammaddeler kullanılarak enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı ve enjeksiyon sıcaklığı şeklindeki üç parametreyi değişken ayarlayarak, bu parametrelerin dışındaki diğer parametreleri sabit tutarak numune üretimini gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerden ilk iki parçayı hurdaya ayırarak diğer sekiz parçayı referans almışlardır. Bu numunelerin darbe ve üç nokta eğme testleri gerçekleştirilerek bu değişkenlerin malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek darbe dayanımı değerini %30 cam elyaf katkılı PA66 hammaddeden üretilen numunelerden tespit etmelerine karşın katkısız PA66 ile üretilen numunelerde darbe deneyi kırılma olmadığından gerçekleştirilememiştir ve darbe dayanım değeri hammadde üretici firmanın katalog değerinden alınmıştır ve bu değere göre darbe dayanımının katkı oranı azaldıkça azaldığını belirlenmiştir.

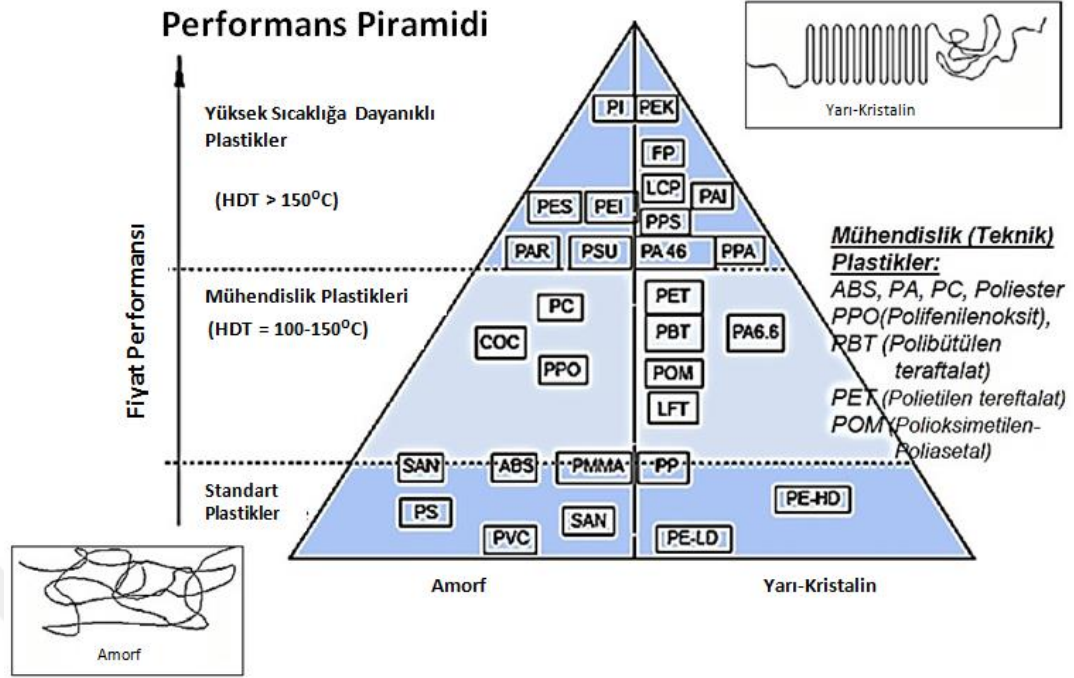
Literatür araştırmalarında gerçekleştirilen çalışmaların genel amacı, malzemelerin plastik enjeksiyon makinesinden çıkmadan önce soğutulması esnasında yolluk sistemlerindeki değişikliklerin etkilerine ve parametre değişimlerinin malzeme üzerindeki etkileri üzerine olduğu görülmektedir. Üretilen parçaların farklı ortam sıcaklıklarında soğutulması sonucu nihai üründe meydana gelebilecek boyutsal değişimler hakkında yeterli çalışmaların olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle hazırlanan bu tez çalışmasında daha önceki çalışmalardan farklı olarak plastik enjeksiyon yönetimiyle iki farklı hammadde ile üretilen numunelerin farklı ortam sıcaklıklarında soğutulması sonucu nihai üründe meydana gelen fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların 13°C'lik su, 18°C'lik hava ve 80°C'lik fırın olmak üzere üç farklı ortam sıcaklıklarındaki boyutsal değişimleri belirlemek için 1. gün ve 10. gün sonunda dijital kumpasla ölçümler yapılmıştır. Ortam ve sıcaklığın levhanın özelliklerine nasıl bir etki edeceği incelenmiştir.

BÖLÜM 2. LİTARİTÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Polimer Malzeme Türleri

Polimer malzemeler fiyat performans açısından öne çıkmalarının yanı sıra parça tasarımı konusunda engelleri aşabildiği için günlük hayatta çoğu malzemenin imalatında ve teknolojik gelişimlerde sık sık kullanılan bir metaryaldir. Günlük hayatta kullanılan malzemelere bakıldığında, mutfak gereçleri, cep telefonları, elektronik cihazlar, ulaşım araçları, sağlık ekipmanları, ambalaj paketleri gibi birçok alanda bu malzemelerin kullanıldığı görülebilmektedir. Daha ekonomik, hafif, geliştirilmeye yatkın, dayanıklı ve güvenli malzemeler olması sebebiyle plastik malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir.

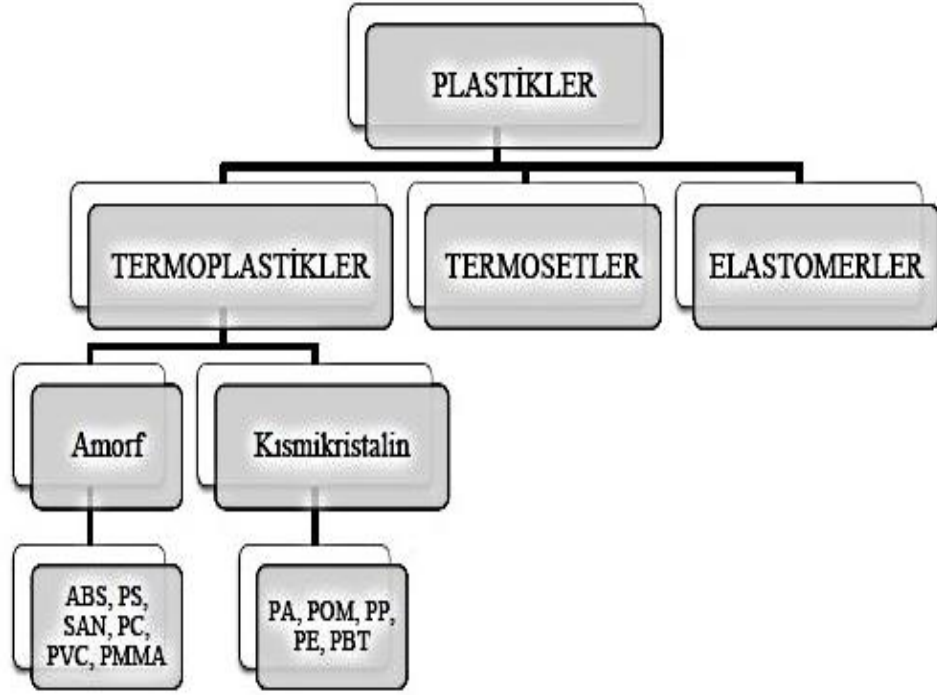
Polimer malzemelerin avantajlarından bahsedecek olursak; polimer malzemeler çoğunlukla fazladan işleme ihtiyaç duyulmadan karmaşık geometriye sahip parçaların imal edilebilmesini sağlarlar. Seramikler ve metal malzemelere kıyasla düşük yoğunlukta olmalarına rağmen dayanım/yoğunluk oranları oldukça idealdir. Korozyona karşı dirençleri çok iyi, elektriksel ve ısıl iletkenlikleri oldukça düşüktür. Polimerlerin bazıları saydam ve ışığı yansıtabilen özelliklerine sahip olması sebebiyle çoğu alanda cam malzeme alternatifi olarak kullanılabilir. Polimer metaryallerin spesifikasyonları kullanım amaçlarına göre ayarlanabilmektedir. Polimer malzemelerin performans pramiti Şekil 2.1’de sunulmuştur [3].



Şekil 2.1 : Polimerlerin performans piramidi [3].

Plastik malzemeleri ifade ederken monomer ve polimer kelimeleri beraber incelemelidir. Küçük moleküllerin birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak daha büyük moleküller oluşturabilmesi monomer olarak adlandırılır. Birden fazla monomerin kovalent bağlar ile birbirlerine bağlanması ile oluşan büyük moleküller ise polimer olarak adlandırılır. Monomerlerin polimere dönüşmesi adımı ise polimerizasyon olarak adlandırılır. Monomerlerin zincir halkalarına benzer biçimde birbirlerine birleşerek oluşturduğu makro-moleküllerden oluşan sentetik malzemeler ise plastik olarak adlandırılır [5].

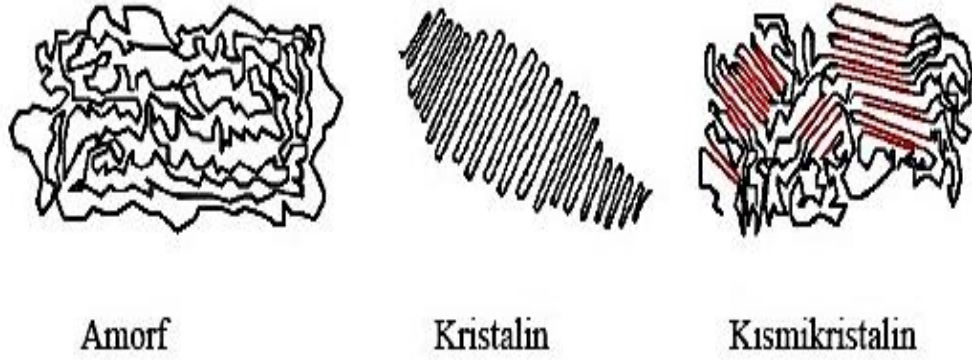
Plastikler üç ana gruba ayrılır Şekil 2.2’de da gösterildiği gibi; termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir.



Şekil 2.2 : Plastik malzemelerin sınıflandırılması [5].

Termoplastik metaryeller, birbirlerine moleküller arası bağlarla bağlanmış lineer veya dallı makromolekül zincirlerinin oluşturduğu plastiklerdir. Termoplastik metaryeller, sıcaklık altında ergiyen ve tekrar şekillendirilebilen, geri dönüşümleri mümkün polimerlerdir. Isı artırılması ve düşürülmesi durumlarında gerçekleşen çevrimlerde sadece fiziksel değişim yaşanır. Termoplastik metaryeller ergiyik hale getirildikten sonra her türlü kalıplama şekli ile üretim şekline uygundur. Bu üretim şekillerinden en yaygınları ekstrüzyon ve plastik enjeksiyonda kalıplamadır.

İmalat aşamasında ya da kalıplanması aşamasında erimiş halinden, soğutularak katılaştırılan termoplastikler kolaylıkla kristal yapıyı oluşturamazlar. Bunun sebebi polimer zincirin fazlaca kıvrılan ve büzülen yapısını stabile bir yapıya dönüştürerek polimerin kristal yapıyı kurması için yüksek enerjiye ihtiyacı vardır. Kristalleşebilen ve termoplastikleri oluşturan zincirler ise mükemmel seviyede bir kristal yapı kuramaz bunun yerine amorf ve kristal yapıdan oluşan kısmikristalin yapıyı oluştururlar. Termoplastik metaryellerin zincir yapıları Şekil 2.3’de belirtilmiştir.



Şekil 2.3 : Termoplastiklerin zincir yapıları [5].

Kristalin yapıda olan plastik malzemelerin erime sıcaklıkları belirgindir ve kimyasallara karşı çok iyi seviyede direnç gösterirler. Amorf yapıda olan plastiklerin boyutsal kararlılıkları fazladır, darbelere dirençlidirler, yoğunlukları düşüktür ve erime sıcaklık skalaları oldukça geniştir [5].

Termoset malzemeler belirli bir sıcaklık değeri üzerinde daimi olarak sertleşen ve tekrar ısıtılmasıyla yumuşayan plastik malzemelerdir. Isıtma ve soğutma işlemleri sonrasında kimyasal değişim meydana gelir. Birbirini takip eden çok sayıda çapraz bağın olması sayesinde elastomer ve termoset metaryeller birbirinden ayrılırlar. Termoset metaryeller çapraz bağlı molekül açısından elastomerler daha zengindir. Çapraz bağlı yapılar gevrek, yüksek ısıya dayanıklı ve geri dönüştürmesi mümkün olmayan metaryeller elde etmede büyük etkindir. Bu metaryellerin molekülleri yalnızca moleküller arası kuvvetlerle değil bunun yanında atomsal bağlarla birbirine bağlanmışlardır.

2.1.1. Takviye dolgu ve ilave maddeler

Polimerlerden farklı özellikler elde etmek ve mevcut olan özelliklerini arttırmak amacıyla takviye dolgu malzemeleri ilave edilerek modifiye edilmektedirler. Plastiklere ilave edilen dolgu maddeleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılabilir;

Pekleştirciler,

Renklendiriciler,

Plastikleştiriciler,

Dayanım arttırıcılar,

Ultraviyole ışınım dengeleyiciler,

Antioksidanlar,

Yağlayıcılar,

İşlemeyi kolaylaştıranlar,

Yanmayı önleyicilerdir [29].

Plastik malzemelerin yapılarını dolgu malzemesi ilave ederek büyük oranda değiştirebilmek mümkündür. Çoğu plastik malzeme ama formül ilave katkı ana formül ilave edilen katkı malzemeleriyle geliştirilerek kullanılmaktadır. Polimere cam elyaf takviye edildiğinde kimyasal direnç ve ısıl direnç özellikleri gelişir, sertleşerek darbe dayanımında artış meydana gelir. Karbon elyafı ilavesi ısıl ve elektriksel iletkenlik kazandırır, sertliğini ve çekme dayanımını özelliklerini artırır.

Polimer malzemeye metalik oksitlerin katılmasıyla ısıya karşı direnç, sertlik ve elektriksel iletkenlik sağlanır. Bunlara ilave olarak kırılma dayanımı ve ısıl iletkenlik kazandırırken viskoziteninde artmasını sağlar. Bakır (Cu) ve Alüminyum (Al) ilavesi ile malzemenin işlenebilirlik özelliği, elektriksel ve ısıl iletkenlik, çarpma direnci gibi özelliklerinde gelişim sağlanır. Çinko eklenmiş polimler ile iyi kaplama işlemi gerçekleştirilir, korozyona direnci çok iyidir. Silisyum katkısı hafifliğin talep edildiği durumlarda katılmaktadır. Polimar malzemenin kalıptan çıkartılma işlemini kolaylaştırmak ve sertliğinin artmasını sağlamak için Silikatlar takviye edilir. Parlaklığın artırılması ve sertliğin artırılması için kalsiyum karbonat takviye edilir. Kaolin takviyesi ile iyi elektriksel özellik elde edilir. Talk ilavesi ile elektriksel yalıtkanlık artırılır, nem ve ısıya karşı direnç sağlar ve üretilebilirliği kolaylaştırır.

2.1.2. Sık kullanılan termoplastikler

2.1.2.1. Akrlonitril butadien stiren (ABS)

Günlük hayatımızda düşük seviyelerde mukavemet ve sıcaklık gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Bu duruma örneklerimiz küçük ev aletleri gövdeleri, beyaz eşya açma kapama kolları, kontrol ve gösterge panel çerçeveleridir. Bu alanlarda ABS malzeme kullanımının sebepleri, hammadde maliyetinin düşük olması, kolay sıcak şekillendirme

yapılabilmesi, renk çeşitliliği sağlanabilmesi, sıcaklık ve mukavemet karşısında diğer plastiklere göre daha üst düzey performans göstermesi, görsel olarak talep edilen yapının daha kolay elde edilebilmesidir. Dezavantajları ise yüksek mukavemet altında deforma olmasıdır, çok yüksek ve çok düşük sıcaklık altında dış ölçülerde değişikliğe uğramaktadır. Normal sıcaklığa dönüldüğünde malzeme de nominal ölçülerine dönmektedir.

2.1.2.2. Polistiren(PS)

PS malzeme; termal ve boyutsal olarak yüksek kararlılığa sahiptir bu özelliği sayesinde lojistik alanlarında ve günlük kullanılan kullan-at plastik parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Dielektrik yapıya sahiptir ve bu yapı sebebi ile radyo, televizyon gibi kapalı yapı elektronik malzelerin iç yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

2.1.2.3. Polimetil metakrilat (PMMA)

PMMA malzeme optik özellik olarak çok yüksek verimliliğe sahiptir, saydam ve berrak yapıya sahiptir. Bu özellikleri sebebi ile aydınlatma ihtiyacı olan yerlerde kullanılmaktadır. Reflektörler, kapalı ortam ışıklandırmaları, lensler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Mekanik ve termal kararlılıkları yüksektir, günlük yaşamın hava ve sıcaklık şartlarından etkilenmezler.

2.1.2.4. Polivinil klorür (PVC)

Çok yüksek derecede boyutsal ve kimyasal kararlılığa sahiptir, çevre şartlarına uyumlu ve maliyet olarak uygundur. Bu özellikleri sebebi ile dış yaşam ortamları olan su tahliye borularında, ayakkabılarda, dış cephe montalamaları gibi yerlerde kullanılmaktadır. Fiziksel özellik olarak esnek ve rijit olmak üzere farklı çeşitliliklerde ürünler elde edilebilir.

2.1.2.5. Polipropilen (PP)

PP malzeme yüksek darbe dayanımı ve kristalize özelliği sayesinde yüksek yüzey sertliğine sahiptir. Cam elyafı ve mineral içerikli hammaddeler ile kompozit yapı

oluşturabilmektedir. Neme ve kimyasal etkileşimlere karşı çok iyi direnç göstermektedir. Bu özellikleri sebebi ile bazı otomotiv parçalarında, taşıma kasalarında ve tarak gibi sert ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır.

2.1.2.6. Poliasetal (POM)

Mühendislik alanında delrin olarakta adlandırılan bu malzeme çok yüksek yüzey direncine sahiptir. Mekanik özellikleri, sürünme, yorulma dayanımları çok yüksektir bu sebeple çekme, akma dayanımları yüksektir, dielektrik yapıya sahiptir. Bu özellikleri sebebi hassas olan ile dişli,zincir ve taşıyıcı gibi mukavemet gerektiren parçaların imalatında kullanılmaktadır. Nem alma oranları düşük olduğu için iç kabin koruma ve lojistik gibi alanlarda iç koruyucu olarak kullanılmamaktadır.

2.1.2.7. Poliamid (PA)

PA malzeme POM malzeme ile büyük oranda benzer özelliklere sahiptir, ancak PA malzeme nem alma özelliğine sahiptir. Cam elyaf malzeme ile kompozit yapı oluşturmaktadır. Kendi içerisinde diamin ve diasitleri içerisinde ki asit sayısına göre çeşitleri vardır. Bu çeşitlerde PA6 ve PA66 özellik olarak birbirlerine çok yakındır ancak PA6 malzeme çözünme direnci ve darbe dayanımı olarak daha avantajlıdır.Bu özellikleri sebebi ile POM malzeme gibi hassas olan ile dişli,zincir ve taşıyıcı gibi mukavemet gerektiren parçaların imalatında kullanılmaktadır. Nem alma oranları düşük olduğu için iç kabin koruma ve lojistik gibi alanlarda iç koruyucu olarak kullanılmamaktadır.

2.1.2.8. Polietilen (PE)

Yoğunluk olarak yüksek (YYPE) ve alçak (AYPE) olmak üzere iki farklı grupta üretilmektedir. Yüksek yoğunluklu PE malzemeler yüksek basınç ve debisi yüksek akışlı işler olan gaz transfer boruları, bidon, varil gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Alçak yoğunluklu PE malzemeler ise basınç gerektirmeyen ambalaj, film rulosu ve kablo koruma alanlarında kullanılır. Fiziksel şartlara dayanım ve kimyasal direnç olarak alçak yoğunluklu malzeme iyi iken, akış açısından özellikleri çok iyidir. Fiziki etkenlere karşı kararlı olmaması sebebi ile ölçüsel deformans çok

olağandır. Direnci ve ömrü arttırmak için UV stabilizörü gibi katkıları kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu PE malzemenin çekme dayanımı, çarpılma sıcaklığı ve kimyasal kararlılığı kristal özellikleri sayesinde yüksektir. Alçak yoğunluklu PE malzeme, yüksek yoğunluklu PE malzemeye göre normal ortam koşullarına daha karardır.

2.2. Polimer Malzemelerin Özellikleri

2.2.1. Polimer malzemelerin mekanik özellikleri

Polimerik malzemeler veya kompozitler üzerinde çalışma yapanların, bu malzemelerin özellikleri hakkında çeşitli bilgilere sahip olmak gerekir. "Mekanik davranış" ifadesi, polimerik malzemeye kuvvet uygulandığında meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmelerin incelenmesini tanımlar. Hangi yapısal etkenlerin mekanik özelliklere nasıl etki ettiğinin biliniyor olması gerekir. Bu nedenle bu bölümde polimerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerinde durulacaktır [20].

2.2.1.1. Polimerlerin gerilme - birim şekil değiştirme özelliği

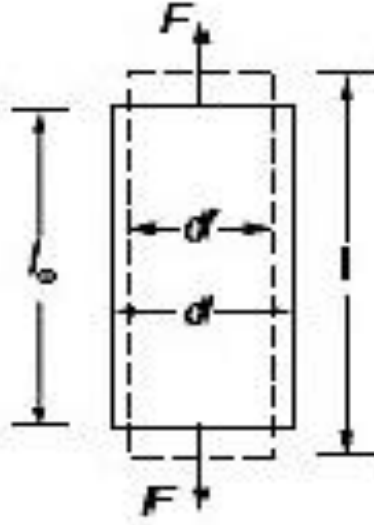
Kuvvet ya da yük parçaya etki ettiğinde parça üzerinde uzama ve gerilme meydana getirir. Malzemenin üzerinden herhangi bir noktadaki kuvvetin şiddeti, gerilme olarak ifade edilir ve birim alana etki eden kuvvet ile ölçülür. Birim şekil değişimi, bu gerilmenin malzeme üzerinde meydana getirdiği boyutsal fark olarak tanımlanır.

Malzemenin maruz kaldığı kuvvet malzemedan dışarıya doğru olması durumunda bu çekme kuvveti, çekme gerilmesi meydana getirir (Şekil 2.4). Fakat deforme olmamış orijinal kesit alanı kullanılmasıyla elde edilen veri mühendislik gerilmesidir. Çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme verileri aşağıda belirtilen denklemler ile (2.1) ve (2.2) elde edilir [11].

Çekme gerilmesi ve birim uzama (ϵ), (mühendislik)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \chi = \frac{(l-l_0)}{l_0} \quad (2.2)$$



Şekil 2.4 : Çekme esnasında meydana gelen boyut değişim [11].

Malzeme performansının ölçümünün daha doğru gerçekleştirilebilmesi için birim uzama davranışı ve gerçek gerilme değerleri tespit edilmelidir. Belirli bir uzunlukta olan kesit alanının(A), uygulanan kuvvete(F) oranlanması ile gerçek gerilme değeri elde edilir.

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

2.2.1.2. Malzeme modülü

Polimerik esaslı malzemenin birim uzama esnasında en önemli mekanik özellik malzemenin modülüdür ve malzemenin rijitliğinin göstergesidir. Malzemenin oldukça küçük sınırlı birim uzama değerinde ki mekanik deformasyona karşı direncinin büyüklüğününün değerini, malzemenin modülü belirtir [10].

Kayma modülü (G), Elastiklik (Young) modülü (E) ve Hacim (Bulk) modülü (K) olarak 3 çeşit malzeme modülü vardır [28].

Bir malzemenin tek eksendeki çekme direnci Elastiklik modülü E olarak tanımlanır. Elastiklik modülü formülize olarak $\sigma = E \cdot \varepsilon$ şeklinde gösterilir. Bu denklemden; tekil yönde uygulanan çekme sonucunda minimum boyutta dahi olsa şekil değişikliği için gerekli gerilmenin elastiklik modülü ile orantılı olduğu anlaşılmaktadır buna literatürde Hook kanunu denir. Malzeme modülünün daha büyük olması daha az deformasyon olmuşmasını sağlar. Prosesin tüm değerlerinin sabit olması sağlanan

durumlarda plastik hammaddelerin gerilme-birim uzama davranışı kalitesel verilerin elde edilebilmesi ve çeşitli plastiklerin işlenebilir olmasında temel sağlar [6].

Malzemenin modülü, birim kesit alanındaki polimer zincirin bağ sayısı ve zincirdeki kovalent ve Van Der Waals bağlarının dayanımı ile orantılıdır. Polimer malzemelerin modülü 2 şekilde artar, zincir rijitliğinin yükselmesi ve kohesiv enerji yoğunluğunun yükselmesiyle.

Malzeme kimyasal bağlarının zayıf ve kuvvetli olan iç yapıları polimerin malzeme modülünü belirlemede önemli bir etkidir.

Zayıf bağlar, hidrojen ve Van Der Waals bağlardır. Kuvvetli bağlar ise kovalent bağlardır. Zayıf bağlar kuvvetli bağlara göre daha hızlı deforme olur. Homojen ve izotropik malzemeler bütün malzemelerin en basit olanıdır. Malzemenin tüm yönlerinde özelliklerin aynı olması izotropik malzemelerin ayırt edici özelliğidir [28].

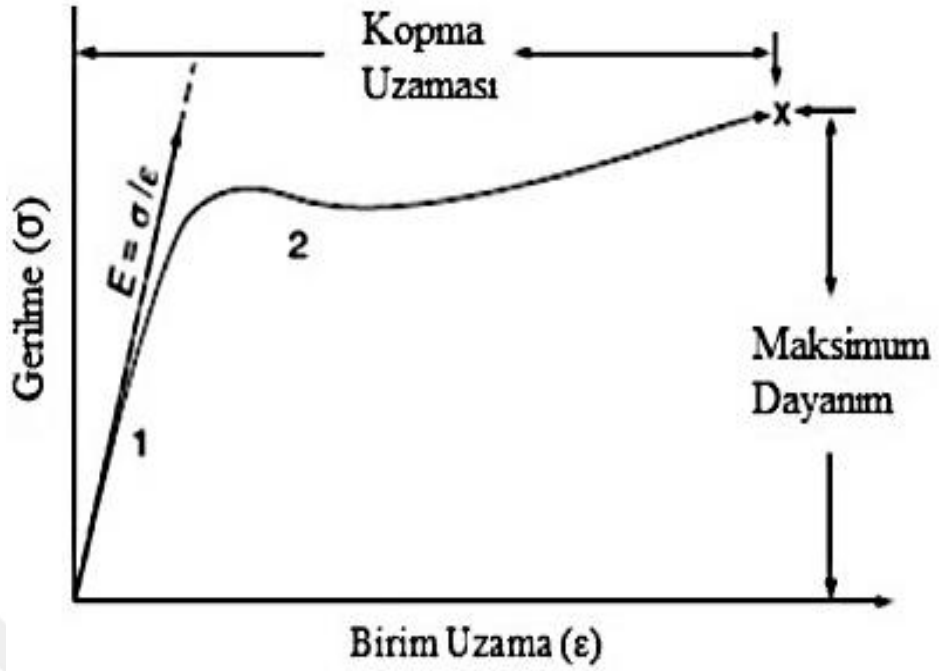
Poisson Oranı (ν); tek ekseninde gerçekleştirilen çekme sırasında polimerik malzemenin, enine ekseninde üzerindeki şekil değişiminin boyuna eksen üzerindeki şekilde değişimine oranı olarak bilinmektedir. Poisson oranı plastik esaslı malzemelerde sabit değildir, gerilme, sıcaklık ve zaman vb. farklı koşullarda değişim meydana gelir. Çoğu termoplastik malzeme için ortalama 0,4-0,45 dir [30].

2.2.1.3. Gerilme-birim uzama davranışı

Bu metaryellerin göstermiş oldukları mekanik davranışlar, mühendislik uygulamalarında büyük ölçüde öneme sahiptir. Gerilme-birim uzama davranışı; bir metaryale kuvvetin etki etmesiyle birlikte meydana gelen deformasyon olarak tanımlanır. Belirli miktarda şekil değişimi elde edebilmek için gerekli gerilme değerini birim uzama – gerilme davranışı gösterir. Bu davranış sıcaklığın (T), birim uzama hızının ($\dot{\epsilon}$) ve birim uzamanın (ϵ) fonksiyonu olabilir [6].

Şekil 2.2’de belirtildiği gibi çıktı haline getirilebilecek ve yaygın olan iki malzeme modülü vardır.

Birincisi, sekant modülüdür ve başlangıcı orijin olan, belirli bir birim uzama değerine karşılık çizilen doğru ile hesaplanır. Rijit malzemelerin bir çoğu için birim uzama %1 olarak kabul edilir. İkincisi, tanjant modülüdür ve belirli bir birim uzama değerine



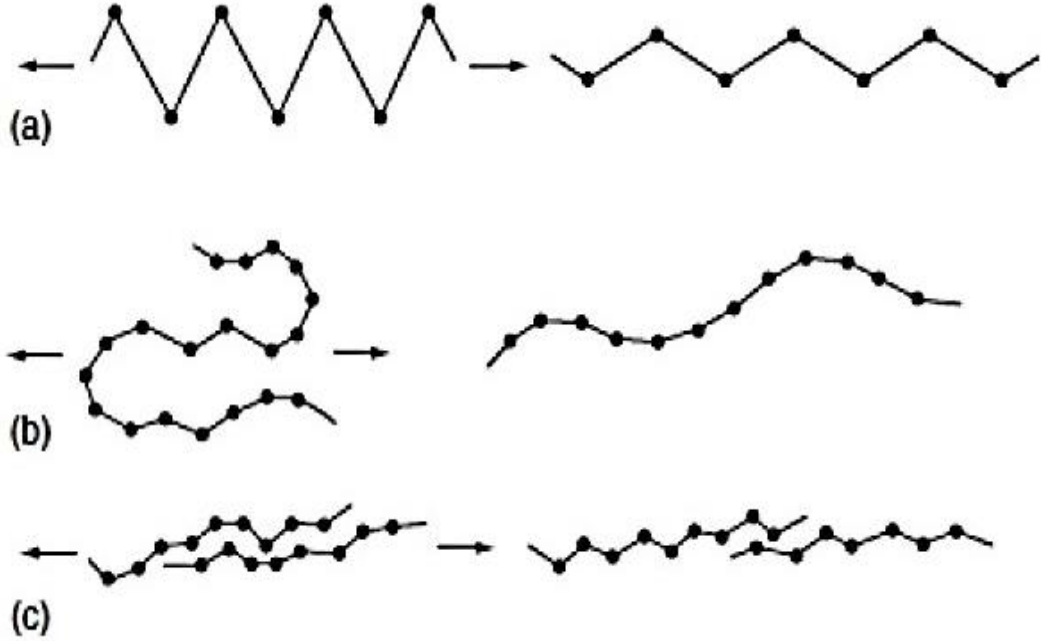
Şekil 2.6 : Polimer malzemenin gerilme-birim uzama davranışı [11].

Şekil 2.6’da belirtilen 1 ile ifade edilen konuma kadar elastik katı malzemeler gibi bir davranış sergileyerek lineer bir gerilme-birim uzama yükselişi gösterir ve deformasyon boyutu küçüktür. Deformasyon küçüklüğü polimer zincirinin atomları ile atomların kendi içlerindeki bağların boyutsal artışı ve kıvrılmalarıyla doğrudan bağlantılıdır (Şekil 2.4a). Ani olarak meydana gelen, toparlanma yeteneği olan ve molekül konumlarının birbirlerine göre değişmediği bir deformasyondur [11].

Şekil 2.6’daki 1 ve 2 numaralı konumlar arasında, çekme gerilmesi mevcutken deformasyon sarmal formdaki molekül zincirlerinin birbirlerinden ayrılarak düzleşmesiyle ilgilidir. Basma gerilmesine maruzken ise tam zıttı meydana gelmektedir. Moleküllerin arasında kayma olmadan oluşur. Deformasyon anlık olarak meydana gelmez ve yüksek oranda toparlanabilmesi mümkündür. Bu sebeplede Non-lineer olan bir yayın hareketini andırabilir. Orantı sınırını geçen bir gerilme anında elastik ve non-lineer özellikte deformasyon oluşur. Bu deformasyonun oluşmasından sonra moleküller arası düzende kalıcı bir farklılık oluşmaz fakat deformasyon kauçuk durumda çok barizdir [11].

Plastik metaryallerin toparlanabilmesi mümkün olan en fazla uzama elastik sınırı ifade eder. Bu aşamadan sonra metaryalin uzama davranışı Newtonian bir sıvının akması

şeklinde moleküllerin birbirine göre kaymasıyla oluşmaktadır. Kaymış halde bulunan moleküllerin önceki esas hallerine geri dönme yönelimleri olmaması sebebiyle deformasyon toparlanamaz ve kalıcıdır [10].



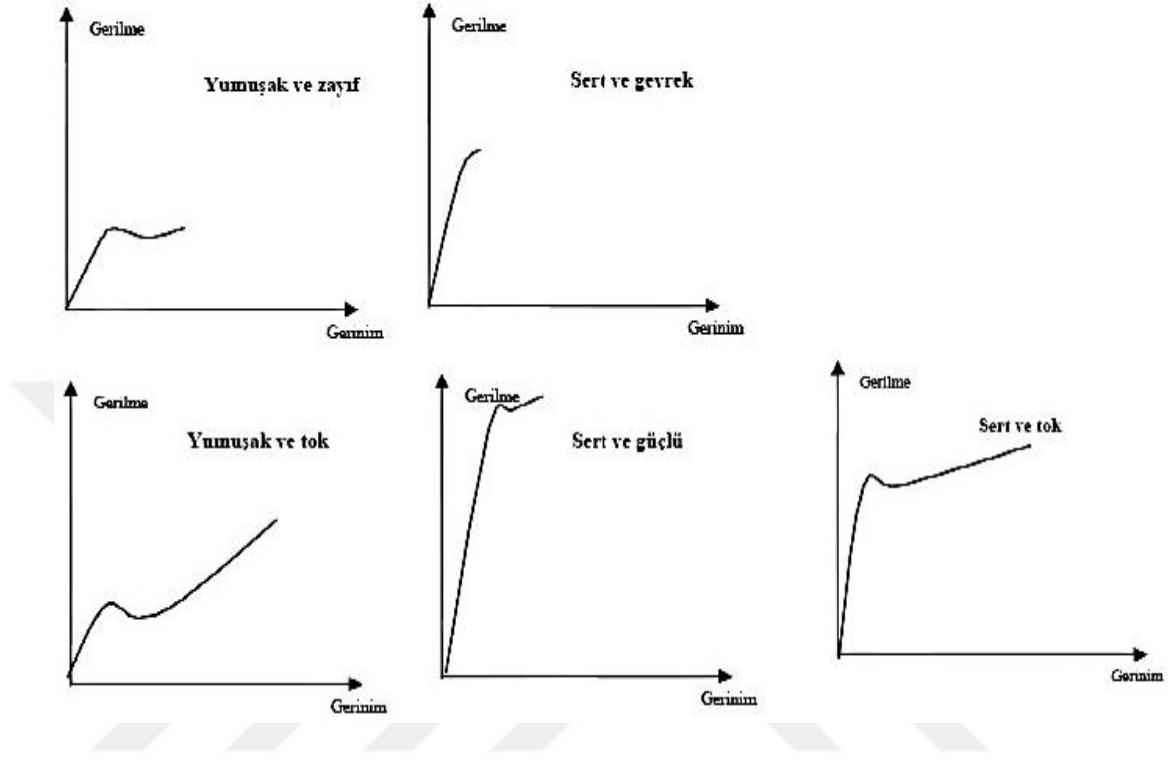
Şekil 2.7 : a)Polimer molekülünün uzaması b)Bağlı molekül zincirinin açılması c)Moleküller arası kayma [11].

Gerilme-birim uzama değişimini gösteren grafik plastik malzemelerin gruplandırılması için temel meydana getirir. Metaryellerin tamamı dışarıdan maruz bırakıldığı yükün etkisi altında deformasyon oluşmaktadır. Bazı metaryelerde büyük ve saptanabilir bir deformasyon gözlenirken bazılarında ise deformasyon tespit edilemeyecek kadar küçük olabilmektedir [14].

Metaryellerin gevrek veya sünek davranış göstermesi, maruz bırakıldığı yüke bağlı olarak kopma öncesindeki deformasyon boyutuna göre tanımlanır. Sünek yapıdaki metaryelerde plastik deformasyon meydana gelirken, kırılma yapıya sahip malzemelerde ihmal edilebilecek düzeyde plastik deformasyon meydana gelir ve akma davranışı sergilemezler [35].

Şekil 2.8'de çeşitli metaryeller için gerilme-birim uzama davranışı sunulmuştur. Güçlü metaryeller zayıf metaryellere kıyasla daha yüksek değerlerde kopma dayanımı

göstermektedir. Sert ve kırılma eğiliminde olan metaryaller yumuşak metaryallere kıyasla daha yüksek değerde elastiklik modülüne sahiptir [11].

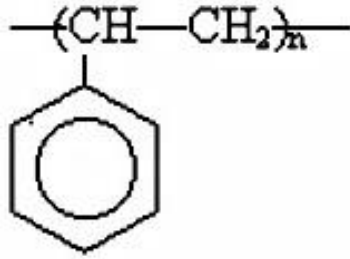


Şekil 2.8 : Çeşitli metaryaller için gerilme-birim uzama davranışları [11].

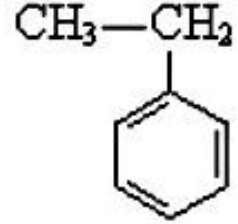
2.2.2. Kimyasal özellikler

Polimer malzemelerin oda sıcaklığındaki fiziksel hali katı formdadır. Ortam sıcaklığının artışı ile bu form lineer ve dallanmış polimerlerde viskozitesi çok yüksek sıvı forma dönüşür. Üç boyutlu ağ yapıda ve kros bağ yapıda olan polimer malzemeler ise çok zor erir yada hiç erimezler. Polimer malzemeler sıcaklık etkisi ile molekül ağırlığı daha küçük olan maddelere dönüşürler, bu dönüşüme degrasyon adı verilir. Polimerlerin molekül ağırlığı belirli maksimum değere ulaştıktan sonra (örneğin;10 000 gr/mol) yoğunluk ve erime noktası gibi fiziksel unsurlarda değişme gözlenmez ancak daha düşük molekül ağırlıklı polimerler de ise bu özellikler molekül ağırlığına doğru orantılı şekilde değişim gösterir. Özetle polimer malzemelerde molekül ağırlığı arttıkça yoğunluk artar ve erime noktası yükselir. Bir sisteme en uygun çözücünün seçimi için en önemli özellikler ise polarite, solvasyon gücünün farklı aktif taneciklere göre

değişimi, çözücü ve başlatıcı arasındaki özel etkileşimlerdir ek olarak monomer, başlatıcı ve polimer sisteminin erime noktası, saflaştırma kolaylığı ve homojenliği gibi etkenler önemlidir. “Birbirlerine benzer maddeler birbirlerini çözerler” ilkesine uygun olarak her polimer kendi mer yapısına benzeyen çözücülerde çözünürler. Örneğin, polistiren etil benzende her oranda çözünür (Şekil 2.9) [31].



Polistiren



Etilbenzen

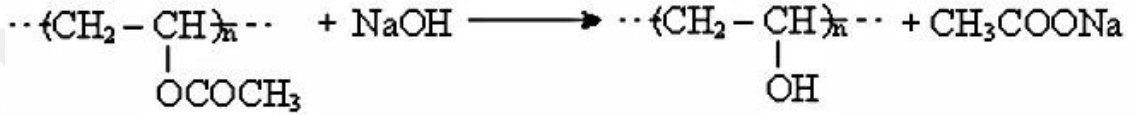
Şekil 2.9 : Polistiren-Etilbenzen kimyasal gösterimi [31].

Polimerlerin çözünmesi olayı oldukça yavaş ve iki kademe gerçekleşmektedir. Polimerin kısmına yavaş yavaş çözücü moleküller nüfuz ederek dolgun bir jel oluştururlar. Çözücüyle polimer molekülleri arasındaki tepkime kuvvetliyse ikinci kademe bunun sonucunda çözülme üzere polimer çözeltinin içerisinde çözünebilir.

Polimer jeli olarak tanımlanan yapının çözelti şeklinde dağılmasını hızlandırmak için karıştırma işlemi uygulanır. Bu çözünme işlemi değişken olup yüksek molekül ağırlığına sahip olan bir polimerin çözünmesi bazen günlerce sürebilir. Bu çözünmeyi moleküllerin yapısında ki kristalite ya da kuvvetli hidrojen bağları ve çapraz bağlar önleyebilir.

Polimer malzemelerin kimyasal spesifikasyonları sahip oldukları yapılara bağlıdır. Polimerin fonksiyonel gruplarının reaksiyon kabiliyetinin, polimerlerin molekül ağırlığına bağlı olmadığı kabul edilir. Bahsi geçen fonksiyonel grupların, molekülün her noktasında kendilerine özgü reaksiyon vermeleri gerekmektedir.

Molekül ağırlığı küçük olan ve kendi polimer yapısındaki mer'e benzeyen maddenin yine o madde ile reaksiyona girme yatkınlığı ile polimerin herhangi bir madde ile reaksiyona girme yatkınlığının aynı olması temel ve yaygın bir kuraldır. Ancak polimer moleküllerin fonksiyonel grup sayılarının ve molekül boyutlarının büyük olması sebebi ile polimerlerin girebildiği reaksiyonlarda bazı özel durumlar gerektirir. Örneğin; oda sıcaklığında kuvvetli baz ve asitlerden n-hekzan etkilenmez. n-hekzan ile aynı yapıya sahip olduğu için polietilen de aynı sıcaklıkta kuvvetli asit ve bazlardan etkilenmez. Polivinil asetatta benzer durum sebebi ile alkaliler ve seyreltik asit ile etkileşime girdiğinde esterler gibi hidrolize uğrar (Şekil 2.10) [31].



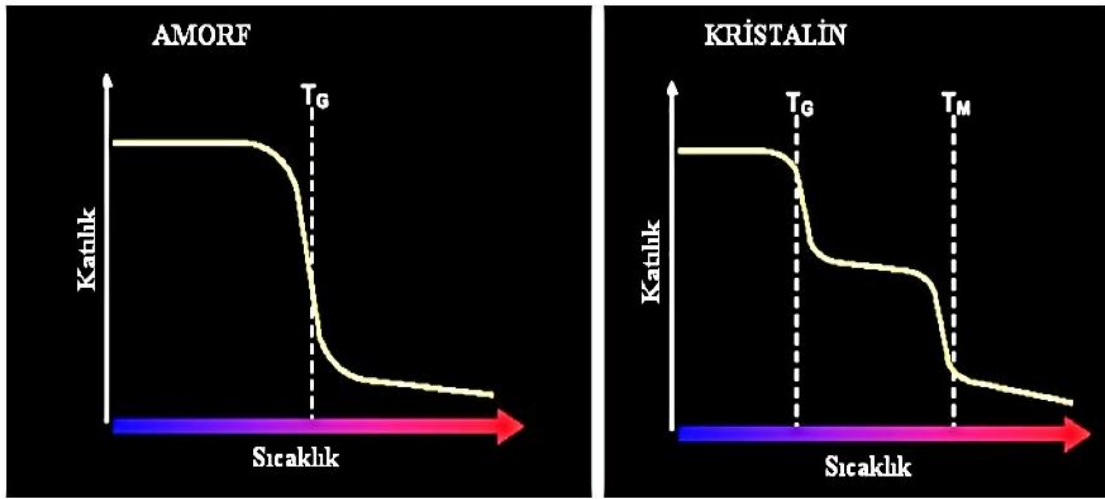
Şekil 2.10 : Alkali ve seyreltik asit ile etkileşimi [31].

Polimer esaslı kaplamalar hafiflik ve maliyet bakımından avantajlı olması, yalıtkan özellikleri sayesinde iyi elektriksel ve ısı izolasyon sağlaması, kolay tedarik edilebilmesi, asit ve tuzlara dayanıklı olması ayrıca çevredeki oksijen konsantrasyonu, safsızlık, ph vb. gibi değişimlere karşı hassas olmaması gibi birçok farklı alanda üstün özellik sergilemektedirler, ek olarak özel şart ve fazla yükleme şartları altında elektrokimyasal korozyona ve çevresel gerilim çatlamlarına karşı dayanıklılığı polimer esaslı kaplamaların güçlü avantajlarından. Bu avantajların yanı sıra sıcaklık faktörünün, mekanik dayanım bakımından bazı sınırlandırıcı dezavantajları mevcuttur [30].

2.2.3. Isıl özellikler

İşletme koşulları analiz edilerek, mekanik kararlılıkları belirlenen sınırlar içerisinde kararlılığını sağlayabilecek malzeme seçimi yapılmalıdır. Plastik materyelin özellikleri, imalat yöntemi, belirlenen parametreler, erime sıcaklığı (Tm), boyutsal kararlılık, camsı hale geçiş sıcaklığı (Tg), özgül ısı, ısı iletkenliği ve geçirgenliği, ısı genleşme katsayısı ve bozulma sıcaklığı gibi termal özelliklerinden etkilenir [15].

Ergime sıcaklığı kısmikristalin metaryelerde belirgin bir değer iken amorf metaryelerde belirgin bir ergime sıcaklığı değeri yoktur, bir sıcaklık aralığı belirlemek daha sağlıklı bir yoldur. Plastik metaryelin cam gibi davrandığı sıcaklık değerine camsı yapıya geçiş sıcaklığı denir. Bu sıcaklık üzerine çıkıldığında plastik metaryel, cam gibi sağlam ve rijit olmadığı gibi kırılmanda değildir. Bu sıcaklık değeri amorf termoplastik metaryelerde daha belirgindir. Camsı yapıya geçiş, basınca ve özgül hacme bağlı olarak erime sıcaklığının altında gerçekleşir. Camsı hale geçiş çoğu zaman küçük bir sıcaklık aralığında gerçekleşir, bu sıcaklık bölgesinde ısıl genleşme katsayısı ve özgül ısı gibi termal özelliklerde değişim gözlenir. Kristal ve amorf metaryelerin T_g ve T_m değerleri Şekil 2.11’de karşılaştırılmıştır [15].



Şekil 2.11 : Amorf ve kristalin malzemelerin T_g ve T_m değerleri değişim grafiği [15].

Plastik metaryelin yük altında ki deformasyon sıcaklığı olan ısıl distorsiyon sıcaklığı (Deflection Temp. Under Load, DTUL), yüksek sıcaklık altında yük taşıma kabiliyetinin göstergesidir. Amorf plastiklerde camsı geçiş sıcaklığı DTUL ile çakışmaktadır. Vicat yumuşama sıcaklığı (Vicat Softening Temperature) ise ısıl direncin farklı bir göstergesidir. Isıtma banyosunda, plastik metaryel örneği noktasal olarak sabit bir yüke maruz bırakılır, iğnenin metaryeli 1mm deldiği noktadaki sıcaklık Vicat yumuşama sıcaklığı olarak belirlenir. Bazı plastik metaryeller için Tablo 2.1’de DTUL ve VST değerleri verilmiştir [15].

Tablo 2.1 : Bazı plastiklerin DTUL ve VST değerleri.

Malzeme	Vicat Sof., B Method Tem. °C	DTUL, A yöntemi, °C
PE-HD	65	50
PP	90	45
PVC	92	72
PS	90	84
ABS	102	100
PC	138	135
POM	165	140
PA6	180	77
PA66	200	130
PMMA	85	103
PET	190	80
PBT	80	65

Plastik içerikli hammaddeden üretilen makine elemanından yüksek sıcaklıklarda form kararlılığı bekleniyorsa bozulma sıcaklığının önemi artmaktadır. Bozulma ısısında molekül zincirlerini meydana getiren üniteler arasında bulunan bağlar birbirinden ayrılır ve malzeme yapısında bozulma gerçekleşir. Çoğu polimer için bu sıcaklık değerini belirleyen temel faktör o metaryalin camsı hale geçiş sıcaklığıdır. Camsı duruma geçiş sıcaklığının yukarısına çıktığında genleşme katsayısında da artış olmaktadır. Polimerlerin bazıları için bozulma sıcaklık değerleri Tablo 2.2’de sunulmuştur. Büzülme, boyut stabilitesi ile dikkate alınması gerekli farklı bir olaydır. Numunenin farklı bölümlerinde oluşan büzülme farklı soğuma hızlarından, farklı duvar kalınlıklarından, polimer moleküllerin yönlenmesinden, akış konumundan ya da kuvvetlendirici liflerin bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.2 : Polimerlerin bozulma sıcaklık değerleri.

Plastik Malzeme	Bozulma Sıcaklığı (°C)
PP	320-400
PC	340-440
PVC	200-300
PS	300-400
PMMA	180-280
ABS	250-400
PA	300-400
PET	280-320

Metaryelin birim kütlesinin 1°C yükseltilebilmesi için gerekli enerji miktarı özgül ısıdır. Amorf plastik malzemelerin özgül ısısının artışı, camsı hale geçiş ısısının alt ve üst ısı değerlerinde lineer biçimde gerçekleşir, Tg sıcaklığına yakın değerlerde ise eğride süreksizlik gözlemlenir. Plastikleri diğer mühendislik metaryellerinden ayıran özelliği ise özgül ısı değerlerinin sıcaklığa duyarlı olmasıdır [29].

Metaryelin kalınlığı yada uzunluğu süresince ısı enerjisi aktarma oranı ısı iletkenliğini ifade eder. Bu faktör amorf yapıdaki metaryellere göre kısmi kristalin termoplastiklerde daha iyidir. Proses esnasında ihtiyaç duyulan ısının yayılmasında ki zorluk ve proses sonrası soğuma anlarında meydana gelmesi plastik metaryellerin düşük ısı iletkenliğe sahip olmasının dezavantajlarındanır. Belirli ortam koşulları içerisinde metal malzemeler termoplastik metaryellere oranla daha az boyut değişikliği gösterir. Malzemeye ait boyut değişim değeri ilk boyut değerine oranlandığında ısı genleşme katsayısı elde edilir. Isıl genleşme katsayısı birbirine montajlanan ve hammaddeleri farklı olan makine elemanları için çok önemlidir. Plastik malzemelerin termal özellikleri Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 : Bazı plastiklerin termal özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Sıcaklığı (T _m °C)	Camsı hale geçiş sıcaklığı (T _g , °C)	Isıl İletkenlik (10 ⁴ cal/s.cm°C)	Özgül Isı (cal/gr°C)	Isıl Geçirgenlik (10 ⁴ cm ² /s)
PP	0.9	168	-10	2.8	0.9	3.5
HDPE	0.96	134	-110	12	0.9	13.9
PTFE	2.2	330	-115	6	0.3	9.1
PA6	1.13	260	50	5.8	0.075	6.8
PET	1.35	250	70	3.6	0.45	5.9
ABS	1.05	105	115	3	0.5	3.8
PS	1.06	100	90	3	0.5	5.7
PMMA	1.20	95	105	6	0.56	8.9
PC	1.20	266	150	4.7	0.5	7.8
PVC	1.35	199	80	5	0.6	6.2

2.2.4. Elektriksel özellikler

Yüksek molekül ağırlığında olan tüm polimer malzemeler elektriksel açıdan yalıtkan özellik sergilemektedirler. Bu sebeple elektrik-elektronik endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Nem ve sıcaklık elektrik direnci için kritik bir etken olmakla birlikte bu direnç elektriğin iletimine destek olan takviye malzemeler ile azaltılabilir. Polimer esaslı malzemelerde statik elektrik kaynaklı yangın riski bulunmaktadır, bu riski azaltmak adına malzemeye iletkenliği azaltacak takviye malzemeler eklenir. Otomotiv endüstrisinden örnek verecek olursak motorlarda kaplama için kullanılan silikon kauçuğuna karbon siyahı takviye edebilmektedir.

Dielektrik Bozunma Direnci; “Dielektrik Bozunma Direnci” terimi yalıtkan özellik gösteren bir malzemenin bu özelliğini kaybettiği, bozunmaya uğradığı voltaj değerinin göstergesidir. Polimer esaslı metaryellerin bozunma direnç değerleri çoğunlukla 10⁶ -

107 volt/cm aralığındadır. Polistren, Polivinil klorür, Politetrafloroetilen gibi polimer malzemelerin dielektrik dirençleri yüksek olması sebebiyle yalıtım malzemeleri üretiminde sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Dielektrik Sabiti ve Dielektrik Kayıp Polimer esaslı metaryellerin karakteristik özelliklerinden biri olan dielektrik sabiti alternatif elektrik alanında ölçülebilen bir değerdir ve genellikle bu değer polimer esaslı malzemeler için 2 ila 5 aralığındadır.

Dielektrik kayıp terimi polimer esaslı metaryellere uygulanan alternatif elektrik enerjisiyle birlikte alan frekansı sebebiyle elektrik enerjisinin bir bölümünün ısı enerjisine dönüşmesi olarak ifade edilir [26].

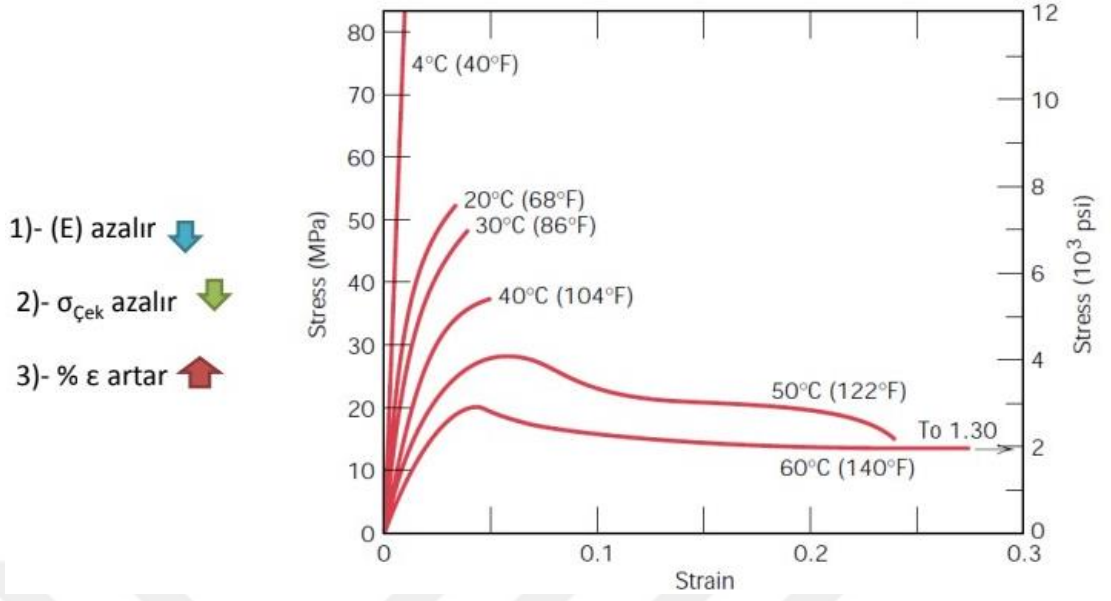
2.3. Polimerlerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörler

Plastik numunenin hazırlanması, hazırlanma esnasındaki koşulları ve test şartlarına göre numunenin sergilediği gerilme-birim uzama davranışı değişikliklik gösterebilmektedir. Polimerik esaslı metaryallerin mekanik özelliklerinin doğal formunu belirleyen birçok moleküler, yapısal ve çevresel etkenler vardır.

Sıcaklık etkisi

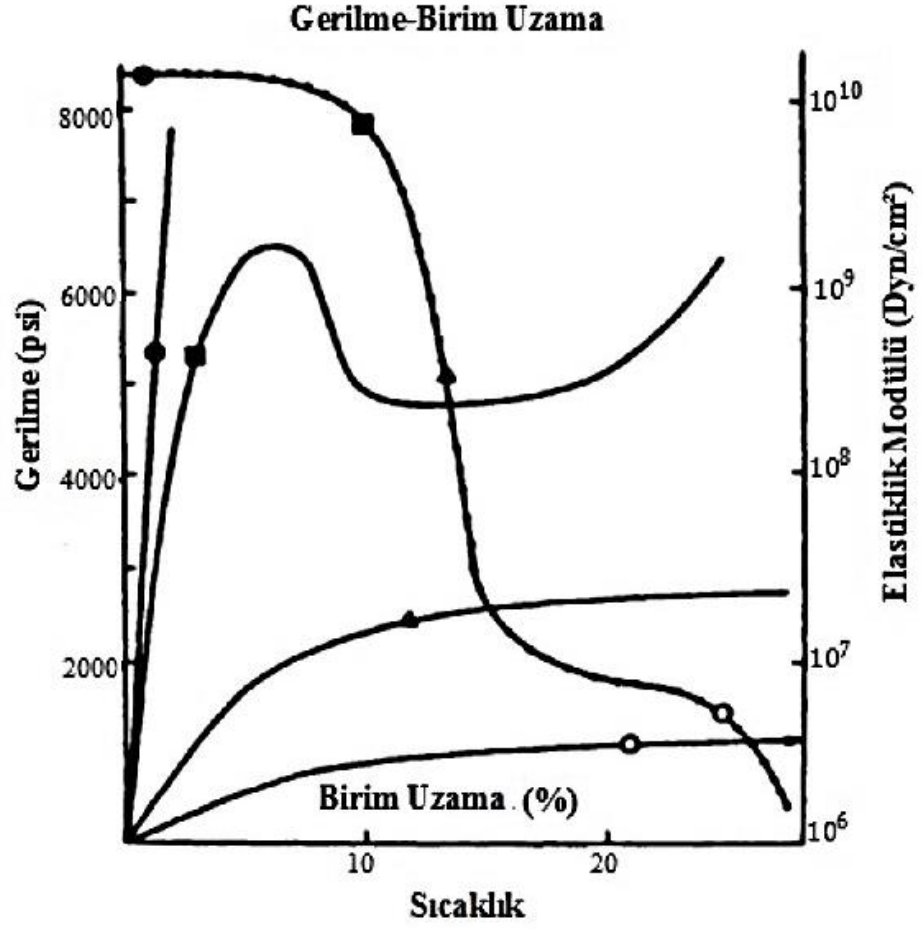
Polimerik metaryallerin mekanik özellikleri sıcaklıktan yüksek oranda etkilenmektedir. Bu etkiye örnek olarak moleküler yapısındaki değişim, sürünme özelliği vb. özellikler gösterilebilir.

Sıcaklığın polimer esaslı malzemenin elastik modülü ve gerilme-birim uzama davranışı üzerindeki etkileri Şekil 2.13'de belirtilmiştir. Polimer esaslı metaryalin modülü sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır. Fakat bu azalma standart bir biçimde gerçekleşmez. Sıcaklık artışının plastik malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimine ait grafik Şekil 2.12'de sunulmuştur.



Şekil 2.12 : Sıcaklık artışının mekanik özelliklere etkisi [20].

T_g (camsı geçiş sıcaklığı) sıcaklık değerinin aşağısındaki sıcaklıklarda modülün düşmesi yavaştır. Çünkü polimer moleküllerinin hareket etmesi için termal enerji yetersiz kalmaktadır ve bu alanda polimer camsı ve rijitken malzeme modülü yüksektir. Molekül hareketlendiği ısılarında ise net bir azalma görülür, bu hareketlenmenin oluşmasına sebep olan ısı seviyesine ulaştığında aktarım noktasında gevşeme adımı başlar ve metaryelin modülü hızlıca iner. Polimerik malzeme kırılğan ve sert olan katı halinden yumuşak hale geçiş yapar. Aktarım noktası sonrasında kauçuğumsu alanda yüksek oranda zincir hareketi yoktur. Lineer polimerlerde ısının yükselmesiyle büyük oranda zincir hareketi gerçekleşir ve malzeme modülü iner [24].



Şekil 2.13 : Tipik bir polimerin gerilme-birim uzama eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki elastiklik modülü [28].

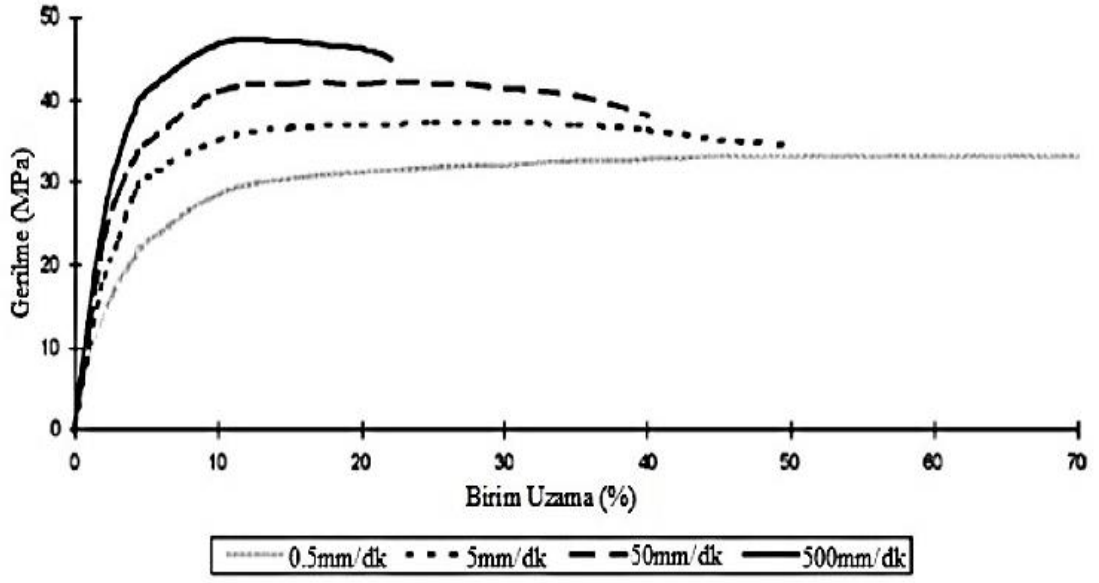
Aslında çok alçak ısılarda metaryalin akma noktası yoktur ve metaryalin yapısı kırılğan özelliktedir ve sıcaklığın yükselmesiyle metaryalin akma gerilmesi azalmaktadır [28]. Tablo 2.4’de çeşitli polimer metaryallerin Tg ve Tm sıcaklıkları sunulmuştur.

Tablo 2.4 : Polimerlerin Tg ve Tm değerleri [24].

Polimer	Tg (°C)	Tm (°C)
PET	65-76	200-265
PP	-14	165
DYPE	-80	60-100
OYPE	-80	80-120
YYPE	-80	100-140
PVC	85	180
PS	100	140

Çekme hızı etkisi

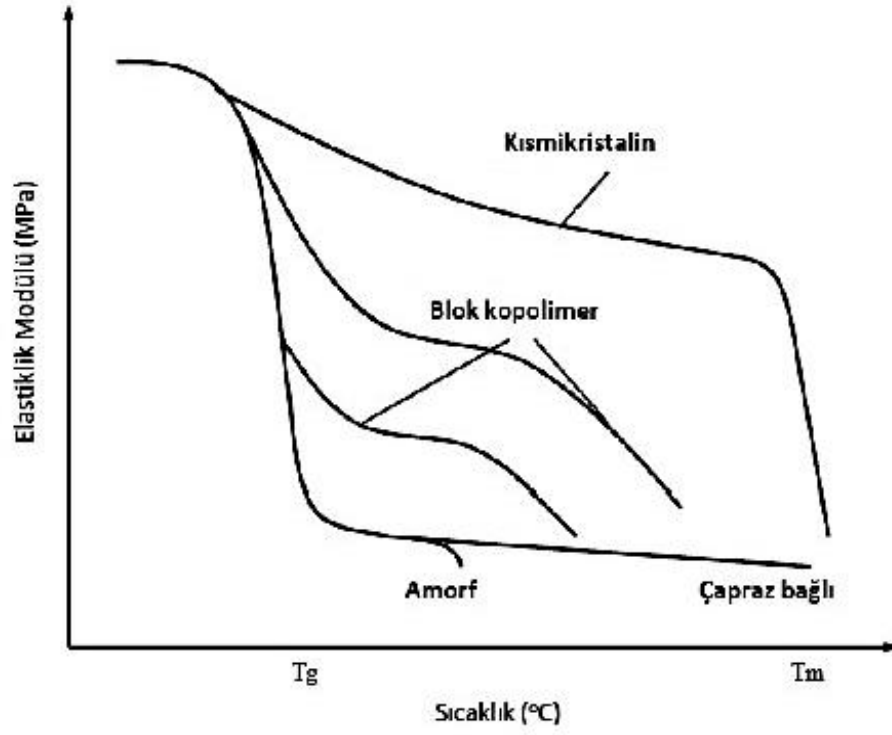
Çekme hızı verisinin metaryalin deformasyon hareketinin üzerinde kompleks bir tesiri vardır. Deformasyon hareketi ve mekanik spesifikasyonlar, tatbik edilen çekme hızına fazlaca bağlıdır. Yüksek yoğunluklu Polietilen malzemenin çeşitli çekme hızlarında gerilme-birim uzama hareketi Şekil 2.14'de belirtilmiştir. Deney hızının artışıyla birlikte metaryalin modülünde artar. Metaryalin akma noktası en az çak deney hızında belirgin biçimde değildir ve bu haldeki metaryal soğuk biçimde akış sergiler. Sebebi ise bu çekme hızında, Yüksek yoğunluklu Polietilen malzemenin molekülleri maruz bırakılan kuvvete stabil direnç sergilerken, oluşan deformasyona karşı kendilerini konumlandırmak için ihtiyaçları olan vakte sahiptirler. Uzama hızının yükselmesiyle, diğer eğriler üzerinde akma noktasının meydana gelme eğilimi artar ve metaryel gevrek özellik sergiler [8].



Şekil 2.14 : Farklı uzama hızlarında ve 23°C'de YYPE'nin çekme gerilmesine karşı yüzde şekil değişimi [8].

Kristallik etkisi

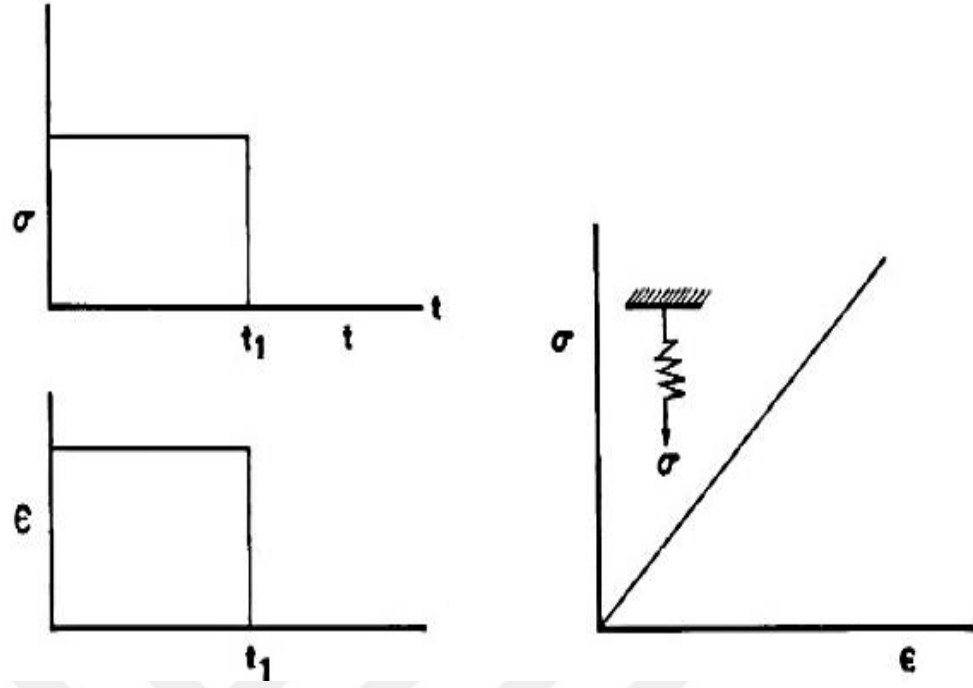
Kristal malzemeler amorf matris içerisindeki sert katkılar şeklide kabul edilebilir, bunun sebebi ise kristal malzemeler amorf yapıya kıyasla çok daha yüksek malzeme modülüne sahip olmasıdır. Çeşitli kristallik değerlerinde, elastiklik modülü-sıcaklık eğrileri şekil 2.15'de paylaşılmıştır. Tg sıcaklığının altındayken, modülü üzerinde kristallik oranının çok az bir tesiri olmasına karşın Tg sıcaklığı üzerinde bariz bir tesiri vardır [25]. Camı geçiş sıcaklığında malzeme modülü karakteristiğinde azalma mevcuttur. Kristallik derecesinin yükseltmesiyle bu azalmanın şiddetinde azalır. Kristalin malzemelerin modülündeki azalma erime sıcaklığında çok daha belirgindir.



Şekil 2.15 : Modül-sıcaklık eğrisi üzerinde kristallik etkisi [29].

2.3.1. Polimer metaryellerin zamana bağlı davranışı

İdeal elastik metaryal süreyle bağlantılı hareket meydana getirmez ve atalet kuvvetlerinin varlığını yok sayar. Metaryale uygulanan kuvvet ortadan kalktığında, malzeme ani şekilde toparlanır ve tamamen eski orijinal formuna geri döner. Gerçekleşen birim uzamın daima maruz bırakılan gerilmeyle orantılı ve deformasyon hızından bağımsızdır. İdeal elastik bir metaryalin davranışı Şekil 2.16'da sunulmuştur [14].



Şekil 2.16 : İdeal elastik bir malzemenin davranışı [14].

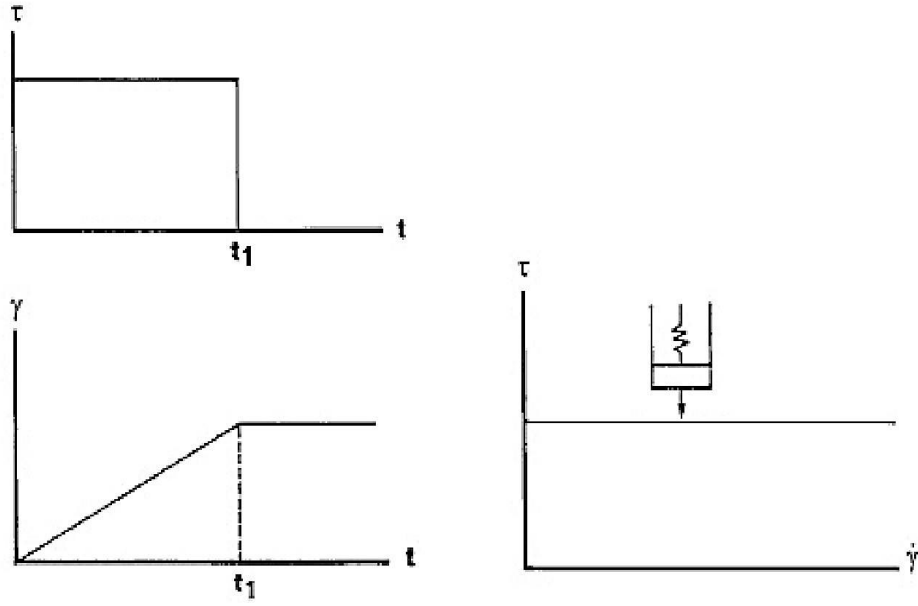
İdeal elastik davranış, yayın gerilme-birim uzama davranışıyla ifade edilir. Bu yay birim uzama veya test hızından bağımsız bir sabit modüle sahiptir. Gerilme yalnızca birim uzama değerinin fonksiyonudur [14].

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.4)$$

Sıvı maddelerin elastiklik özellikleri bulunmamaktadır. Katı malzemelerdeki elastikliğe karşılık gelen sıvılardaki özellik ise viskozitedir. Newton kanuna göre bir kayma gerilmesine karşı bir sıvının davranışı viskoz akış şeklindedir.

$$\tau = \eta \frac{dy}{dt} \quad (2.5)$$

η viskozite ve dy/dt şekil değiştirme hızıdır. Bu şekilde ideal elastik davranışın tersine birim uzama, maruz bırakılan harici gerilme değerinde zamanın lineer fonksiyonudur. Maruz bırakılan kuvvetin ortadan kaldırılmasıyla birlikte deformasyonda değişimi mümkün olmayan durum oluşur. Şekil 2.17'de saf viskoz davranışı sunulmuştur. Saf viskoz akış içinde newtonian sıvı olan ve silindir içerisinde hareket eden pistonu bulunan bir sönümlenme elemanının hareketini göstermektedir. Bir sönümlenme elemanının modülü yoktur. Fakat harekete karşı direnç test hızıyla (şekil değiştirme hızı) orantılıdır [14].



Şekil 2.17 : Saf viskoz davranış [14].

2.3.1.1. Viskoelastiklik

Viskoelastik metaryeller, plastik metaryeller gibi hem viskoz hem de elastik metaryellerin karakteristiğinin oluşturduğu metaryellerdir. Üzerine dış bir kuvvetin etmesiyle elastik katı yeni denge şeklini alır. Bu şekil değişikliği sırasında katı metaryel kendine etki eden kuvvetten elde ettiği enerjiyi depolar ve kuvvetin yok olması ile depoladığı enerjiyle ilk gerçek şekline dönüşür. Viskoz sıvılar, kuvvet altında ilk hallerine dönmeyecek şekilde akar, sabir şekilleri yoktur [16].

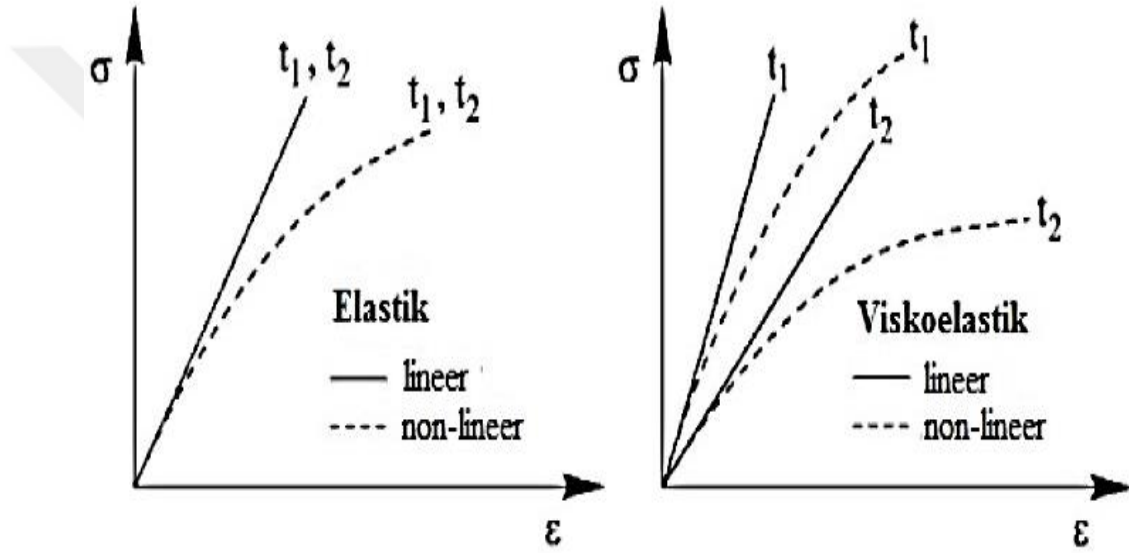
Plastik metaryellerin davranışı zamana bağlı olarak elastik katı ve viskoz sıvının özellikleri arasında olacak şekilde gerçekleşir. Gerilme sadece zamana bağlı olarak değişiyorsa viskoelastik metaryel lineer karakterdedir. Gerilme, birim uzama değeriyle orantılı olarak değişir. Sadece zamana bağlı değişen diğer özellikler de sürtünme ve gerilme gevşemesi davranışlarıdır.

$$\varepsilon = \sigma f(t) \quad (2.6)$$

Viskoelastik malzemenin Gerilme değeri zaman etkeni dışında, gerilme değerinden de etkileniyorsa malzeme non-lineer özelliktedir [33].

$$\varepsilon = f(\sigma, t) \quad (2.7)$$

Elastik ve viskoelastik malzemelerin çekme karşısındaki lineer ve nonlinear gerilme-birim uzama davranışları Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Elastik metaryelin davranışı zamana bağlı değildir buna bağlı olarak farklı zamanlar için bir tek eğri vardır. Lineerlikten sapan gerilme-birim uzama davranışı eğrisi ise nonlinearlik olarak gözlemlenir. Lineer viskoelastik metaryelin çekme davranışı lineerdir ancak gerilme birim uzama davranışı farklı zamanlarda birbirinden ayrıldığından malzeme modülü zamanla azalır. Viskoelastik metaryel nonlinear davranış gösterdiğinde, çekme deneyi sonucunda gerilme-birim uzama davranışı belirli bir gerilmeden sonra lineerlikten sapar [6].



Şekil 2.18 : İki farklı zamanda elastik ve viskoelastik malzemelerin gerilme-birim uzama davranışı [6].

2.3.1.2. Polimerlerin sürünme davranışı

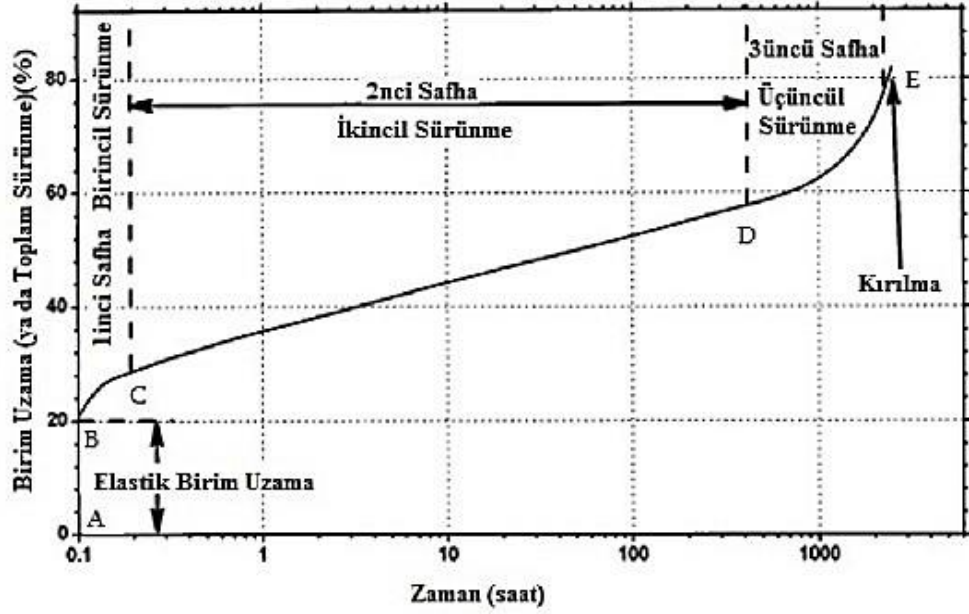
Sürünme davranışı, plastik esaslı bir malzemenin kararlı bir yük altında zamana bağlı olarak ebatlarında oluşan değişimdir. Metal malzemelerde sürünmeye uğrarlar fakat oda sıcaklığında metalik malzemelerde oluşan sürünme davranışı ihmal edilebilir düzeydedir. Metalik metaryelin modülü yüksek sıcaklıklar dışında kararlı olarak kabul edilir. Fakat polimer esaslı bir metaryalin modülü kararlı olduğu söylenemez. Metal malzemelerde, dizayn ilkesi çoğunlukla malzemenin kırılmasına sebep olmayacak bir gerilme değeri saptamak iken yüksek deformasyon değeri plastik malzemelerin çalışma gerilmesinin seçiminde sınırlayıcı bir unsurdur [25].

Sürünmede davranışında kararlı bir kuvvet numune üzerine etki etmesi sonucu. Numunenin göstermiş olduğu tepkisi zamana göre tespit edilir. Göstermiş olduğu tepki çoğunlukla viskoelastik davranış olarak tanımlanır. Bunun nedeni katı numunenin davranışı bir elastik ve bir viskoz bileşenden oluşur [6].

$$\sigma_0 = E(t) = \varepsilon(t) \quad (2.8)$$

Sürünme deneyi genellikle çekme şeklinde gerçekleştirilir. Ancak sürünme deneylerinin alternatif olarak burulma deneyi, kayma deneyi, eğme deneyi ve basma deneyi şeklinde de gerçekleştirilmesi mümkündür. Sürünme deneyinden elde edilen veriler, uzun zaman sabit olan hareketsiz yüke maruz kalacak olan polimerik esaslı malzemenin seçilmesinde önemli bilgi sağlar [14].

Şekil 2.25'de kararlı kuvvet altındaki polimer esaslı bir metaryalin şekil değiştirme-logaritmik zaman grafiği sunulmuştur. Bu biçimde yakın olacak şekilde başlangıçtaki ani şekil değiştirmeyi belirten ve AB'yi takip eden eğri üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler; BC arasındaki geçiş sürünme ya da birincil sürünme bölgesi, CD arasındaki kararlı hal ya da ikincil bölge ve son olarak DE arasındaki hızlanmış sürünme ya da üçüncül bölgedir. Birincil bölgede metaryelin sürünme hızı, hızla düşer ve bölgede ki durum gecikmiş elastiklik mekanizmasını andırır, yük kaldırıldığında deformasyon düzeltilebilir. İkincil bölge viskoz karakterdedir ve bu sebeple düzeltilebilir değildir. Bu bölgedeki gerçekleşen şekil değişim hızı sürünme hızı olarak adlandırılır ve metaryelin ömrünü belirlemede yardımcı olur. Üçüncül bölgede yükselen bir hızda gerçekleşir. Bunun sebebi numunede gerçekleşen boyun verme durumunun gerçek gerilme değerinin artmasıdır [11].



Şekil 2.19 : Zamana bağlı yüzde şekil değişimi [11].

Birincil sürünme bölgesiyle ikincil sürünme bölgesi kıyaslandığında gerçekleşme çok kısa bir süre aralığında olmaktadır. Üçüncül sürünme bölgesi çok kısa sürede olur ve çoğunlukla çatlak oluşumu, boyun verme, patlama şeklindeki hasarların başlangıcı esnasında olur.

Sürünme eğrileri çoğu zaman logaritmik zaman ölçeğinde çizilir. Bu sayede birim uzamanın süreye bağlı değişimi uzun bir zaman aralığı için görülebilir. Ancak metaryel, lineer olarak viskoelastik ise belirtilen sürede sürünme eğrilerindeki her bir eğri eşit oranda şekilde birim uzama doğrultusu boyunca birbirinin ötelenmiş şekli olur. Polimer metaryeller için bu lineer bir davranış, alçak birim uzamada ve kısa süreli ölçekte gözlenmesine rağmen çoğu durumda polimer malzelerin davranışı nonlineerdir [11].

Metaryellerin modülü onun rijitliğinin göstergesidir. Metaryelin kompliansı ise onun yumuşaklığının sembolüdür. Sürünme testlerinde zamana bağlı komplians $D(t)$ tanımı kullanılır.

Herhangi bir deformasyon çeşidine ait komplians o deformasyon çeşidinin modülünün zıttıdır.

$$D = \frac{1}{E} \quad (2.9)$$

2.4. Enjeksiyon Kalıplama Metoduyla Plastik Parça Üretimi

Plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi günümüzde yaygın olarak kullanılarak plastik malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Enjeksiyon yöntemi esasen, granül halinde bulunan plastik esaslı hammadenin sıcaklık yardımıyla ergiyik hale getirilmesi ve kalıplanarak form kazanması işlemidir.

Plastik enjeksiyon yönteminin avantajları aşağıda belirtildiği şekildedir;

Düşük maliyet,

Karışık forma sahip parçaların hızlı şekilde üretilebilmesi,

Son işlem ihtiyacı olmaması,

Farklı yüzey biçimleri,

Çeşitli renk ve şekillerde parça imal edilebilmesi,

Malzeme kaybının imal edilebilecek düzeyde olması,

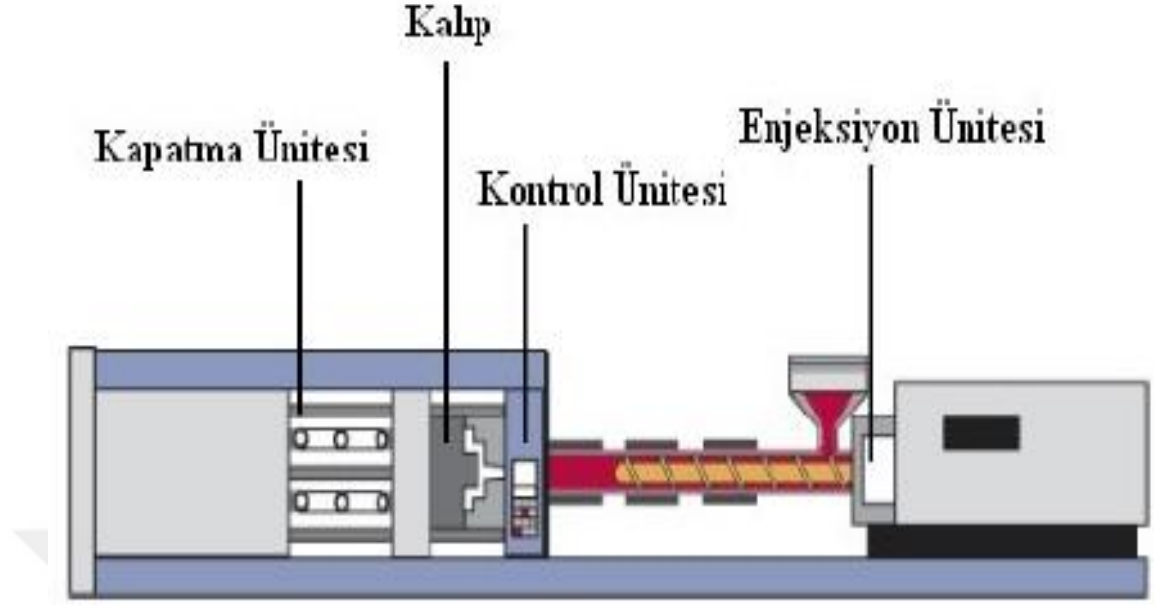
Aynı makine ve aynı kalıpta farklı parçaların üretilebilmesi,

Düşük toleranslarda çalışılabilmesi,

Otomasyona uygunluk gibi birçok farklı konuda ön plana çıkmaktadır.

2.4.1. Plastik enjeksiyon makinesi

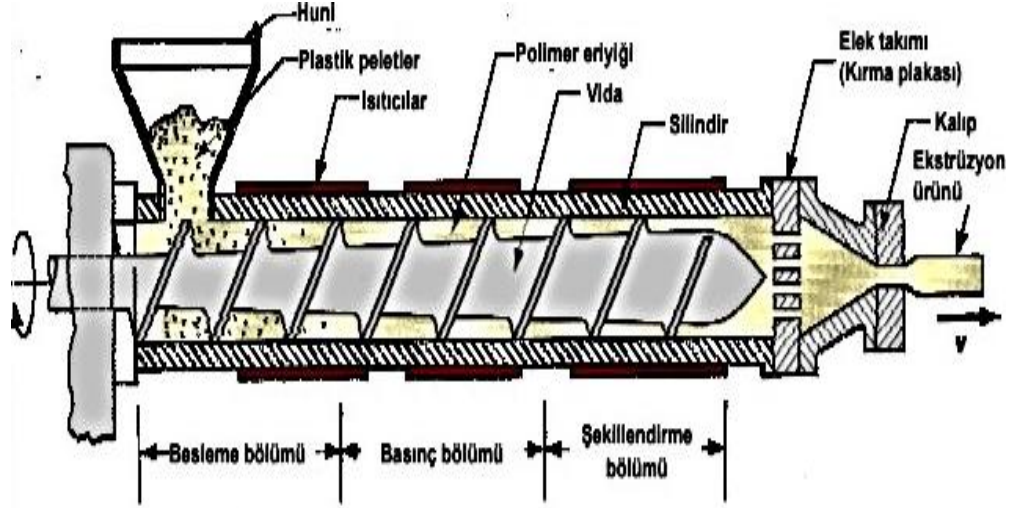
Plastik enjeksiyon makinesi Şekil 2.20'da da belirtildiği şekilde dört aktif bölümden meydana gelmektedir.



Şekil 2.20 : Enjeksiyon makinası ana bölümleri [18].

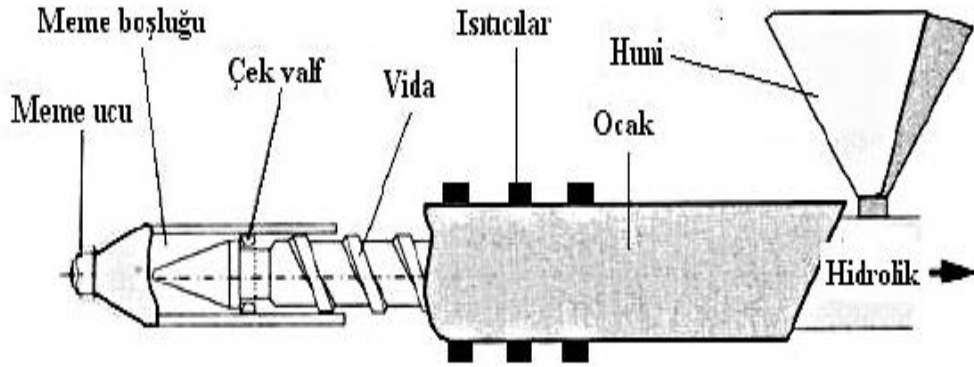
2.4.1.1. Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi

Enjeksiyon makinesi bölümleri Şekil 2.21’de görüleceği üzere, ısıtıcılar, huni,çek valf, vida, enjeksiyon memesi, hidromotor ve hidrolik silindirden meydana gelmektedir. Huninin görevi, polimer hammaddenin stabil bir biçimde kovana iletimini sağlamaktır. Enjeksiyon makinesinde yolluk ile temas eden ergiyik plastik melzemenin kalıba ulaştığı son parça memedir. Şekil 2.22’de sunulduğu üzere polimer hammaddenin ergimesini sağlayan ve kalıba ileten makine parçası vida olarak adlandırılır.Vida; besleme, sıkıştırma ve ölçme olmak üzere üç bölümden meydana gelmektedir.



Şekil 2.21 : Vida bölümleri [18].

İdeal ergitme performansı, metaryallerin hızlı bir şekilde iletilmesi, takviye metaryallerin homojenliğini koruyarak ergitme, homojen karıştırma ve iletim işlevleri vida parçasından istenen temel kriterlerdir. Çek-valf, sonsuz vida dişlisinin ucuna montajlanır, vidanın baskı işlemi anında ve kalıbı kapalı tutma adımlarında piston görevi gören ve eriyik hammaddenin geri hareketini engelleyen parçadır. Rezistanslı ısıtıcı tipi bantlar yaygın olarak enjeksiyon makinelerinin kovan ısıtma sistemi olarak kullanılır.



Şekil 2.22 : Enjeksiyon ünitesi birimleri [29].

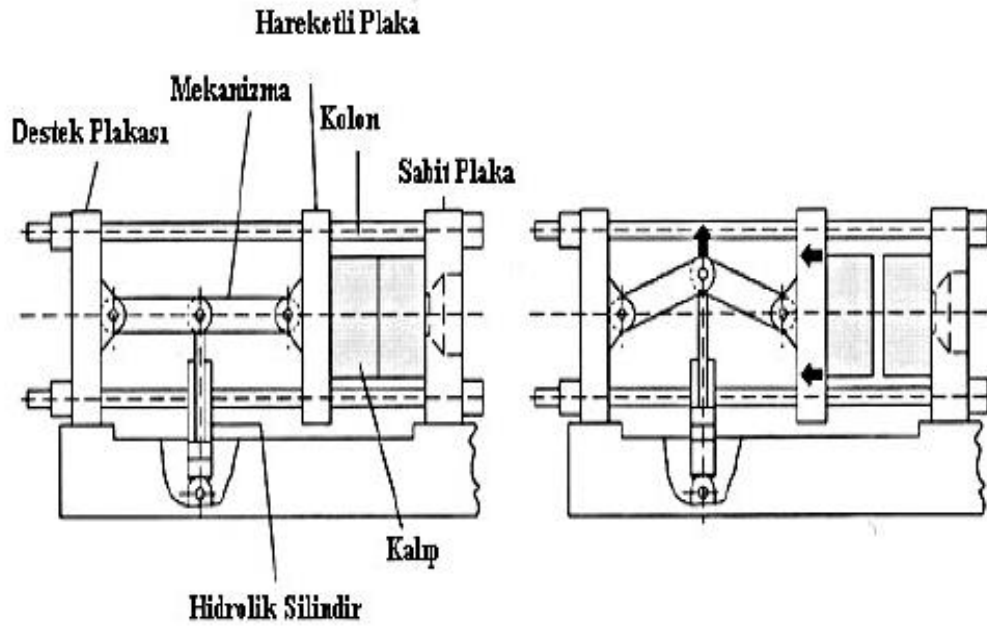
2.4.1.2. Kalıp

Plastik içerikli hammaddeye istenilen şeklin boşlukları bulunan en az iki plakadan meydana gelen sistemdir. Plakalardan bir tanesi hareketsiz iken diğer plaka aksenal

doğrultuda hareket etmektedir. Ergimiş hammaddenin kalıp boşluklarına her noktada eşit şekilde dağılmasını sağlayarak, hammaddeye nihai şekli vermek, parçanın hızlı ve üniform şekilde katılaşmasını sağlamak ve parçanın düzgün şekilde dışarı çıkmasına ortam sağlamak kalıbın ana görevlerindedir.

2.4.1.3. Kapatma ünitesi

Kalıbın plakalarının rijit bir şekilde kapanıp açılması sağlamak, yüksek basınç etkisinde iken kalıbın kapalı konumunu korumasını sağlayarak kalıp ayrılma yüzeylerinde çapak oluşmamasını sağlamak asıl görevidir. Kapatma (mengene) sistemi üç farklı sistem olarak kullanılmaktadır, bu sistemler mekanik sistemler, hidrolik sistemler ve hidro-mekanik sistemlerdir. Kalıp mekanik kapatma sistemlerinde mengene ara boşluk mesafesi vidalı kollar (makas) ile kontrol edilir. Gerekli hareket mekanik sistemin kinetiği ve mengene ara boşluk mesafesi kontrolü ile gerçekleştirilir. Kalıbın açılıp kapanma işlemleri ve parça baskı basıncına karşı gereken kuvvet hidrolik kapatma sistemlerinde hidrolik silindir kullanılarak sağlanır. Hidro-mekanik kapatma sistemlerinde de hidrolik silindirler kapama işlemi için kullanılırken, özel makine elemanları ile de kilitleme adımı gerçekleştirilir. Hidro-mekanik sisteme ait şematik sistem Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.23 : Hidro-mekanik kapatma sistemi [29].

2.4.1.4. Kontrol ünitesi

Kontrol ünitesi, plastik enjeksiyon prosesinin ve plastik enjeksiyon tezgahına ait tüm parametre ayarlarının gerçekleştirildiği sistem olarak tanımlanır. Dört temel enjeksiyon parametresi (hız, zaman, sıcaklık, basınç) direkt ya da dolaylı olarak bu üniteden kontrol edilebilmektedir.

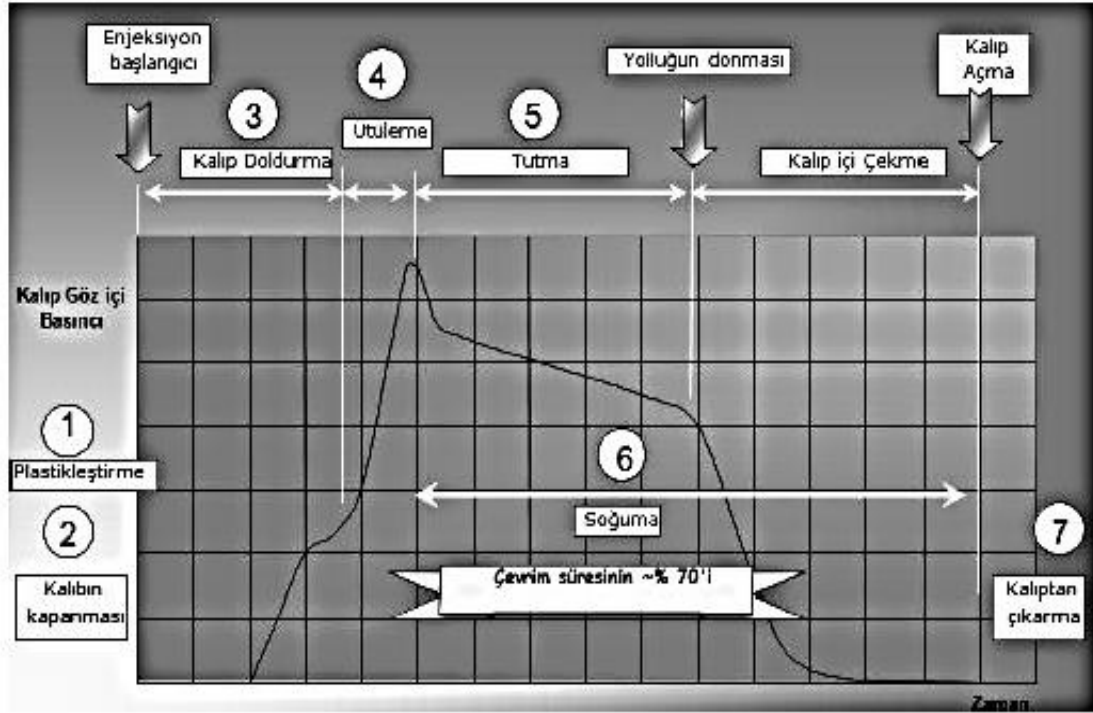
2.4.2. Enjeksiyon makinesi spesifikasyonları

İdeal bir kalıp tasarımı ve etkinliği için makine spesifikasyonları ve formuna dikkat edilmelidir. Makine özelliklerinin kalıp tasarımı aşamasında yeterli şekilde bilinmemesi ilerleyen süreçlerde yüksek maliyetli kalıp revizyonlarına sebep olur. Enjeksiyon makinesinin kalıba uygun olduğuna karar verilmeden önce; maksimum kapama kuvveti, enjeksiyon kapasitesi, kolon ağırlığı, makine stroku, minimum-maksimum kalıp yüksekliği gibi değerler dikkate alınmalıdır. Makine belirlenme adımlarında dikkat edilmesi gereken diğer hususlar ise metaryelin eritilmesi için kullanılan vidaanın dış çap ölçüsü, vida uzunluk ölçüsünün vida dış çap ölçüsüne oranı, maksimum enjeksiyon basınç değeri, enjeksiyon hızı ve plastikleştirme kapasitesidir.

2.4.3. Plastik enjeksiyon çevrimi

Plastik enjeksiyon prosesi, metaryeli plastikleştirme, kalıbın kapalı konuma gelmesi, ürün geometrisini oluşturan kalıp iç boşluklarının ergiyik plastik metaryel ile doldurulması, parça ütüleme, parça tutma, parça soğutma ve parçanın kalıptan tahliye edilmesi adımlarıyla gerçekleşmektedir. Granül ya da toz haldeki hammaddenin, kalıp besleme hunisine aktarılmasıyla proses başlar. Makina gövdesindeki vida hareket ederek besleme hunisindeki granül hammaddeyi ocak bölümüne ilerletir. Granüller ısıtıcılardan ve vida dönme hareketinin yarattığı sürtünme ile ortaya çıkan ısıların birleşimi ile eriyik haline dönüşür, eriyen plastik önde vida boşluğuna ulaşır. Vida boşluğunda depolanan plastik malzeme vidayı geriye doğru iter ve limit şaltere ulaşması ile bu geri hareket otomatik olarak durur, limit şalter malzeme hunisinden silindire ilerleyen malzeme miktarını ayarlamış olur, plastikleştirme adımı tamamlanır. Vidanın hidrolik piston ile ileri yönlü hareket ettirilmesi ile eriyik plastik kalıp içi boşluklara dolar, kalıp iç boşluklarını doldurmak için ihtiyaç duyulan basınç değeri (enjeksiyon

basıncı) bu işlem esnasında yükselmektedir. Yüksek basınçla ilerletilen eriyik plastik malzeme kalıp iç boşluklarında sıkışmaya ve soğumaya başlar. Bu esnada soğuyan plastiğin viskozitesi arttığı için basınç değeri (ütüleme basıncı) artmaya devam eder. Kalıp içerisinde ki boşlukların eriyik plastikle dolma işlemi tamamlanmaya yaklaştıkça ve malzeme besleme yolluk girişi donmaya başlarken, akışkanlığa direnç oldukça yüksektir ve vida bu oranda basınç veremez. Bu noktada hız kontrolden basınç kontrole geçilir ve hızdan basınca geçiş noktası olarak adlandırılır. Eriyik plastik kalıp boşluklarında katılaştırırken vida ilave bir basınçla (tutma basıncı) eriyiği basmaya devam eder. Bu işlem ile kalıp içerisinde donmadan dolayı ortaya çıkan çekme noktaları eriyik ile beslenerek doldurulur. Tutma aşaması eriyik yolluk girişi donuncaya kadar devam eder, eriyik yolluğu donduktan sonra parça kalıp içinde soğumaya devam eder. Yeterli soğumaya erişen parça kalıbın açılmasıyla iticiler yardımı ile kalıp içerisinde tahliye edilir ve enjeksiyon çevrimi tamamlanmış olur. Enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24 : Enjeksiyon prosesinin şematik gösterimi [2].

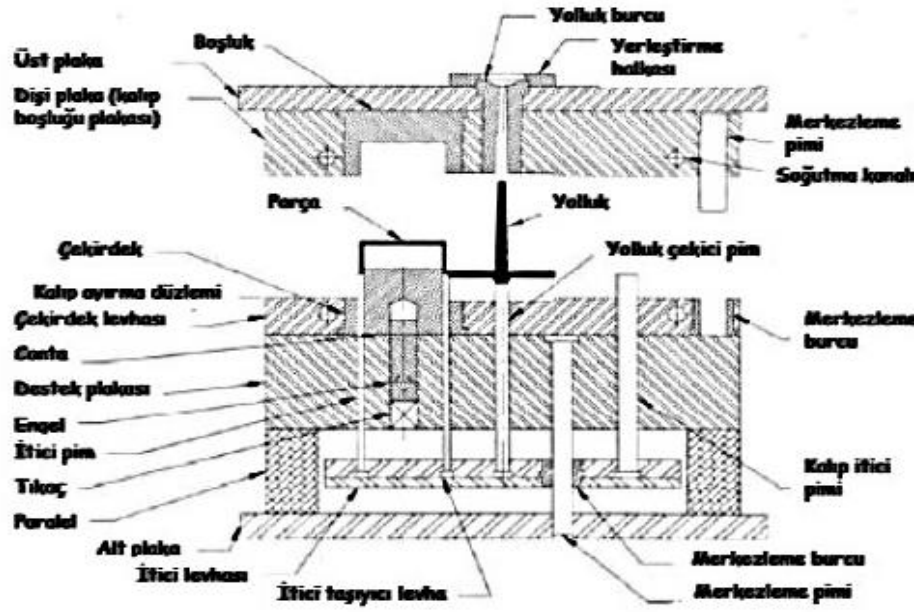
2.4.4. Plastik enjeksiyon kalıbı

Plastik enjeksiyonda kullanılan kalıplar çelik bloklardan ya da ısıl işlem ile sertleştirilmiş çelik parçalardan talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak imal edilir. Plastik enjeksiyon kalıp sistemleri yaygın olarak kapalı halde iken iç boşlukları istenen nihai ürünün geometrisini oluşturan boşluklardan, bu boşluklara eriyik plastik malzemenin teminini sağlayan yolluk sisteminden, kalıp iç boşlukları dolup nihai ürün oluşuktan sonra ürünün soğumasını gerçekleştiren akışkanın dolaşmasını sağlayan soğutma boşluklarından, kalıp açıldıktan sonra nihai ürünün kalıp içerisinden tahliyesini gerçekleştiren itici sistemlerden ve farklı eksenlerde boşlukları bulunan parçaların üretimi gerçekleştirebilmek için kullanılan maça sistemlerinden oluşur. Detaylı teknik dokümanlar Şekil 2.25’de verilmiştir.

Kalıp boşluğu, kalıbın içerisinde plastik eriyiğın iletildiğı ve soğutulularak katılaştırıldığı bölümdür. Kalıbın oluştugu boşluk sayısına göre isimlendirilir.Örneğın, yalnızca tek bir boşluktan meydana geliyorsa tek gözlü kalıp eğer birden fazla boşluk ile meydana gelmişse bu çok gözlü kalıp şeklinde ifade edilir. Kalıp boşluğu hazırlanırken plastik malzemenin kalıbın içerisindeki çekme oranı referans alınmalıdır.

2.4.4.1. Erkek kalıp

Kalıbın hareket eden bölgesinin bulunduğu kısım erkek kalıp olarak ifade edilir. Ergiyik polimer metaryelin soğuma işlemi anında iç yapısında çekme gerçekleşmeye başlar ve bu çekme anında nihai parça dışı kalıptan ayrılır ve erkek kalıba sarılmaya başlar. Bu sebeple nihai ürünün tahliyesi için kullanılan itici sistemler erkek kalıp içerisine konumlandırılır.



Şekil 2.25 : Enjeksiyon kalıp açılımı [29].

2.4.4.2. Dişi kalıp

Enjeksiyon makinasının sabit plakasına bağlanan kalıp yarısı dişi kalıp olarak tanımlanır. Makinenin enjeksiyon ünitesinin konumu sebebiyle kalıp besleme sistemi çoğunlukla dişi kalıp bölgesinin üzerine monte edilir.

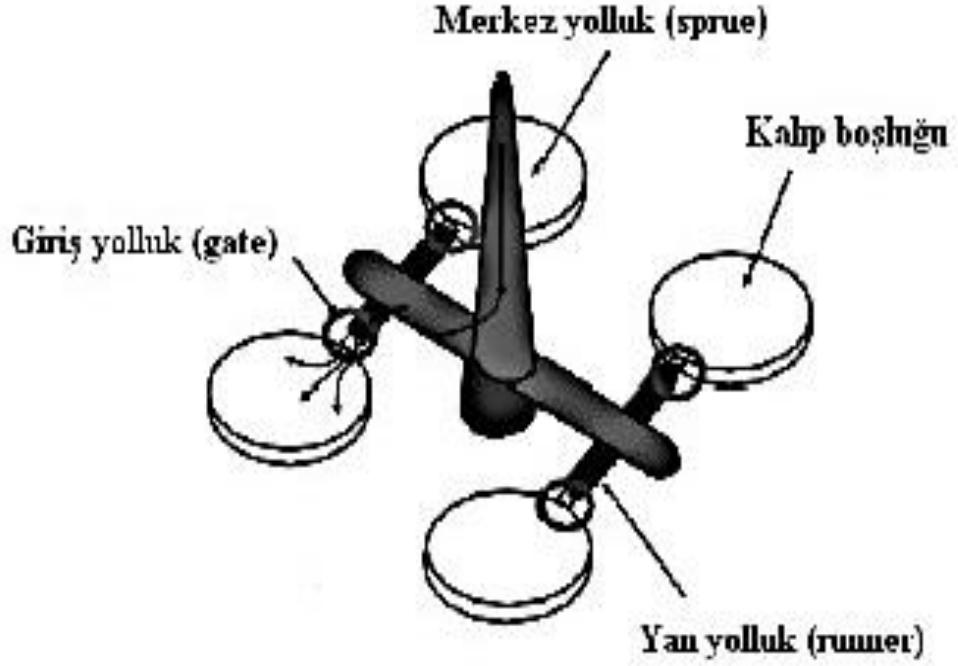
2.4.4.3. Yolluk sistemi

Yolluk sistemi, eriyen hammaddenin makinanın memesinden kalıbın boşluğuna aktarılmasında göre alan kanallar sistemidir. Ürün kalitesi ve ekonomik sebepler başta olmak üzere yolluk sistemleri; kaynak çizgileri, basınç düşmesi, malzeme kaybı, ürünün kalıptan kolayca çıkması, yolluk sisteminin uzunluğu, parça kesit alanı ile doğrudan ilgilidir. Şekil 2.26'da da görüleceği gibi yolluk sistemi üç ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar;

Merkez yolluk (Spue)

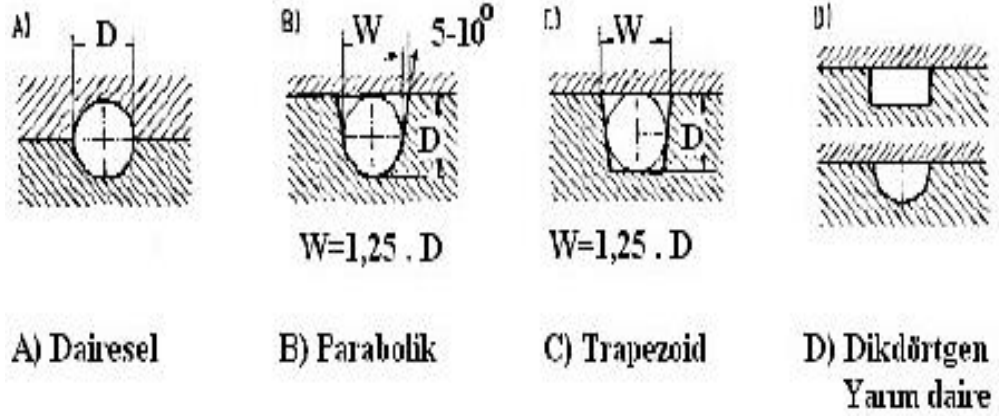
Tali ve yan yolluklar (Runner)

Giriş yolluğudur (Gate).



Şekil 2.26 : Yolluk sistemi parçaları [29].

Kalıp boşluklarında bulunan erimiş halde ki metaryelin birden fazla akış çizgisinin birleşmesi sonucunda parçada birleşim (kaynak) çizgileri oluşabilir. Bu nedenle malzeme ilerleyişi gerçekleşen kanallar uzun birleşim (kaynak) çizgileri oluşmayacak şekilde tasarlanmalı ve konumlandırılmalı. Metaryel akış direnci minimum değerde olması için bunu sağlayacak kanal tasarımı uygulanmalı, bu sayede enjeksiyon basıncı düşürülebilir. Enjeksiyon basıncının düşürülmesi için pahlı köşe yapısı yerine daha radius köşeler uygulanmalı ve eğimlendirilmeliler ek olarak birbirleri ile bağlantılı olan kanallarda ölçü farklılığı yüksek olan kesit geçişleri yapılmamalı. Kanal kesiti tasarım ve üretimlerinde, proses sonrası oluşacak hammadde hurda miktarı ve kesitler arası büyük basınç değişiklikleri en çok dikkat edilmesi gereken hususlardır. Soğuk yolluk kullanımlarında tercih edilebilecek kesit çeşitleri Şekil 2.27’de gösterilmiştir.



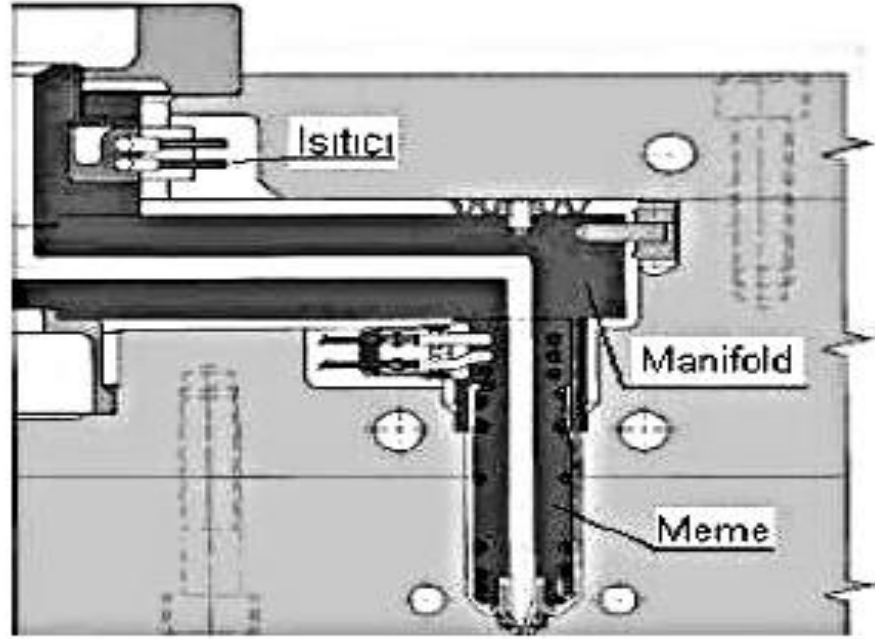
Şekil 2.27 : Yolluk kesit tipleri [29].

Dairesel kesit tercih edilen yolluk sistemlerinde, yüzey/hacim oranı minimum değerlerde olduğu için ısı ve basınç kayıpları minimum değerlerde gerçekleşir. Bu duruma ek olarak kalıp içi soğuma sürelerinde yüksek olduğu için, kalıp merkezinde bulunan ergiyik metaryel en son sertleşmekte ve verimli bir tutma basıncı süreci sağlanmaktadır. Ancak bu dairesel kesitli yolluğun kalıp plakalarına yarım yarım olacak şekilde işlenmesi mevcut imalat yöntemlerinde ve teknolojiler ile zor olduğu için maliyetinde bu oranda yükselmektedir. Maliyet ve uygulanabilirlik açısından trapez veya parabolik kesitli yolluklar daha tercih edilebilir. Tercih edilecek bu kesitin şekli, gerekli itici kuvvetlere etkisi oldukça yüksektir. Trapez veya parabolik kesitli yollukların atılması için kalıpta daha az kuvvete ihtiyaç olur. Basit kalıplarda zayıf dizaynli dikdörtgensel veya yarı dairesel kesitler tercih edilir.

Yolluk sistemleri sıcak ve soğuk olmak üzere iki ana gruptan oluşmaktadır.

Sıcak yolluk sistemi

Sıcak yolluk sistemi, proses süreci boyunca aktif olarak sıcaklığını koruduğu için makine hammadde besleme haznesinden kalıp iç boşluklarına kadar ilerleyen ergimiş hammaddeyi herhangi bir ısı olmadan, minimum basınç kaybı ile hasara uğramadan kontrollü bir şekilde bekletme ve istenildiğinde kalıp gözüne enjekte etme sistemidir. Sıcak yolluk sistemi; sıcak yolluk memesi, sıcaklık kontrol elemanları, ısıtıcılar, sıcaklık kontrol cihazı, sıcak yolluk dağıtıcısından oluşmaktadır. Şekil 2.28'de sıcak yolluk sistemi elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.28 : Sıcak yolluk sistemi elemanları [33].

Sıcak yolluk sistemine giriş yolluğunda entegre ise nihai ürün kalıptan çıkarken yolluk parçası kalmaz malzeme kaybı olmaz ancak entegre değilse malzeme kaybı çok az miktardadır. Enjeksiyon işlemi sonrasında herhangi bir yolluk hurdası oluşmadığı için temizleme işlemi için personel ihtiyacı kalmaz ve işçilik maliyeti azalır. Sadece nihai ürünün soğuması beklendiği için ve kalıp açma mesafesi kısa olduğu için proses çevrim süresi düşük olarak enjeksiyon işlemleri yapılır. Sürekli olarak kalıp içerisinde ergiyik malzeme sıcak tutulduğu ve kontrol edildiği için malzeme akışı kontrolü daha olağan ve malzeme kalitesi oldukça yüksek olur.

Soğuk yolluk sistemi

Soğuk yolluk sistemlerinde sıcak yolluk sistemlerinin aksine yolluk içerisinde kalan kısım hurda olmaktadır ve bunun için ürün için gerekli olan hammadde miktarından daha fazlası proses esnasında harcanmaktadır. Giriş yolluğu, yan yolluktan kalıp boşluğuna geçişi sağlayan kısımdır ve yolluk sistemi bu yolluğa göre isimlendirilir. Giriş yolluğunun geometrisi ince olarak tercih edilmeli bu sayede nihai ürün yolluk sisteminden kolay ve temiz olarak ayrıştırılabilir. Giriş yolluğu tasarımı farklı şekillerde

uygulanabilir, farklılıkların en temel faktörleri parça geometrisi, eriyik metaryel dolun hızı ve hacmidir. Giriş yolluk çeşitleri:

Direk giriş

Kenar giriş

Fan giriş

Film giriş

Diyafram(Disk) giriş

Halka giriş

Tünel giriş

İğne giriş

2.4.4.4. Soğutma sistemi

Plastik enjeksiyonla kalıplama devam ederken bir süre sonra kalıp içerisinde ergiyen plastiğin ısıyla kalıpta ısınmaya başlar. Bu ısınma çevrim süresi, kalıbın çalışma yeterliliğine ve parçanın kalitesine etki eder. Kalıbın ısınıpını stabil tutmak için kalıp içi cidarlardan soğutma sıvısının hareketi sağlanmalıdır.En basit yol olarak kullanılan soğutma sistemi, baştan sona kalıba soğutma kanalı açılmasıdır. Kalıpta dişi plakanın ve erkek zımbaların içerisinde dolaşım kanallarının açılması veya maça pimleri içerisine dolaşım kanalları açılması en yaygın kullanılan soğutma yöntemidir.

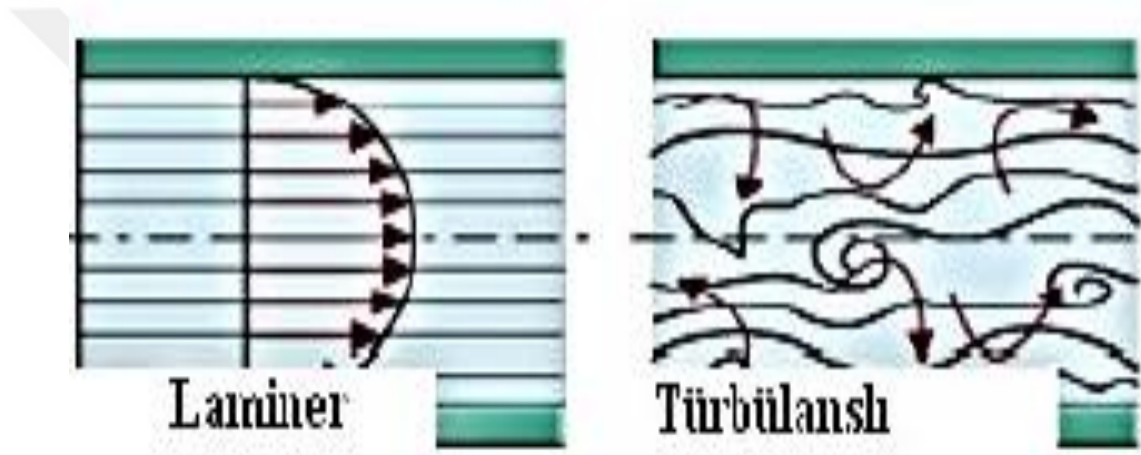
Parçanın kalıptan çıkabilecek kararlılığa ulaşana dek kalıp soğuması sağlanmalıdır. Soğutma zamanı parçanın kalıptan ayrılma kararlılığına kadar geçen süredir. Kalıptan tahliye edilecek sıcaklık, parçanın özgül ısısına, hammadde eriğinin sıcaklığına ve parça kararlılık ısısına bağlıdır.

Plastik enjeksiyon baskı verimliliği ısı transferi ile direkt etkilidir, buna bağlı olarak parça kalitesi sıcaklığın sabit tutulması ile doğru orantılıdır.Prosesin ekonomik performansına pozitif yönde etki eden imalat hızının artırılması ve parça baskı zamanının azaltılması için kalıp ve parça arasında ki ısı transferi hızlı gerçekleştirilmelidir [33].

Soğutucu akışkan hızı kalıptan tahliye edilen ısıнын miktarını etkilemektedir. Sıcaklığın tahliyesinin artması için soğutucu akışkanın laminar akış biçiminden türbülanslı akış biçimine geçmesi ile sağlanır.

Akışkan taneciklerinin bir arada düzenli ve ince tabakalar halinde hareket etmesiyle oluşan akışa Laminer akış denir, kaotik yani ardışık bir düzene bağlı olmayan akışkan taneciklerinin oluşturduğu akışa ise Türbülanslı akış denir.

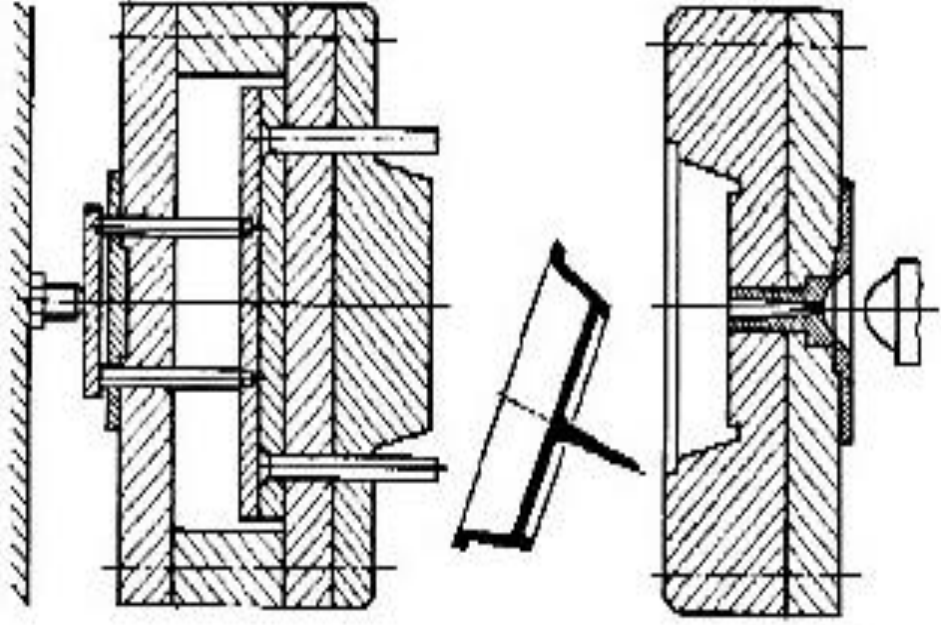
Bu nedenle kalıp içerisinde akışkan ma DE türbülanslı akışta çeperlere daha çok temas sağlar buda ısı transferinin daha fazla olmasına sebep olur. Şekil 2.29'de bahsedilen akış türleri gösterilmiştir [33].



Şekil 2.29 : Laminer ve türbülanslı akış [30].

2.4.4.5. İtici sistem

Baskı sonrası kalıp açılması ile nihai ürünün kalıptan tahliye edilmesini sağlayan sisteme itici sistem denir. İtici sistem basit kalıplarda mekanik tahrik yöntemleri ile çalıştırılırken, karmaşık, büyük geometrili yada çok gözlü olarak adlandırılan bir baskıda aynı üründen çok sayıda elde edilen kalıp istemlerinde hidrolik ve pnömatik sistemlerden destek alınır. İtici sistemin çalışma şekline karar verilirken, tahliye edilecek nihai ürünün tasarımı ve görsel kusursuzluğu dikkate alınmalı ve bu talepler doğrultusunda tasarım yapılmalıdır. İtici sistemin çalışmasına ait örnek Şekil 2.30'da gösterilmiştir.



Şekil 2.30 : İtici pimler ile parça çıkarılması [29].

2.4.5. Boyutlardaki çekme

Çekme; kalıp sıcaklığından çıktıktan sonra oda sıcaklığını soğuması esnasında malzeme ebatlarında meydana gelen değişimdir. Polimerlerinde belirgin düzeyde çekme meydana gelmesinin sebebi sıvı genleşme katsayıları yüksek olmasıdır. Bazı polimerlerin çekme oranları Tablo 2.5’de sunulmuştur.

Tablo 2.5 : Bazı polimerler için çekme oranları.

Plastik	Çekme, mm/mm
Naylon-6,6	0.020
Polietilen	0.025
Polistiren	0.004
PVC	0.005

Tüm malzemelerin sıcaklığa maruz kaldıktan sonra normal sıcaklığına dönerken geometrisinde değişiklik olmaktadır, enjeksiyon prosesinde ise parça soğuyarak sertleştiği için ebatsal olarak küçülerek soğumaktadır bu adımda ki ölçüsel değişikliğe çekme payı denir. Kalıp tasarımında malzeme geometrisi ve hammadde çeşidi en büyük faktörlerdir, bu faktörler göz önüne alındığında kalıp tasarımını öncesi hesaplamalar aşağıda ki denklemle gerçekleştirilmelidir;

$$D_c = D_p + D_p S + D_p S^2 \quad (2.11)$$

Belirtilen denklemde;

D_c = Makineye ve parçaya uygun kalıp boyutları;

D_p = Parçanın nihai kullanılacak boyutları

S = Malzeme çekme değerini ifade etmektedir.

Denklemde belirtilen üçüncü terim eklenen çekme payının miktarının çekmesini dengelemek için eklenmiştir. Hammadde içerisinde bulunan dolgu malzemeleri çekme miktarını azaltır. Çekme miktarının azaltılması için enjeksiyon basıncı arttırılmalı, basınç uygulama süresi arttırılmalıdır. Bu yöntemler ile kalıp boşluğuna daha fazla malzeme dolumu sağlanır ve çekme miktarı azalır. Bir diğer etken ise döküm sıcaklığıdır, sıcaklık yüksek olduğunda hammadde vizkozitesi düşer, bu sayede kalıp içerisine daha fazla hammadde doldurulur ve hammadde çekme payı azalır [18].

2.4.6. Plastik enjeksiyon kalıplama parametreleri

Plastik enjeksiyon prosesinde genellikle; sıcaklık, basınç, hız ve zaman gibi parametreler üzerinde durulmaktadır. Bu parametrelerle birlikte alt parametreleri de bulunmaktadır. Sıcaklık için; hidrolik sistemin, eriyiğin, kalıbın, dış ortamın ve granülün kurutma ısısı ve dış ortam ısısı olarak belirtilir. Birebir durum basınç parametresi içinde geçerlidir. Basınç ilk olarak enjeksiyon basıncı olarak akla gelse de geri çekme, kalıp kapama ve proseste tutma basıncıda başlıca basınç çeşitleridir. Bütün enjeksiyon zamanı hakkında yorum yapmak gerektiğinde bir tek zaman üzerinden yorum yapmak mümkün değildir. Enjeksiyon işleminin tüm adımlarının süresi olup, bu sürelerin tümü çevrim süresini oluşturmaktadır. Hız olarak ele alacağımız konular sadece enjeksiyon işlem hızı değildir, vida dönüş hızı da dikkate alınması gereken parametrelerdendir [21, 22].

Parçanın kalitesini etki eden üretim parametreleri aşağıda belirtildiği şekildedir:

Enjeksiyon hızı,

Soğutma zamanı,

Enjeksiyon zamanı,

Enjeksiyon basıncı,

Doldurma zamanı,

Ergime sıcaklığı,

İtme basıncı,

Kalıp geometrik şekli,

Kalıp sıcaklığı,

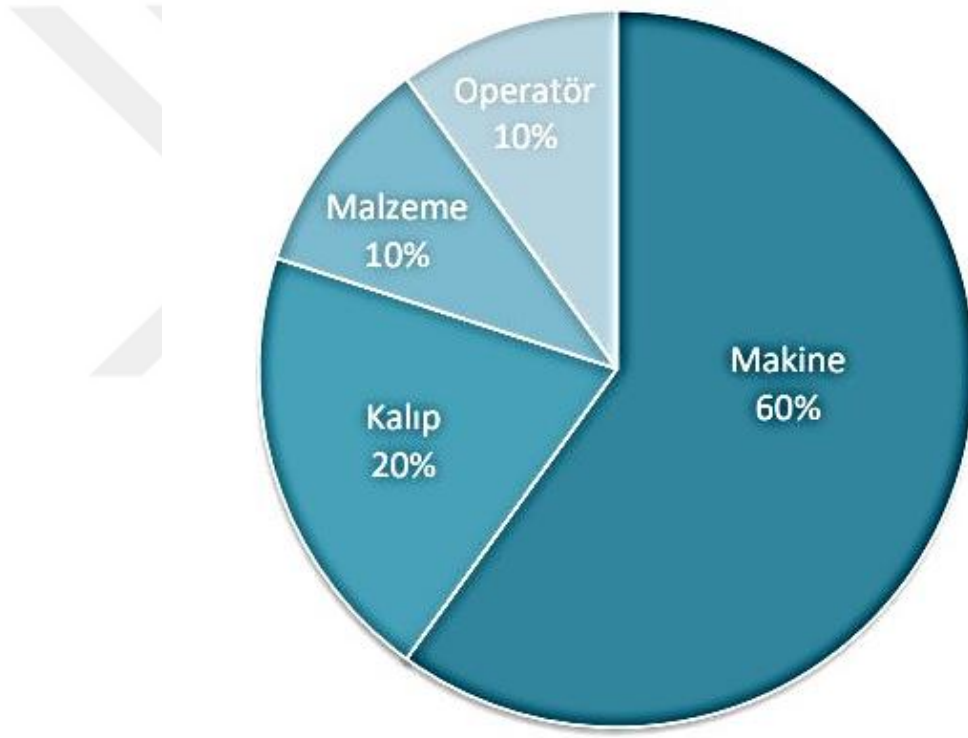
Ergimiş hammadde özellikleri,

Ergimiş hammadde hızı ve akış esnasındaki ısı hareketleridir.

Ayrıca, doldurma zamanı, ergimiş hammadde sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı malzemenin teknik özelliklerine, mukavemetine ve çarpılmasına etki eder [32].

Plastik enjeksiyonla üretilen parçaların beklenen kriterleri sağlayabilmesi için genellikle otomatik kalıplar kullanılmaktadır. Üretilen malzemenin özellikleri üzerinde yukarıda belirtilen tüm unsurların önemli derecede etkileri vardır [22].

Basım işlemi için uygun parametrelerin belirlenmesi genellikle deneme-yanılma yöntemi ile gerçekleştirilir. Fakat kalıp ile üretimi gerçekleştirecek personel yeterli tecrübeye sahip değilse deneme aşamasında boşa zaman ve malzeme kaybına sebep olarak verimsizlik meydana gelir. Plastik malzemelerde oluşan kalite hatalarının sebepleri ve oranları Şekil 2.31’de sunulmuştur. Grafik yorumlandığında hataların yüksek bir oranda makine kaynaklı meydana geldiği görülebilmektedir [9].



Şekil 2.31 : Plastik enjeksiyon problem dağılımı [9].

2.4.6.1. Basınç

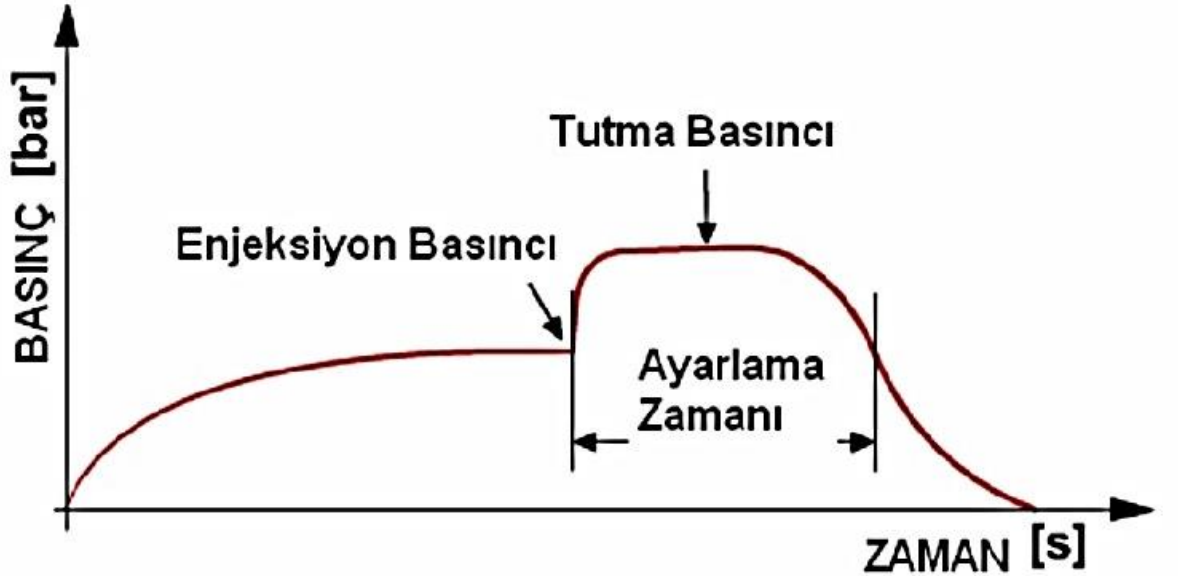
Plastik enjeksiyon makinesi basıncının belirlenmesindeki en kritik etkidir. Plastik hammaddenin eritilmesi, harmanlanması, kalıp boşluğuna aktarılması gibi prosesler enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilir. Enjeksiyon basıncı imal edilen polimer malzemenin kalitesini direkt olarak etki etmesi sebebiyle enjeksiyon makinesinde

meydana gelen basınçların ve enjeksiyon basıncına etki eden unsurlar öncesinde tespit edilmiş olmalıdır. Basınca ilave olarak kalıbın kitleme mekanizmasının kararlı çalışıyor olmasında son derece önemlidir [36].

Enjeksiyon prosesi esnasında makine sisteminin uygulaması gereken basıncı, baskı işlemi uygulanan ergimiş hammaddenin sıcaklığı, akışkanlığı, kalıp sıcaklığı, nihai parçanın ağırlığı ve duvar kalınlık ölçüsü, kalıp içine hammadde besleme sistemi, enjeksiyon baskı sistemi, ergimiş hammaddenin kalıp içeriinde doldurduğu tüm yüzeylerin kalitesi etkiler.

İki önemli basınç tipi vardır bunlar; enjeksiyon alanındaki basınçlar ve mengene ünitesindeki basınçlardır ve bu iki tip basınç imalat prosesi süresince bu iki basınç birbirlerine zıt çalışırlar [21].

Basıncın yeterli olmadığı durumlarda kalıp boşluğu doldurulamayacağından enjeksiyon bölgesindeki basınç, ergiyik durumdaki hammaddenin kalıp boşluğunu tam ve eksiksiz dolduracak biçimde olması gerekmektedir. Eksiyon bölgesinde üç farklı çeşitte basınç üretilmektedir. Bunlar; tutma basıncı, geri basınç ve enjeksiyon basıncıdır. Şekil 2.32’de tatbik edilen basıncın evreleri sunulmuştur [21].



Şekil 2.32 : Enjeksiyon-Zaman grafiği [11].

2.4.6.2. Sıcaklık

Plastik enjeksiyon prosesinde imalat kalitesine doğrudan etki eden parametrelerden biri sıcaklıktır. İmalat prosesine etki eden sıcaklık çeşitlerini aşağıda belirtildiği şekilde 4 farklı grupta incelemek mümkündür [12]:

- Hidrolik sistem sıcaklığı
- Kurutma sıcaklığı
- Kalıp sıcaklığı
- Ergimiş hammadde sıcaklığı

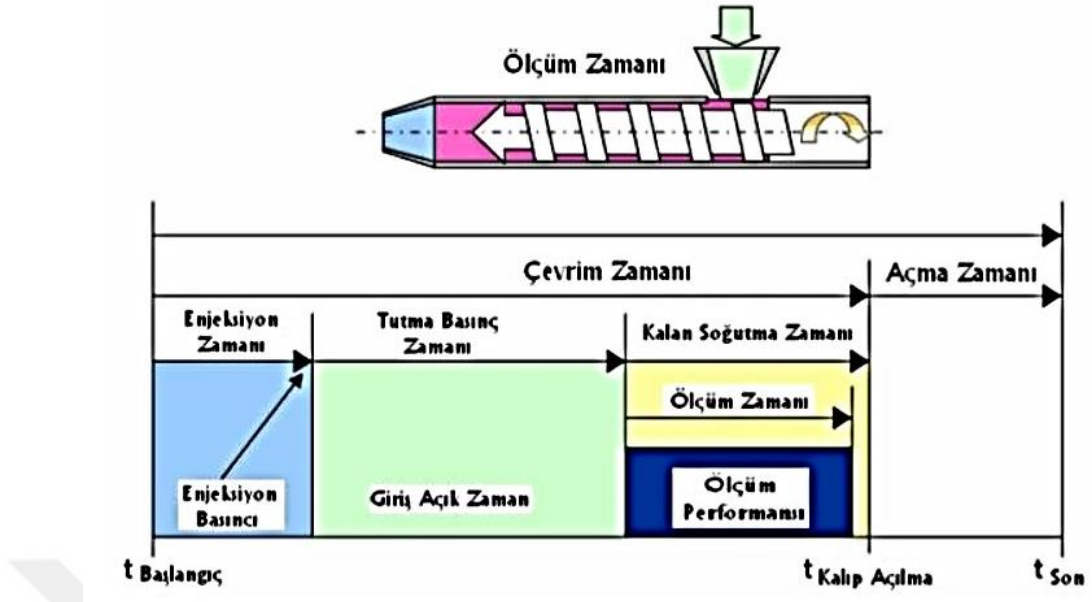
Enjeksiyon işlemi gerçekleştirilirken tüm parametreler doğru bir şekilde ayarlanmış olsada yükle-boşalt kapılarının açık olması ve ortam hava koşullarının kontrolsüz bir biçimde tutulması istenilen özelliklerde ürün elde edilmesi engelleyecektir. Negatif etki yaratan bu durumlar gerçekleştiğinde prosesin gerçekleştiği ortam etkilediğinden, makinede entegre olan ısı kontrol sayaç değerlerinde farklılıklar oluşacaktır. Oluşan farklılıklar sebebi ile bir süre enjeksiyon işleminde dengesizlikler oluşacaktır [18].

Enjeksiyon makinesindeki bütün ısı değerleri tanımlandıktan sonra prosesin tutarlılığı için homojen ortam sıcaklığı olmalıdır. Bu sebeple baskı işlemine start verilmeden önce makinenin minimum otuz dakika ısıtılması ve ortamında minimum iki saat ısıtılması düzgün nihai ürün alınması için gereklidir [21]

2.4.6.3. Zaman

Ürün baskı işlemi anında, eş zamanlı ya da birbirini takip eden birden fazla adım vardır. Bütün adımların süreleri Şekil 2.33'de belirtilen grafik ile gösterilmiştir. Parça baskı işleminde gerçekleşen süreler aşağıdaki gibi gözlemlenebilir [19]:

- Enjeksiyon süresi
- Ütüleme süresi
- Soğuma süresi
- Toplam çevrim süresi



Şekil 2.33 : Çevrim zamanı sıralaması [21].

2.4.6.4. Hız

Plastik enjeksiyon ile imalat yönteminde farklı üç temel hız mevcuttur. Bunlar,

- Enjeksiyon baskı hızı
- Vida ileri yönlü hareket hızı
- Vida geri yönlü hareket hızıdır.

Plastik enjeksiyon ile üretimde nihai parçanın görsel özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biri de hızdır. Ek olarak proses verimliliği ve metaryel özellikleri üzerinde etkisi vardır [21].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan malzemeler ve özellikleri hakkında bilgi verilecektir. ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin karışım süreçleri, enjeksiyonla üretim aşamaları ve kullanılan parametreler açıklanacaktır. Üretilen levhalara uygulanan testler hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Hazırlanması

Plastik enjeksiyonla levha üretiminden önce, birinci aşama olarak hammadde seçimi yapılmıştır. 13°C'lik su, 18°C'lik hava ve 80°C'lik fırın olmak üzere üç farklı ortam sıcaklıklarındaki boyutsal farklılıkları mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerini tespit etmek amacıyla ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit olmak üzere iki farklı hammadde seçilmiştir. Seçilen hammaddeler ABS-Amorf, PA66-Yarı Kristalin olmak üzere iki farklı yapıdadır.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit hammaddesi, TİSAN firmasından temin edilmiştir. Temin edilen kompozit malzemenin tercih edilmesinin en önemli sebebi, hammaddeye cam elyaf takviyesi sayesinde plastik enjeksiyonla üretimi sonrasında çok iyi boyutsal kararlılık özelliğine sahip olmasıdır. Cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme içerisinde bulunan cam elyaf sayesinde mekanik mukavemet, elektriksel özellikler, ısı iletkenlik gibi özelliklerinde artış meydana gelmektedir. Bu özelliklerin yanı sıra yüksek sıcaklıklar ve uzun zaman süreleri içinde fiziksel aşınmaya karşı dayanıklı olması, di-elektriksel özelliğinin iyi olması, tutuşmaya karşı dayanıklı olması, düşük sıcaklıklarda bile fonksiyonel özelliklerini kaybetmemesi özellikleri de öne çıkmaktadır.

Deneysel çalışma esnasında kullanılan diğer hammadde olan ABS de TİSAN firmasından temin edilmiştir. ABS hafif, yüksek darbelere dayanıklı yapıda ve kimyasal

direncinin fazla olması, üretim kolaylığı sağlaması ve boyanabilir olması gibi özelliklere sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemeye oranla, boyutsal kararlılığının daha düşük olması sebebiyle, her iki malzemede meydana gelen boyutsal değişim farklarını inceleyebilmek amacıyla ikinci hammadde olarak tercih edilmiştir. TİSAN firması, PA66 matris malzemesi içerisine cam elyaf takviyesini harmanlayarak elde ettiği kompozit hammaddesini satışa sunmaktadır. PA ve ABS hammaddelerinin TİSAN tarafından Kore menşeli LG Chem firmasından temin edildiği beyan edilmiştir.

Plastik enjeksiyonla levha üretiminden önce, ikinci aşama olarak hammadde ile boya karışımı yapılmıştır. Tablo 3.1’de ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin temin edildiği firma ve karışım oranları verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi plastik enjeksiyonla levha üretiminde kullanılacak ABS hammaddesi, 970 gr ABS içerisine 30 gr boya karıştırılarak hazırlanmıştır. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit hammaddesi de 970 gr %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerisine 30 gr boya karıştırılarak hazırlanmıştır.

Karıştırma işleminde homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla plastik hammadde karıştırıcı mikser kullanılmıştır. Karışımın homojen olması oldukça büyük önem arz eder. Çünkü homojen olmayan bir karışım, üretilen levha üzerinde homojen olmayan bir renk dağılımına neden olacaktır.

Tablo 3.1: ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerinin temin edildiği markalar ve karışım oranları.

Hammadde Adı	ABS (Akronitril Bütadien Stiren)	%30 Cam Elyaf Katkılı PA66 Kompozit
Hammadde Markası	TİSAN V0 Natural ABS TOSAF 7500N BOYA	TİSAN %30 Cam Elyaf Katkılı PA66 TOSAF RAL 9001 SİYAH BOYA
Kullanım Oranları	970 gram ABS 30 gram Boya	970 gram %30 Cam Elyaf Katkılı PA66 30 gram Boya

3.2. Hammaddelerin Kurutulması

Hammadde seçimi ve karışımı sonrasında kurutma işlemi ise üçüncü aşamadır. Enjeksiyon baskı yapılacak hammaddenin iç yapısında bulunan temel nem, doğru

yöntemlerle tahliye edilmez ise nihai üründe kabarcık, yanık ve duman izleri gibi görsel kusurlar oluşacak ve malzeme hurda olacaktır. Bu sebeple kurutma aşaması atlanmaması ve uygulanırken tüm şartların yerine getirilmesi gereken kritik bir aşamadır. Hazırlanan karışımların nemini alma amacıyla hammadde kurutma ünitesi kullanılmıştır. %3 boya ilaveli %30 cam elyaf (CE) takviyeli Poliamid 66 (PA66) içeren hammaddenin kurutma işlemi, Güven Makina marka nem alma cihazında, 80°C ön kurutma sıcaklığında 4 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. %3 boya ilaveli ABS içeren hammaddenin kurutma işlemi, 82°C ön kurutma sıcaklığında 4 saat bekletilerek nem alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de hammadde kurutma ünitesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Hammadde kurutma ünitesi.

3.3. Enjeksiyon İşlemi ve Kullanılan Parametreler

Nem alma işlemi sonrasında iki çeşit hammadde karışımı sırası ile HAITIAN marka MA 2500 model plastik enjeksiyon makinesi haznesine alınmıştır. Levhaların basım işleminin gerçekleştirileceği kalıp makine içerisinde sabitlenmiştir. Enjeksiyon prosesinde kullanılan kalıba ait görsel Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2 : Kalıbın enjeksiyon makinesine bağlanması.

Deneysel çalışma esnasında kullanılan ve baskı prosesinin gerçekleştirildiği ekipmanın teknik özellikleri Tablo 3.2’de belirtilmiştir.

Tablo 3.2: Plastik enjeksiyon makinesi teknik özellikler.

SPESİFİKASYON	Birim	MA 2500 II/1000		
ENJEKSİYON ÜNİTESİ				
Vida Çapı	mm	A 50	B 55	C 60
Vida Boy/Çap Oranı	L/D	22	20	18.3
Teorik Enjeksiyon Hacmi	cm ³	471	570	679
Enjeksiyon Kapasitesi (PS)	g	429	519	618
Enjeksiyon Oranı	g/s	216	261	311
Enjeksiyon Basıncı	MPa	215	178	149
Plastikleşme Hızı (PS)	g/s	24	29.6	33.7
Vida Devir Hızı	rpm		0-235	
MENGENE ÜNİTESİ				
Kilitleme Gücü	kN		2500	
Mengene Stroğu	mm		540	
Kolonlar Arası Mesafe	mm		580x580	
Max.Kalıp Kalınlığı	mm		580	
Min.Kalıp Kalınlığı	mm		220	
İtici Stroğu	mm		150	
İtici Gücü	kN		62	
DİĞERLERİ				
Max.Pompa Basıncı	MPa		16	
Pompa motor Gücü	kW		30	
Isıtıcı Gücü	kW		17.1	
Makina Boyutlan	m		6.42 x 1.48 x 2.18	
Makina Ağırlığı	t		8.4	
Mal Hazne Kapasitesi	kg		50	
Yağ Tankı Kapasitesi	l		455	

Çalışmanın bu aşamasında kontrol ünitesinden ısıtıcılar açılır ve kurutma fırınlarında nemi alınmış hammadde besleyici kapağının açılması ile sonsuz

vida çalışması ile makine içerisindeki ısıtıcı parçalara doğru hareketi sağlanır. Enjeksiyon ünitesine alınan ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 içeren homojen karışımların, makine giriş parametrelerinden işleme ısısına ulaşması beklenir. Yeterli sıcaklığa ulaşmadan çevrime geçildiği takdirde plastik hammadde erimez ve kalıp içerisinde ki parçayı oluşturacak boşluklar olmaz bu sebeple enjeksiyon işlemi gerçekleşmemiş olur. Hammaddenin akışkanlık değeri, parça cidar kalınlığı ve erime sıcaklığı girdi olarak ele alınır ve ısıtıcılarda kullanılacak sıcaklık bu etkenler doğrultusunda belirlenir.

Her baskıda nihai ürün özelliklerinin birebir değerlerde olması için proses esnasında kalıba baskılanan hammadde miktarı, her baskı döngüsünde aynı olmalıdır. Sıcaklıkları farklı olan ve enjeksiyon makinesinde sıralı biçimde konumlandırılmış erimeyi gerçekleştiren ısıtıcılarla erimesi sağlanan hammadde kalıp besleyicisi olan yolluk memelerine doğru ilerler. Enjeksiyon prosesine ait görsel Şekil 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Enjeksiyon prosesi.

Enjeksiyon makinesi birbirine entegre ve sıralı bir şekilde çalışan sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerin kontrolleri makine üzerlerinde bulunan panellerden yapılmaktadır. Bu paneller içerisinde bulunan yazılımlardan mekanik sistemlerin çalışmalarını koordine edebilecek ve değiştirilen parametreleri makineye adapte edecek

seviyededir. Parça üretimi esnasında kullanılan enjeksiyon ayar parametreleri Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de belirtildiği şekildedir.

Tablo 3.3: Enjeksiyon verileri.

MALZEME	KALIP SICAKLIĞI	ENJEKSİYON BASINCI	ENJEKSİYON HIZI	ÜTÜLEME BASINCI	ÜTÜLEME HIZI	ÜTÜLEME SÜRESİ	ÇEVİRİM SÜRESİ
ABS	80 °C	110	70	70	55	3.0(sn)	8.0(sn)
%30 cam elyaf takviyeli PA66	70 °C	110	70	70	55	3.0(sn)	8.0(sn)

Tablo 3.4: ABS içerikli hammaddenin parametre hız ayarları.

PARAMETRE HIZ AYARLARI												MALZEME ABS			
KLP.POZ. 430.2				İTİCİ PZ 140.0				VİDA POZ 201.0				MEME POZ 0.0			
K.KP	POZ.	BSNÇ	HIZ	K.AÇ	POZ.	BSNÇ	HIZ	İTC	POZ.	BSNÇ	HIZ				
#1		50	30	#1		60	30	F#1		35	35				
#2	300.0	50	30	#2	50.0	75	30	F#2	35.0	40	45				
#3	200.0	50	30	#3	100.0	75	25	SON	66.0						
D.BS	30.0	30	20	#4	150.0	75	20	B.#1		35	25				
Y.BS	3.0	120	25	#5	300.0	35	20	B.#2	20.0	35	25				
				SON	350.0			SON	10.0						
ENJ.	POZ.	BSNÇ	HIZ	ÜTÜ	BSNÇ	HIZ	ZAMAN	MAL.	POZ.	BSNÇ	HIZ	BP.			
#1		110	70	#1	70	55	3.0	#1		140	80	0			
#2	75.0	90	60	#2	0	0	0.0	#2	10.0	135	70	0			
#3	25.0	80	50					#3	20.0	130	65	0			
								SON	143.0						
SON								G.EM	POZ	BASINÇ	HIZ				
									3.0	35	35				
		SIC. AYAR	210	220	220	225	190								

Tablo 3.5: %30 Cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammaddenin parametre hız ayarları.

PARAMETRE HIZ AYARLARI													KALIP NO PA66	
KLP.POZ.	430.2			İTİCİ PZ	140.0			VİDA POZ	201.0			MEME POZ	0.0	
K.KP	POZ.	BSNÇ	HIZ	K.AÇ	POZ.	BSNÇ	HIZ	İTC	POZ.	BSNÇ	HIZ			
#1		50	30	#1		60	30	F#1		35	35			
#2	300.0	50	30	#2	50.0	75	30	F#2	35.0	40	45			
#3	200.0	50	30	#3	100.0	75	25	SON	66.0					
D.BS	30.0	30	20	#4	150.0	75	20	B.#1		35	25			
Y.BS	3.0	120	25	#5	300.0	35	20	B.#2	20.0	35	25			
				SON	350.0			SON	10.0					
ENJ.	POZ.	BSNÇ	HIZ	ÜTÜ	BSNÇ	HIZ	ZAMAN	MAL.	POZ.	BSNÇ	HIZ	BP.		
#1		110	70	#1	70	55	3.0	#1		140	80	0		
#2	75.0	90	60	#2	0	0	0.0	#2	10.0	135	70	0		
#3	25.0	80	50					#3	20.0	135	65	0		
								SON	143.0					
SON								G.EM	POZ	BASINÇ	HIZ			
									3.0	50	45			
		SIC. AYAR	235	250	260	255	245							

Belirtilen parametrelere uygun olarak gerçekleştirilen enjeksiyon baskı işlemi sonucunda 8 saniyelik çevrim süresinde ABS içerikli hammaddeden 3 adet, %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammaddeden 3 adet olmak üzere toplam 6 adet levha alınarak levhaların markalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin ayarlandığı ve kayıt edildiği kontrol paneline ait görsel Şekil 3.4’de sunulmuştur.



Şekil 3.4 : Enjeksiyon makinesi kontrol paneli.

3.4. Soğutma Aşaması

Soğutma işlemi fiziksel şartlara direnci düşük olan ve boyutsal değişim katsayısı yüksek olan hammaddeler için atlanmaması gereken kritik bir aşamadır. Levhaların ortam sıcaklıklarına bağlı değişimini inceleyebilmek amacıyla hava (18°C), iklimik test kabini (80°C) ve soğuk su (13°C) olmak üzere 3 farklı soğutma ortamında bekletilmesine karar verilmiştir. Plastik enjeksiyon makinesinde basım işlemi tamamlanan levhalar makineden çıkar çıkmaz sıcaklık ölçümleri Uni-T Marka UT33D model dijital multimetre ile ölçülerek ölçümler kayıt altına alınmıştır. Levhaların soğutma ortamlarına ait detaylar Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6: Levhaların soğutma ortamları.

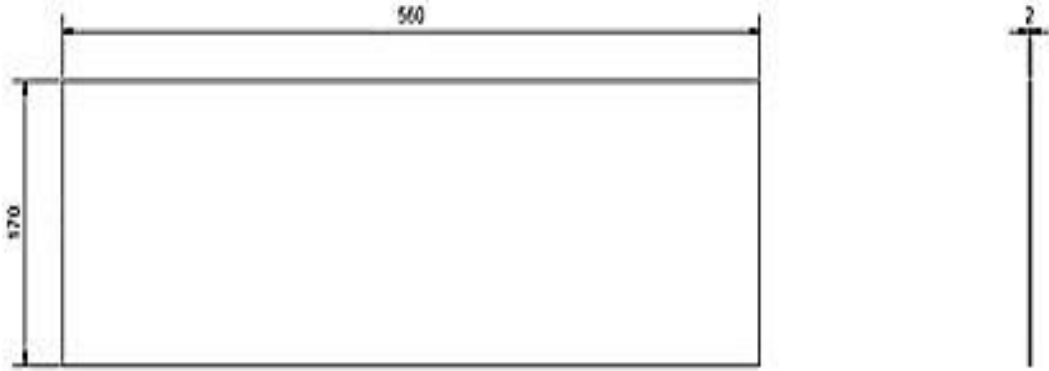
Malzeme Cinsi	İlk Basım Sıcaklığı, °C	Soğutma Ortamı	Soğutma Sıcaklığı, °C
		HAVA	18
ABS	26	FIRIN	80
		SOĞUK SU	13
		HAVA	18
%30 cam elyaf takviyeli PA66	38	FIRIN	80
		SOĞUK SU	13
%30 cam elyaf takviyeli PA66 Malzemenin Basılan Parçaların İlk Sıcaklık Ölçümü	38 °C	ABS Malzemenin Basılan Parçaların İlk Sıcaklık Ölçümü	26 °C
İklimlendirme Kabini	80 °C	Soğuk Su	13 °C



3.5. Görsel Muayene Ve Boyutsal Ölçüm

Plastik enjeksiyon makinesinde üretimi tamamlanan levhalar, enjeksiyon işlemi sonrasında soğutma ortamlarına tabii tutulmadan önceki boyutlarını kayıt altına alabilmek amacı ile markalama işlemi sonrasında 30 dk soğuması beklenerek, 0-1000 mm Shan marka ve 0-300 mm INSIZE marka; hassasiyetleri 0,01 mm olan dijital kumpaslar kullanılarak üç farklı nokta üzerinden geometrik ölçümleri yapılmıştır. Şekil

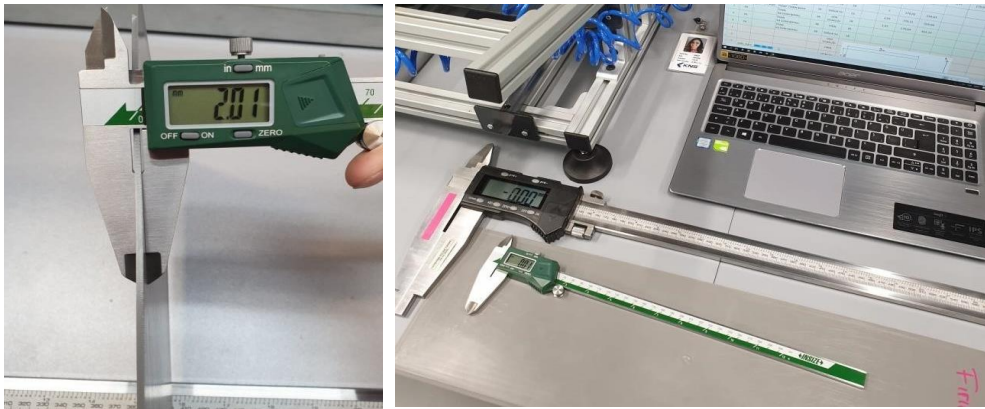
3.5'de belirtilen levhaların en, boy ve kalınlık ölçülerinin ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5 : Levha ebatları teknik resmi.

Ölçüm işlemi sonrasında 6 adet levhanın görsel kontrolü gerçekleştirilerek makro fotoğrafları çekilmiştir. Sonrasında levhalar Nuve marka iklimlendirme kabiniinde (80°C), su (13°C) ve hava (18°C) ortam sıcaklığı gibi 3 farklı koşul altında 10 gün bekletilerek 10. gün sonunda levhaların tekrar görsel kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

Görsel kontrol sonrasında levhaların 10. gün sonunda farklı koşullarda soğutulması sonucu meydana gelen boyutsal değişimleri tespit edebilmek amacıyla tekrar boyutsal ölçüm işlemi gerçekleştirilerek kayıt altına alınmıştır. Ölçme işlemine ait görseller Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6 : Levha ölçüm işlemi.

3.6. Shore-D Sertlik Ölçümü

İki farklı hammadde çeşidi ve üç farklı ortam sıcaklıklarında soğumaya tabii tutulan toplam 6 adet levhanın, ortam sıcaklıklarına bağlı olarak sertlik değerlerinde değişim meydana gelip gelmediğini tespit edebilmek amacıyla Shore-D sertlik ölçme yöntemiyle sertlik değerleri ölçülmüştür.

Rijit malzemelerin (polyester, ABS, naylon, poliamid, poliüretan...v.b) sertlik değerleri Shore-D sertlik ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. Malzemenin sertlik değerini, ölçmek için Shoremetre cihazı kullanılmaktadır. Cihaz, malzemenin üzerine iğne ile iz(çentik) oluşturur, malzemenin bu iğne ucuna uyguladığı direnç değerini gösterir. Parça üzerinde iğnenin oluşturduğu iz (çentik) çapı ve iz (çentik) derinliği cihaz ile ölçülen shore değerinin karşılığını göstermektedir. Deneyin gerçekleştirildiği cihaza ait veriler aşağıda belirtildiği şekildedir;

Uç Tipi	: 30° konik
Uç Çapı	: 140 mm (0.055 inç)
Uç Çıkıntısı	: 2.54 mm (0.100 inç)
Yay Gücü	: 44.48 N

Sertlik ölçümü Mitutoyo marka sertlik ölçüm cihazı ile TS ISO 48-4 standardına uygun olarak, 20°C ortam sıcaklığında levha yüzeyine 90°dik konumlandırılmış ve levhalar üzerine 3 kg'lık baskı 3 sn süresince uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü levha üzerinde 5 farklı noktadan ölçülerek ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli levhalar üzerinde sertlik ölçümlerinin gerçekleştirildiği âna ait görseller Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.7 : ABS levhannın sertlik ölçümü.



Şekil 3.8 : %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhannın sertlik ölçümü.

3.7. Çekme Deneyi

Elde edilen levhaların farklı ortam koşullarında soğutulması sonrası mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi ve kıyaslanması amacıyla 6 adet levha çekme testine tabii tutulmuştur. Çekme deneyi, boyutları standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek eksen doğrultusunda statik bir yük uygulanarak

belirli bir çekme hızında ve belirli bir sabit sıcaklıkta, numunenin koparılıncaya kadar çekilmesi esasına dayanmaktadır.

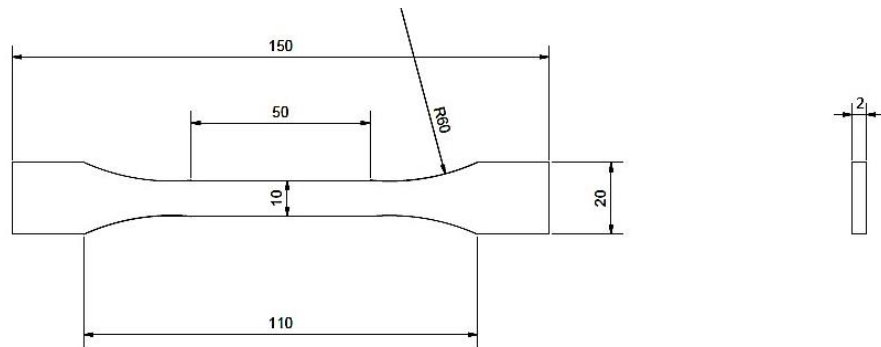
3.7.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Çekme deneyine tabii tutulacak numuneler TS EN ISO 527-1 Type B Plastikler-Çekme özelliklerinin tayini-Bölüm 1: Genel prensipler' standardına uygun olarak belirlenen ölçülerde CNC Dik işleme makinesinde, enjeksiyon makinesinde basılan numune levhalar üzerinden işlenerek hazırlanmıştır. CNC işlemi sonrasında numunelerin çapakları ince zımpara ile temizlenmiştir. Numuneler 2 mm kalınlığındaki levhanın yolluk giriş bölgesine uzak olacak şekilde en uç konumdan yolluk girişine yatay konumdan kesilmiştir. Numunenin levhadan kesildiği bölge Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.9 : Çekme numunesi ölçüleri.

Test levhalarından hazırlanan numunelerin boyutsal ölçüleri ve işleme sonrası deneye hazır görselleri, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de sunulmuştur.



Şekil 3.10 : Çekme numunesi ölçüleri.



Şekil 3.11 : Numunelerin görseli.

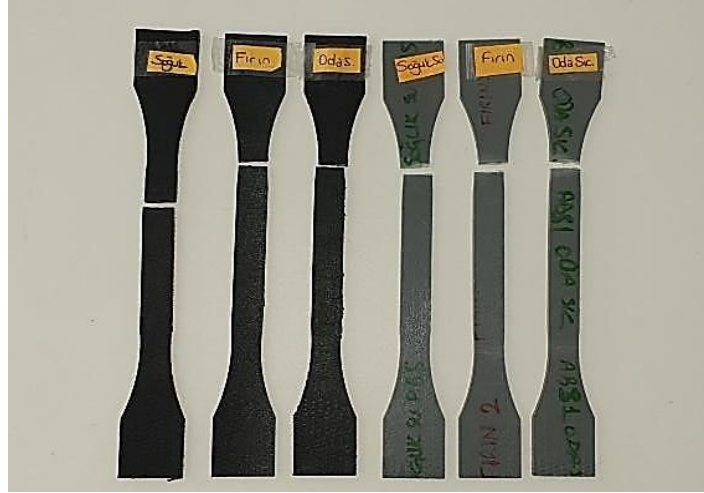
3.7.2. Çekme deneyinin gerçekleştirilmesi

Deneyin gerçekleştirilmesi amacıyla SHIMADZU marka çekme deney makinası, hazırlanan numunelerin ölçüleri referans alınarak uygun deney ortamı hazırlanmıştır. Hazırlanan 6 adet numune sırasıyla cihazın çeneleri arasında dikey olarak yerleştirilerek sabitlenirken numunelerin çenenin tam orta kısmına hizalanmasına dikkat edilmiştir. Sabitleme sonrasında numuneler Şekil 3.12’de belirtildiği şekilde çekme kuvvetine maruz bırakılarak veriler kayıt altına alınmıştır, bu işlem deney numunesinin kopma anına kadar devam etmiştir.



Şekil 3.12 : Çekme deneyi.

3 adet ABS hammadde içerikli ve 3 adet %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit hammadde içerikli malzemelerin çekme testleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler grafik haline dönüştürülerek ilgili hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çekme deneyi sonrasında numunelerin kopma sonrasındaki son şekilleri Şekil 3.13’de sunulmuştur.



Şekil 3.13 : Çekme deneyi sonrası numuneler.

3.8. Optik Mikroskop İle İnceleme

Çekme deneyi sonrasında levhaların süneklik-gevreklik durumlarının belirlenmesi amacıyla kopma yüzeyleri Nikon marka Eclipse L150 model optik mikroskop ile incelenmiştir. Yapılan incelemenin yanı sıra mikroskopik inceleme, malzemelerin incelenip karakterize edilebilmesi için kullanılan ve yüksek derecede faydalı bir araçtır. Mikroskopik incelemeler; özellikler ve yapı (ve kusurları) arasındaki ilişkileri doğru bir şekilde anlaşılmasına, bu ilişkilerin olduğu durumlarda malzeme özelliklerinin öngörülebilmesine, yeni özellik kombinasyonlarına sahip alaşımların tasarlanmasına, bir malzemenin doğru bir şekilde ısıl işlem görüp görmediğinin belirlenmesi ve malzemelerin mekanik kırılma türünün (modunun) tespit edilmesine yarayan uygulamalardır.

İnceleme esnasında farklı hammaddelerden üretilen numuneler sırasıyla tabla üzerine yerleştirilmiştir. Numunelerin tablaya konumlandırılması aşamasında numuneler tablaya dik konumda yerleştirilerek kırık yüzeyden numunenin iç yapı durumu ve tablaya kırılma yüzeyi yan konumda olacak biçimde yerleştirilerek numunelerin kırılma durumları (sünek-gevrek) görüntülenebilecek biçimde olması hedeflenmiştir. Sonrasında X50 büyütme ile uygun ışık ayarları yapılarak ilgili yüzeylerin en uygun görüntüleri yakalanmış ve yorumlanmıştır. İnceleme anına ait görsel Şekil 3.14'de sunulmuştur.



Şekil 3.14 : Optik mikroskopla inceleme.

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Levhaların ABS hammadde ile üretilenleri kalıp içerisinde $\approx 207,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahipken kalıptan çıktığında $\approx 26^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahiptir. PA66 hammadde ile üretilen levhalar ise kalıp içerisinde $\approx 250^{\circ}\text{C}$ iken kalıptan çıktığında $\approx 38^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahiptir. Bu bölümde, plastik enjeksiyon makinesinde basılan levhaların yukarıda verilen sıcaklık bilgilerine bağlı olarak levhaların farklı ortam sıcaklıklarında soğutulmasının ürünün geometrik şekline etkisi, çekme deneyi, darbe testi ve sertlik değerleri ile ilgili sonuçlar incelenecek ve irdelenecektir.

4.1. Enjeksiyon Sonrası Soğutma Ortam Sıcaklıklarının Levha Boyutuna Etkisi

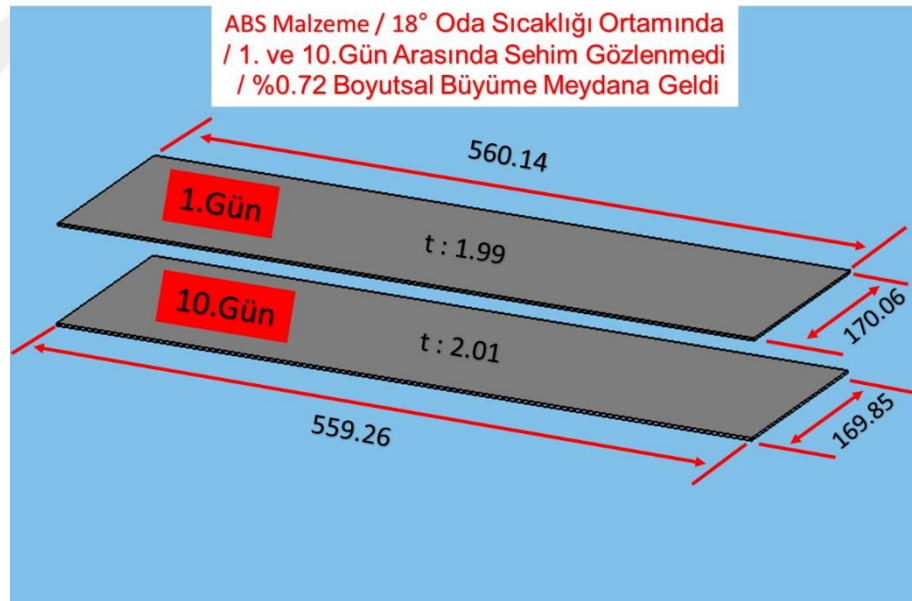
Plastik enjeksiyon makinesinde basım işlemi gerçekleştirilen levhalar, farklı ortam sıcaklıkları, aynı ve farklı hammaddeler ile üretilen parçalar üzerindeki boyutsal ebatlarında meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. Tablo 4.1’de ABS ve PA66 kompozit malzemelerin enjeksiyon kalıbından çıkartıldıktan sonra 13°C ’lik su, 18°C ’lik hava ve 80°C ’lik fırın olmak üzere üç farklı ortam ve sıcaklıklarda on gün bekleme sonrası, ürün boyutlarının ölçümü verilmiştir. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da levhalarda meydana gelen boyut değişimleri şematik gösterimi sunulmuştur.

Tablo 4.1 : ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin enjeksiyon sonrası ve on gün bekleme sonrası 18°C (hava), 13°C (su) ve 80°C (fırın) sıcaklık ortamlarındaki enjeksiyon levhaların boyutları.

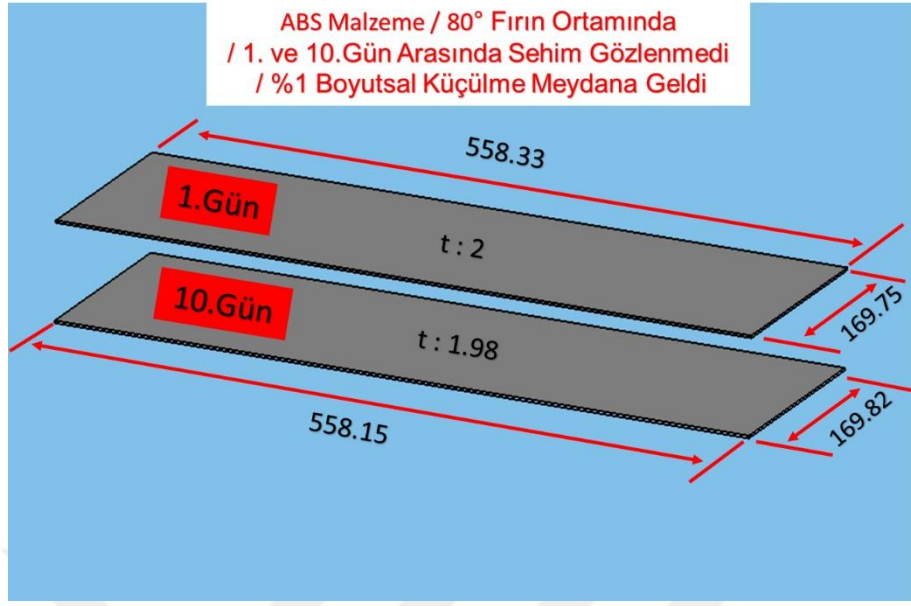
GENEL NİTELİKLER		ENJEKSİYON SONRASI ÖLÇÜM			10 GÜN BEKLEME SONRASI ÖLÇÜM			Değişim Oranı (%)
Malzeme Cinsi	Ortam Sıcaklığı	Kalınlık Ölçüsü (mm)	En Ölçüsü (mm)	Boy Ölçüsü (mm)	Kalınlık Ölçüsü (mm)	En Ölçüsü (mm)	Boy Ölçüsü (mm)	
ABS	18°C	1,99	170,06	560,14	2,01	169,85	559,26	0.72
	80°C	2	169,75	558,33	1,98	169,82	558,15	-1.00
	13°C	2,03	170,15	559,98	2	170,13	560,32	-1.45
%30 cam elyaf takviyeli PA66	18°C	1,97	170,04	562,33	2,01	169,79	562,16	1.82
	80°C	2,01	169,62	562,3	2,06	168,74	561,42	1.76
	13°C	2,02	169,51	565,2	2,36	170,84	562,98	18.10

Tablo 4.2 : 1. gün ve 10. gün sonundaki boyutsal değişimler.

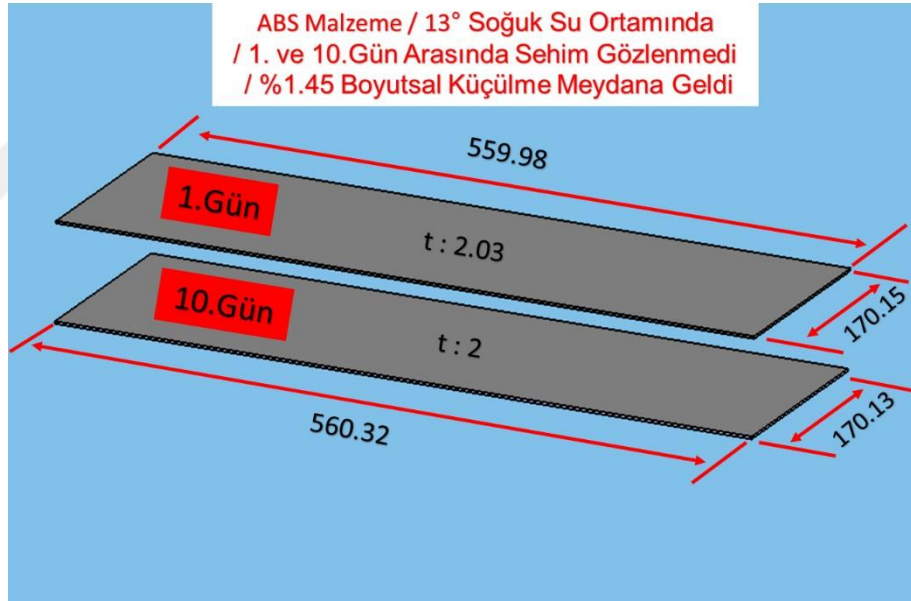
GENEL NİTELİKLER	ÖLÇÜMLER ARASI FARK					
	Ortam Sıcaklığı(°C)	ve Kalınlık Ölçüsü (mm)	En Ölçüsü (mm)	Boy Ölçüsü (mm)	Değişim Oranı (%)	
ABS	Hava, 18°C	0,02	-0,21	-0,88	0.72	
	Fırın, 80°C	-0,02	0,07	-0,18	-1.00	
	Su, 13°C	-0,03	-0,02	0,34	-1.45	
%30 cam elyaf takviyeli PA66	Hava, 18°C	0,04	-0,25	-0,17	1.82	
	Fırın, 80°C	0,05	-0,88	-0,88	1.76	
	Su, 13°C	0,34	1,33	0,78	18.10	



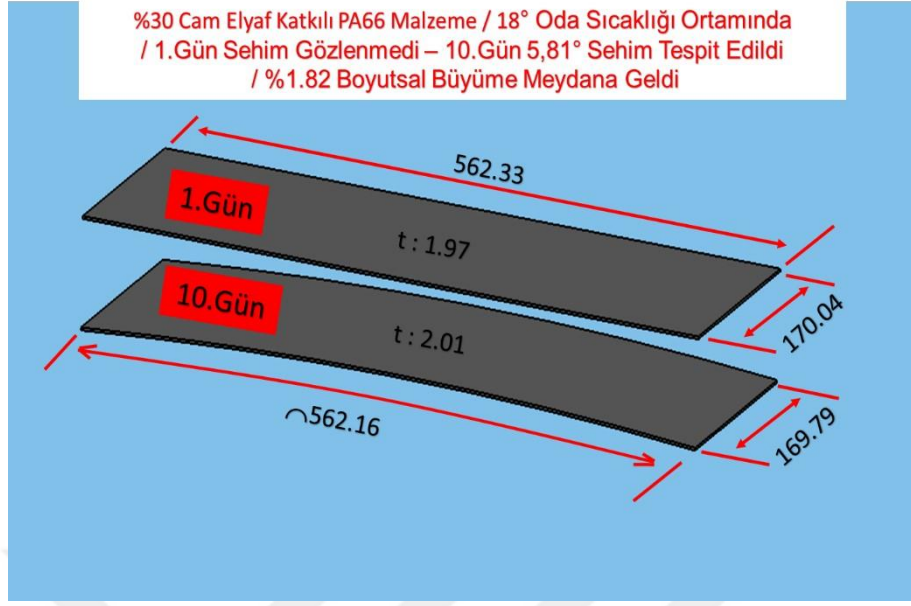
Şekil 4.1 : 18°C hava ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değişimi.



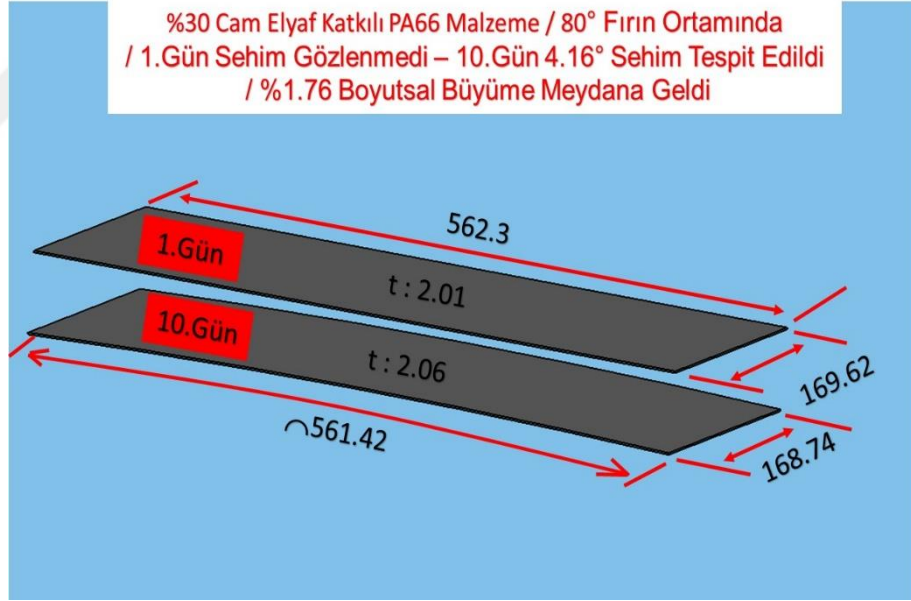
Şekil 4.2 : 80°C fırın ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değışimi.



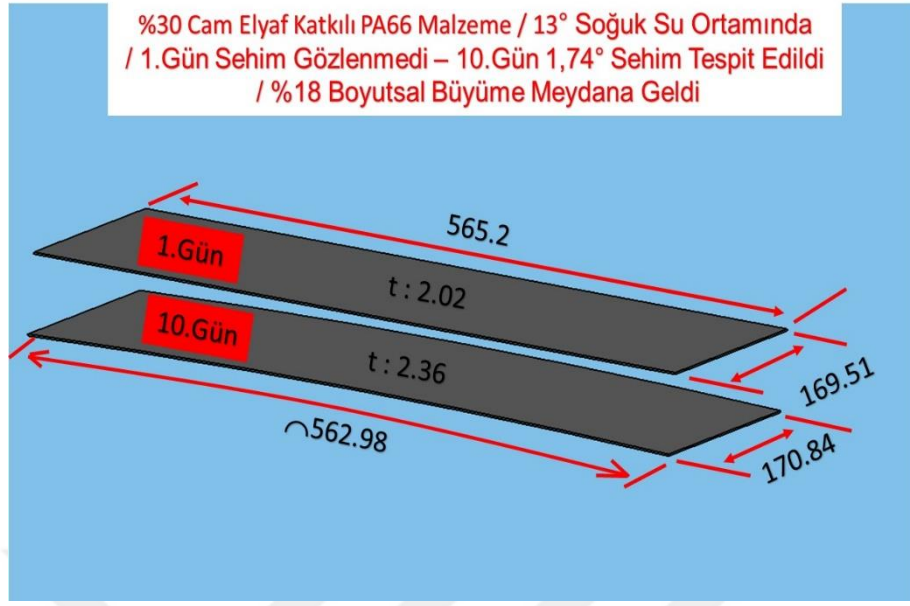
Şekil 4.3 : 13°C su ortamında soğutulan ABS levhaların boyutsal değışimi.



Şekil 4.4 : 18°C hava ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.



Şekil 4.5 : 80°C fırın ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.



Şekil 4.6 : 13°C su ortamında soğutulan PA66 levhaların boyutsal değişimi.

Tablo 4.2’de verilen ölçüm değerleri dikkate alındığında hava (18°C), soğuk su (13°C) ve fırın (80°C) ortamlarında on gün bekleme sonrası ABS içerikli enjeksiyon levhalarının kalınlık değerinde ilk ölçümle son ölçüm arasında 0,02 – 0,03 mm’lik bir değişim meydana geldiği görülmektedir. ABS levhaların kalınlık değerine, soğutma ortamının ihmal edilebilecek bir değerde değişiklik meydana getirdiği belirlenmiştir.

ABS levhaların en ölçüsü değerinde soğuk su ve fırın koşullarında soğutulan levhaların ilk ölçümle son ölçüm arasında 0,02 – 0,07 mm’lik ihmal edilebilecek bir değişim meydana gelmesine karşın hava (18°C) ortamında bekletilen levhada ise 0,21 mm ölçüsünde daha yüksek bir oranda büzülme meydana geldiği tespit edilmiştir.

ABS levhaların boy ölçüsü değerinde fırın koşullarında bekletilen levhaların ilk ölçümle son ölçüm arasında 0,18 mm’lik ihmal edilebilecek bir değişim meydana gelmesine karşın hava (18°C) ortamında bekletilen levhada 0,88 mm’lik belirgin bir büzülme meydana geldiği görülmektedir. Ancak diğer ortamların tersine oda sıcaklığında bekletme işlemine tabi tutulan levhada ise 0,34 mm’lik boyutsal artış meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 4.2’de verilen ölçüm değerlerinden yola çıkarak hava (18°C) ortam ve sıcaklığı, fırın (80°C) ve soğuk su (13°C) soğutma ortamlarında on gün süreyle bekletilen %30

cam elyaf takviyeli PA66 içerikli enjeksiyon levhalarının kalınlık değerinde ilk ölçümle son ölçüm arasında hava ortam sıcaklığı ve fırın ortamlarında bekletilen levhalar sırasıyla 0,04 – 0,05 mm’lik bir değişim, soğuk suda bekletilen levhada ise 0,34 mm’lik diğer ortamlara kıyasla daha fazla kalınlık artışı meydana geldiği belirlenmiştir.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların kalınlık ölçüsü değerinde hava (18°C) ortam ve sıcaklığı, fırın koşullarında bekletilen levhaların ilk ölçümle son ölçüm arasında sırasıyla 0,04-0,05 mm’lik ihmal edilebilecek bir değerde kalınlık artışı meydana gelmesine karşın soğuk su ortamında bekletme işlemine tabii tutulan levhada ise 0,34 mm’lik kalınlık artış meydana geldiği söylenebilir.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların en ölçüsü değerinde hava (18°C) ortam ve sıcaklığı, fırın koşullarında bekletilen levhaların ilk ölçümle son ölçüm arasında sırasıyla 0,25 – 0,88 mm’lik büzülme meydana gelmesine karşın soğuk su ortamında bekletme işlemine tabii tutulan levhada ise 1,33 mm’lik boyutsal artış meydana geldiği söylenebilir.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların boy ölçüsü değerinde hava (18°C) ortam ve sıcaklığı, fırın koşullarında bekletilen levhaların ilk ölçümle son ölçüm arasında sırasıyla 0,17 – 0,88 mm’lik büzülme meydana gelmesine karşın soğuk su ortamında bekleme işlemine tabii tutulan levhada ise 0,78 mm’lik boyutsal artış meydana geldiği söylenebilir.

Genel ölçüm sonuçları incelendiğinde ABS içerikli hammaddeden üretilen levhanın soğuk su (13°C) ve hava (18°C) ortam ve sıcaklığında bekletilmesi esnasında boyutsal değişimlerin meydana geldiği, ancak fırın ortamında bekletme işlemine tabii tutulduğunda enjeksiyon makinesinden ilk çıktığı andaki formunu koruduğu ve ölçüsel olarak belirgin bir değişim meydana gelmediği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak ABS içerikli levhanın basım sonrasında meydana gelebilecek boyutsal değişimleri minimum düzeye indirebilmek için soğutma ortamının yüksek sıcaklık değerinde tutulması parçanın boyutsal kararlılığını sağlamakta olduğu tespit edilmiştir.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammaddeden üretilen levhaların bekletme ortamının sıcaklık değeri arttıkça levhanın boyutsal kararlılığının arttığı ve bekletme

ortamının sıcaklık değeri azaldıkça parçada genleşme meydana gelerek ilk basım ölçülerine kıyasla 10. günün sonunda ölçülerde belirgin biçimde artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak PA66 içerikli hammaddeden üretilen levhanın hava (18°C) ortam ve sıcaklığında diğer ortam sıcaklıklarına kıyasla daha kararlı olduğu ve levha ölçülerinde ihmal edilebilir düzeyde büzülme meydana geldiği tespit edilmiştir.

Deneylerde kullanılan hammaddelerin su emme (doyma) değerleri incelendiğinde ABS hammadde de değer %0,35 iken %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit hammadde de %8'dir. Bu sebeple 13°C soğuk su ortamında soğutulan levhalarda 10. gün sonunda, ABS levhada %1,45 gibi küçük oranda boyutsal küçülme görülürken %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhada ise %18,1'lık yüksek bir oranda boyutsal genleşme meydana gelmesi şeklinde yorumlanmıştır [3].

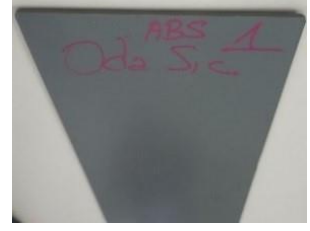
4.2. Görsel Kontrol

Enjeksiyon sonrası ve 10 gün bekleme sonunda, levhaların yüzeylerinde meydana gelen yüzeysel değişimlerim makro fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen makro fotoğraflar Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.3 : ABS levhaların ilk basım ve 10. gün sonunda çekilen makro fotoğrafları.

Malzeme Cinsi	Ortam ve Sıcaklığı	Enjeksiyon Sonrası Levha Görseli	10 Gün Bekleme Sonrası Levha Görseli
---------------	--------------------	----------------------------------	--------------------------------------

Hava, 18°C

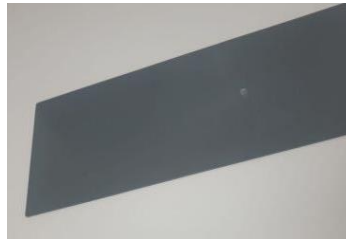


ABS




Su, 13°C



Fırın, 80°C



Tablo 4.4 : %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhaların ilk basım ve 10. gün sonunda çekilen makro fotoğrafları.

Malzeme Cinsi	Ortam ve Sıcaklığı	Enjeksiyon Sonrası Levha Görsele	10 Gün Bekleme Sonrası Levha Görsele
%30 cam elyaf takviyeli PA66	Hava, 18°C		
	Su, 13°C		
	Fırın, 80°C		

Tablo 4.3’de verilen görsellerde de belirtildiği üzere hava (18°C), soğuk su (13°C) ve fırın (80°C) sıcaklık ortamlarında on gün süreyle bekletilen ABS içerikli enjeksiyon levhalarının yüzeylerinde soğuma esnasında malzemelerin gözle görünür biçimde değişim meydana gelmediği ve enjeksiyon makinesinden ilk çıktığı andaki formlarını korudukları söylenebilir.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammaddeden üretilen levhalar üzerinde gerçekleştirilen görsel muayene sonucunda ise hava (18°C), soğuk su (13°C) ve fırın

(80°C) sıcaklık ortamlarında bekletilmesi esnasında üç levhanın da ilk basım anında doğrusal olan formlarını onuncu gün sonunda ortamın etkisi sebebiyle koruyamayıp köşe kısımlarında geometri bozukluğu meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak iklimlendirme fırınında bekletilen levhanın diğer koşullardaki levhalara kıyasla orta bölgesinde şişmelerin meydana geldiği söylenebilir.

Hava (18°C), soğuk su (13°C) ve fırın (80°C) sıcaklık ortamları dikkate alındığında, levhaların geometrik değişimi veya çarpılma oranı birbirine benzemektedir. Kompozit levhalardaki geometrik değişimin levha içerisindeki iç gerilmelerin oluşmasına bağlı olarak meydana geldiği tahmin edilmektedir. Kompozit levha içerisindeki takviye elyaf ile polimer matris malzemeleri arasındaki ısıl genleşme katsayılarının farklı olması, kompozit levha içerisinde iç gerilmelerin oluşumuna sebep olacaktır. Meydana gelen iç gerilmeler de kompozit levhaların geometrik çarpılmalarına sebep olabileceği tahmin edilmektedir. Çarpılma miktarı, soğutma ortamı ve sıcaklığına bağlı olarak daha da artmaktadır. Kompozit levhalarda oluşan iç gerilmeler, aynı zamanda mikro çatlakların oluşmasına da sebep olabilecektir. Belirli bir yük altında çalışan bu kompozit levhalar içerisindeki mikro çatlaklar birleşerek, makro çatlak boyutuna ulaşabilir, levhaların daha kısa zamanda hasara uğramasına neden olabilir. M.P. Lebedev ve arkadaşlarının [21], polimer kompozit malzemelerin soğuk ortamdaki davranışları üzerine yaptıkları araştırmada da iç gerilmelerin meydana getirebileceği hasara dikkatler çekilmiştir.

Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak ABS içerikli hammadde ile üretilen levhanın daha kararlı bir yapıda olması sebebiyle bekleme koşuluna bağlı olarak parça yüzeyinde gözle görülür fiziksel bir değişim meydana gelmediği ancak %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli levhanın kalıbın geometrisinin PA66 hammadde ile çalışmaya uygun olmaması sebebiyle tüm bekleme koşulunda geometrisinin bozukluğu söylenebilir.

Ahmet Barış KULDAŞLI (2005) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada; enjeksiyon baskı yöntemi ile parça üretimi, üretim hataları ve hataların belirlenmesi konularını ele almıştır. Çalışma esnasında plastik malzemelerin tasarımı esnasında dikkat edilmesi gereken unsurlar, enjeksiyonla imalat aşamasında karşılaşılabilecek hatalar ve bu hataların bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarıyla tespiti konularını açıklamıştır. Kuldaşlı nihai ürünün kalıptan tahliye edildikten sonra kısa veya uzun bir süre sonra meydana gelen çarpılmalar için; iç gerilmeler veya farklı malzeme çekmeleri

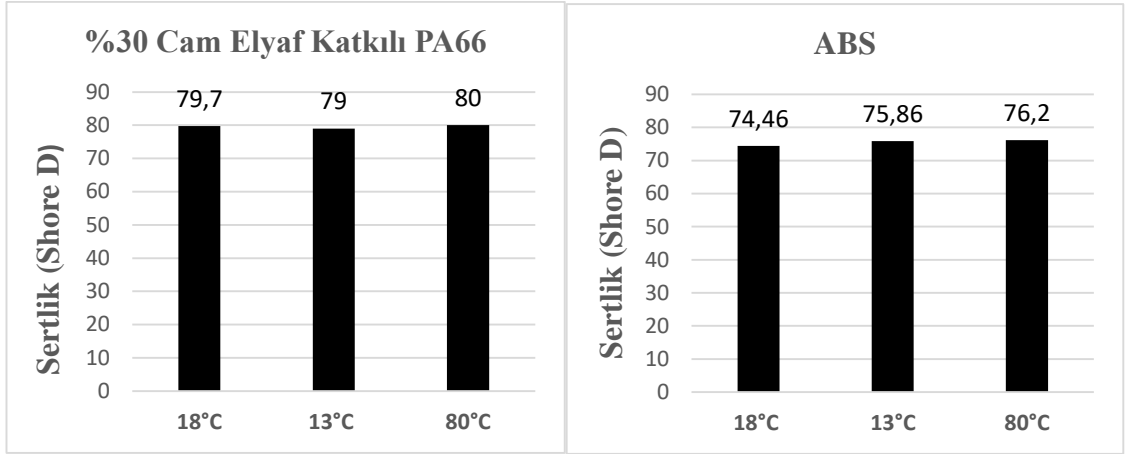
dolayısıyla olabileceğini ve katkıli malzemelerin enjeksiyon baskı esnasında katkı maddesinin yönlenmesine bağıli olarak çarpılmalar meydana gelebileceğini belirtmiştir. Tespitlerine göre plastik parçanın çarpılmasının sebepleri soğuma problemleri, çekme veya fiber katkıli malzemelerde fiber yönlenmelerinin düzensiz olması gibi farklı problemler olabileceğinden plastik enjeksiyon analiz programları sayesinde çarpılma üzerinde etkili faktörü bulup çözümlü daha kolay gerçekleştirile bilineceğini önermiştir [4].

4.3. Shore-D Sertlik Ölçümü

Enjeksiyonla üretilen levhaların 5 farklı noktası üzerinden gerçekleştirilen Shore-D cinsinden sertlik ölçümüne ait elde edilen veriler ve ölçüm sonuçlarının ortalama grafiğı, Tablo 4.5’de ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.5 : Sertlik ölçüm sonuçları.

Malzeme Cinsi	Ortam ve Sıcaklığı	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ortalama
%30 cam elyaf takviyeli	Hava, 18°C	79,50	78,60	80,40	79,80	80,20	79,70 ± 0,8
	Su, 13°C	79,80	79,30	79,60	78,90	78,00	79,00 ± 0,8
PA66	Fırın, 80°C	80,60	79,60	80,20	79,40	80,10	80,00 ± 0,6
	Hava, 18°C	75,00	74,00	74,80	74,60	74,90	74,46 ± 0,5
ABS	Su, 13°C	75,20	76,40	75,60	76,20	75,90	75,86 ± 0,6
	Fırın, 80°C	75,90	76,00	75,80	76,80	76,20	76,20 ± 0,6



Şekil 4.7 : Sertlik ölçüm ortalamaları grafiği.

%30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli hammadde ile üretilen levhaların farklı ortam koşullarında bekleme işlemine tabi tutulduğunda sertlik değerlerinde ihmal edilebilir düzeyde değişim meydana geldiği söylenebilir.

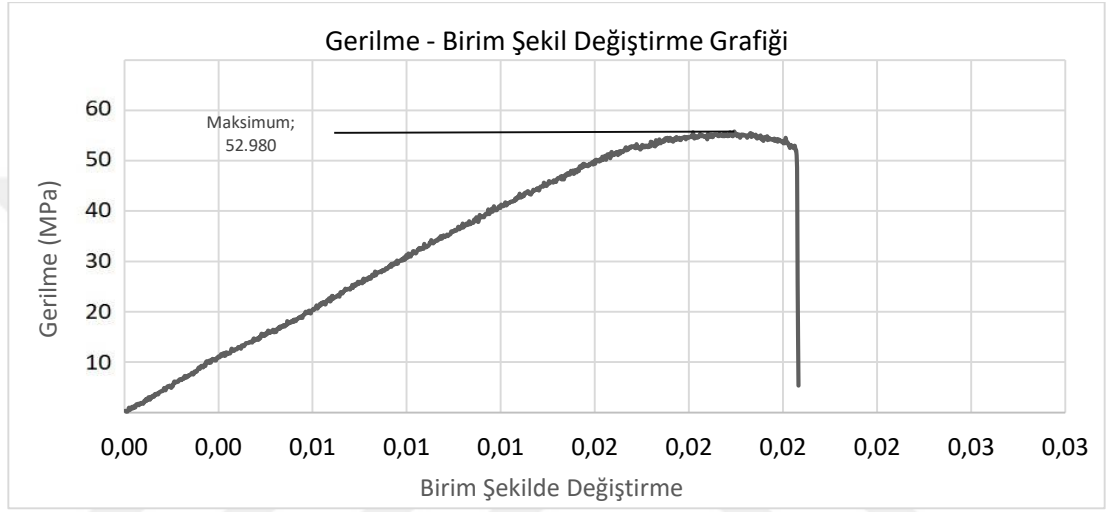
ABS içerikli hammadde ile üretilen levhaların sertlik değerleri karşılaştırıldığında; hava (18°C) ortam ve sıcaklığında bekleme işlemine tabii tutulan levhanın ortalama sertlik değerinin 74,46 Shore D, 13°C'de soğuk su içerisinde bekleme işlemine tabii tutulan levhanın ortalama sertlik değerinin 75,86 Shore D ve 80°C'de iklimlendirme fırınında bekleme işlemine tabii tutulan levhanın ortalama sertlik değerinin 76,20 Shore olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise ABS levhalarında da farklı ortam sıcaklığının sertlik değerlerinin farklılaşmasında belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Diğer taraftan PA66 kompozit levhaların sertlik değerleri, ABS levhaların sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

ABS levhaların Şekil 4.7'de belirtilen sertlik değerleri incelendiğinde, 80°C fırın ortamında soğutma işlemi sonrasında ölçülen sertlik değerinin (76,2), 18°C ortam sıcaklığında soğutulduktan sonraki sertlik değerinden (74,46) yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi ise soğutma ortam sıcaklığı arttıkça hammadde içerisinde bulunan doğal nemin kuruyarak azalmasından dolayı malzemenin daha sert bir forma dönüşmekte olduğu şeklinde yorumlanmıştır [3].

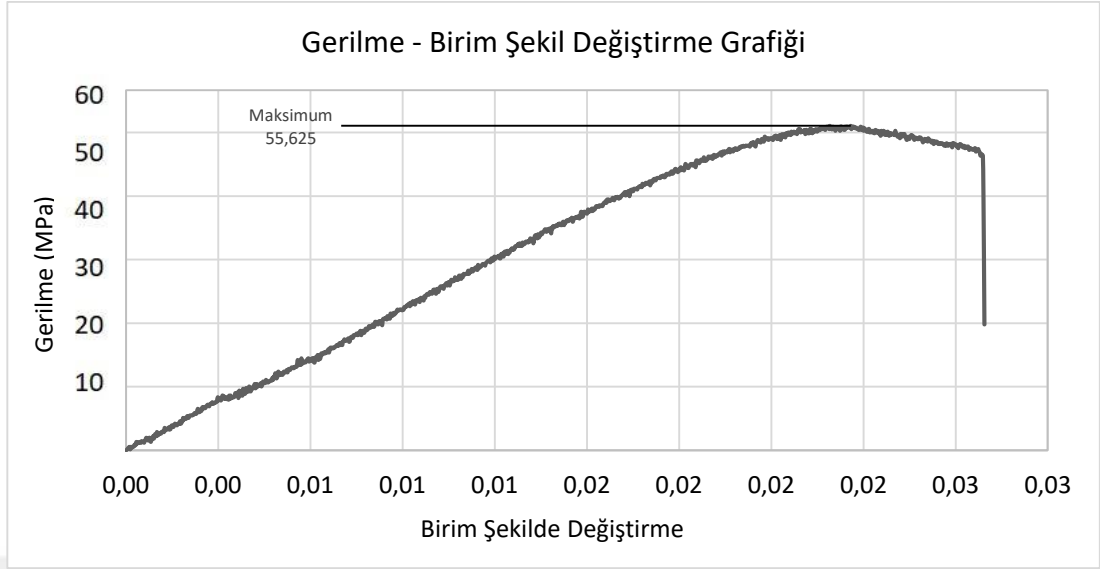
4.4. Çekme Deneyi

ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 içerikli levhaların farklı ortam sıcaklıklarında bekletilmesi sonucu meydana gelen mekanik özelliklerindeki değişimlerin tespit edilebilmesi amacıyla çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çekme testi sonucunda elde edilen verilerle Gerilme (MPa) - Birim şekil değiştirme grafiği oluşturularak sonuçlar aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır;



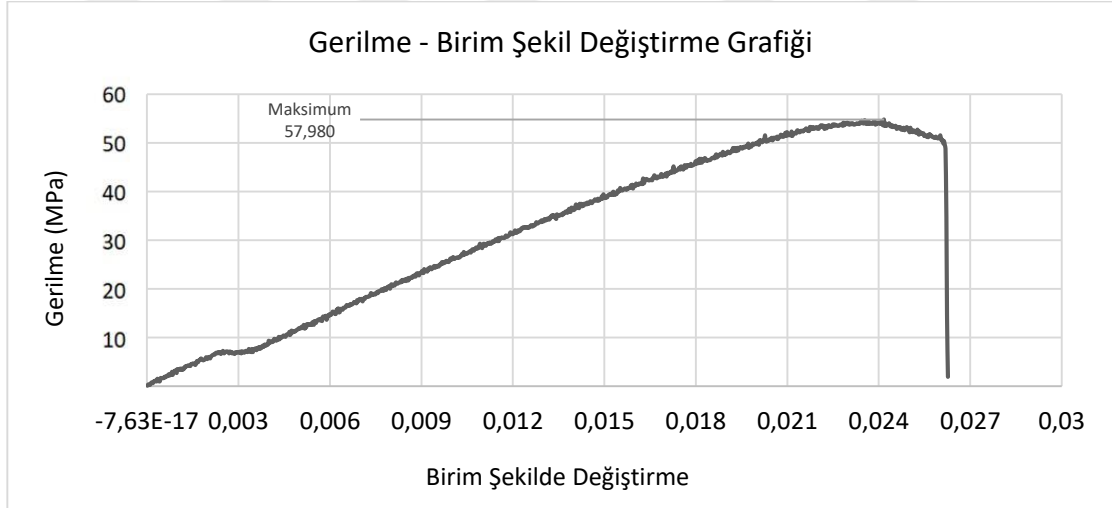
Şekil 4.8 : 80°C fırın ortam sıcaklığında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisi

80°C fırın ortamında soğuma işlemi gerçekleştirilen ABS hammadde içerikli levhanın maksimum gerilmesi yaklaşık 53 ± 2 MPa ve birim şekil değişimi yaklaşık 0,02 olarak ölçülmüştür.



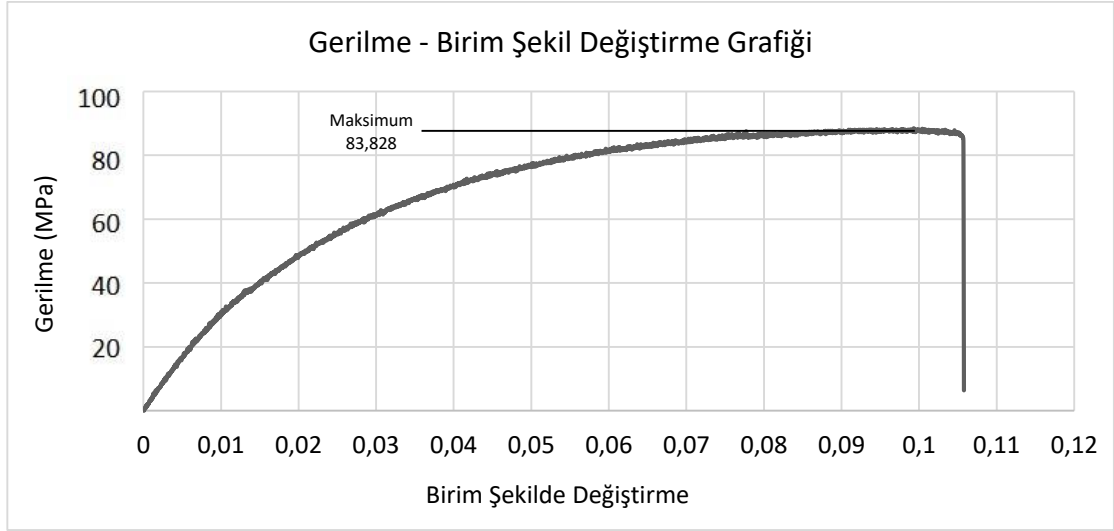
Şekil 4.9 : 18°C ortam sıcaklığında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değişirme eğrisi.

18°C (hava) ortam sıcaklığı koşullarında soğuma işlemi gerçekleştirilen ABS hammadde içerikli levhanın maksimum gerilmesi yaklaşık 56 ± 2 MPa ve birim şekil değişimi yaklaşık 0,02 olarak ölçülmüştür.



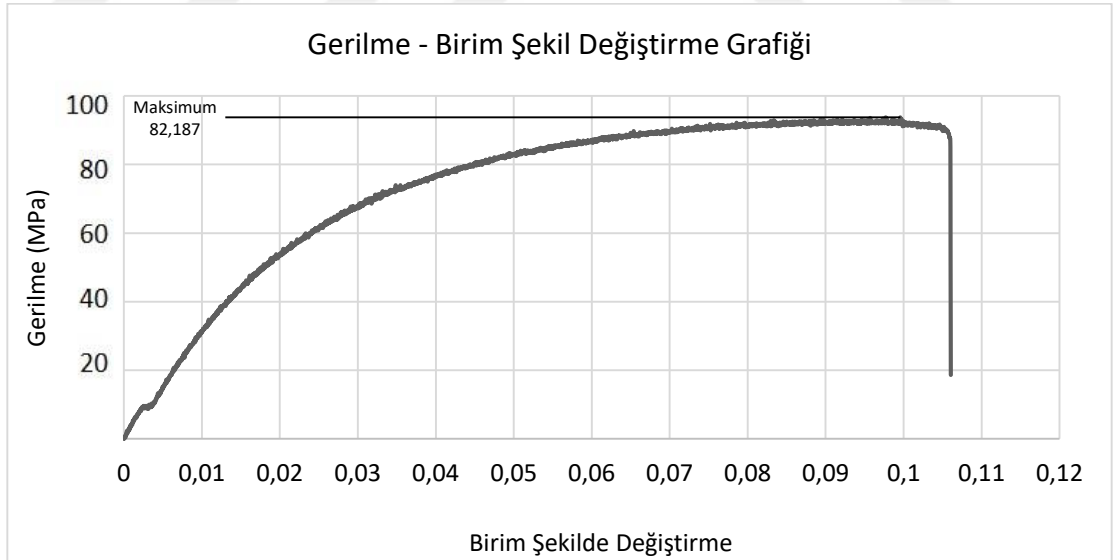
Şekil 4.10 : 13°C soğuk su ortamında bekletilen ABS hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değişirme eğrisi.

13°C soğuk su ortamında soğuma işlemi gerçekleştirilen ABS hammadde içerikli levhanın maksimum gerilmesi yaklaşık 58 ± 2 MPa ve birim şekil değişimi yaklaşık 0,02 olarak ölçülmüştür.



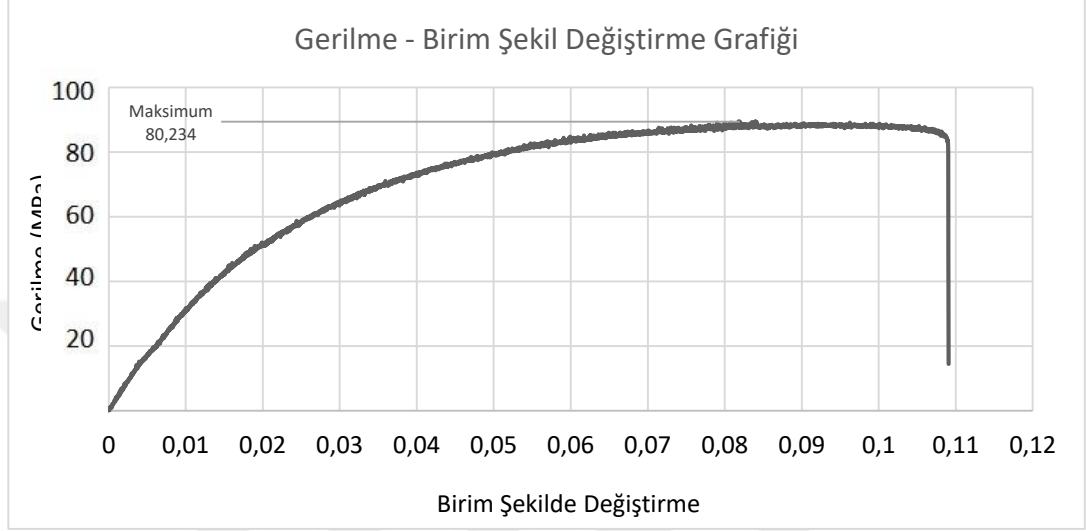
Şekil 4.11 : 80°C fırın ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değışirme eğrisi.

80°C fırın ortamında soğuma işlemi gerçekleştirilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhaların maksimum gerilmesi yaklaşık 83±2 MPa ve birim şekil değışimi yaklaşık 0,1 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.12 : 18°C ortam sıcaklığında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değışirme eğrisi.

18°C ortam sıcaklığı koşullarında soğuma işlemi gerçekleştirilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın maksimum gerilmesi yaklaşık 82±2 MPa ve birim şekil değişimi yaklaşık 0,1 olarak ölçülmüştür.

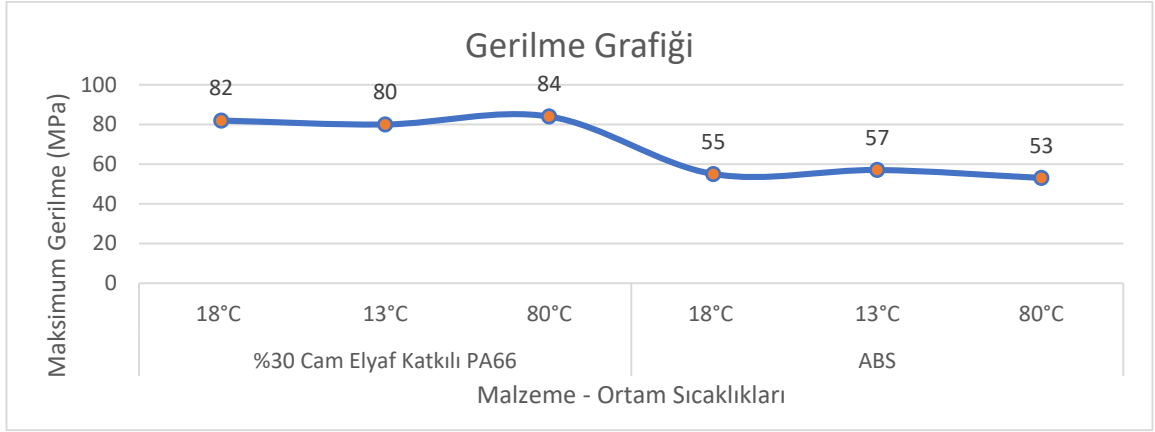


Şekil 4.13 : 13°C soğuk su ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın Gerilme-Birim şekil değişirme eğrisi.

13°C soğuk su ortamında soğuma işlemi gerçekleştirilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhanın maksimum gerilmesi yaklaşık 80±2 MPa ve birim şekil değişimi yaklaşık 0,1 olarak ölçülmüştür. Çekme testi genel sonuçları Tablo 4.6’da ve gerilme değerlerinin karşılaştırılması grafiği Şekil 4.14’de sunulmuştur.

Tablo 4.6 : Çekme testi sonuçları.

Malzeme Cinsi	Ortam ve Sıcaklığı	Maksimum Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değişirme
%30 cam elyaf takviyeli PA66	Hava, 18°C	82±2	0,1
	Su, 13°C	80±2	0,1
	Fırın, 80°C	83±2	0,1
ABS	Hava, 18°C	56±2	0,02
	Su, 13°C	58±2	0,02
	Fırın, 80°C	53±2	0,02



Şekil 4.14 : Gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

Her iki malzemeden elde edilen levhaların çekme sonuçları karşılaştırıldığında;

1. Birim şekil değiştirme değerlerinin her iki malzemedede ortam şartlarına bağlı olarak soğuk suda bekletilen levhada artış sıcak ortamda bekletilen levhalarda ise azalma meydana geldiği,
2. Gerilme değerleri ve levha soğutulma koşulları arasında stabil bir bağlantı olmadığı, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemede fırın ortamında gerilme değeri en yüksek seviyede iken ABS içerikli malzemede gerilme değerinin en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın mekanik özelliklerdeki artışı Tablo 4.7’de sunulmuştur.

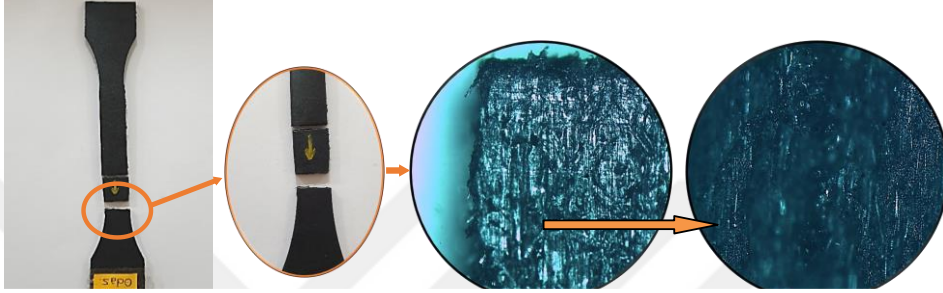
Tablo 4.7 : Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi.

MALZEME	SICAKLIK	MAKSİMUM GERİLME	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME
%30 cam elyaf takviyeli PA66	↑	↑	↓
ABS	↑	↓	-

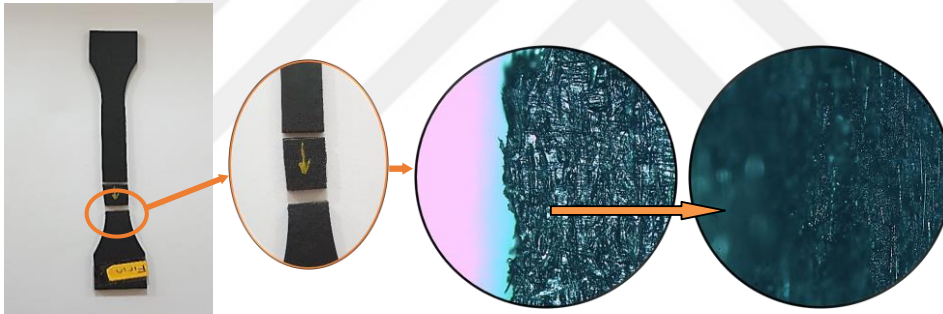
4.5. Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları

Çekme deneyi sonrasında malzemelerin kırılma yüzeylerinin NIKON marka optik mikroskop ile X50 büyütülmesi sonucu elde edilen görüntüler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmuştur.

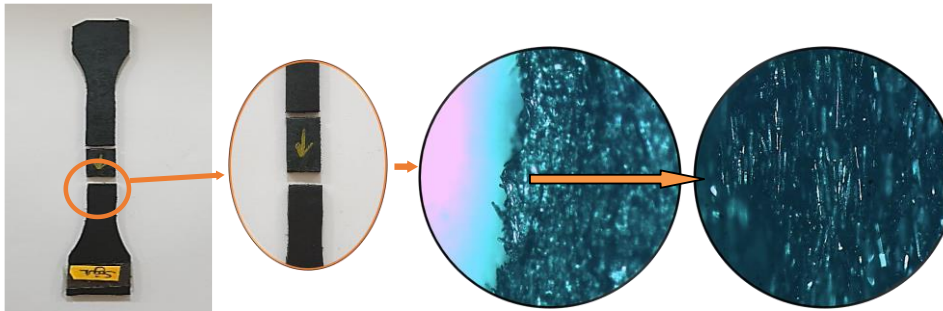
%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit (Hava, 18°C)



%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit (Fırın, 80°C)

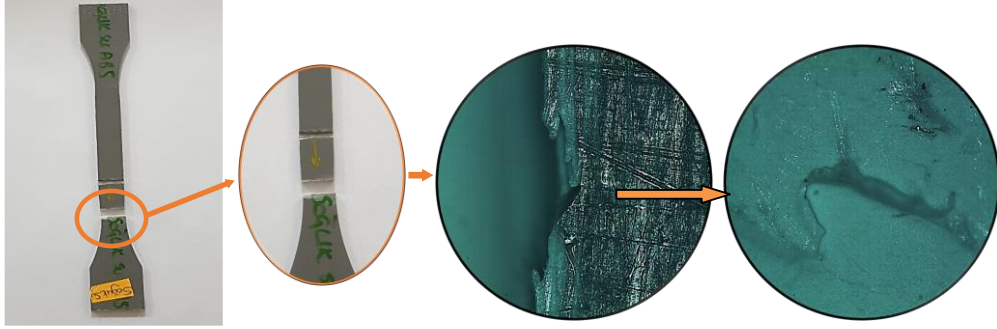


%30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit (Su, 13°C)

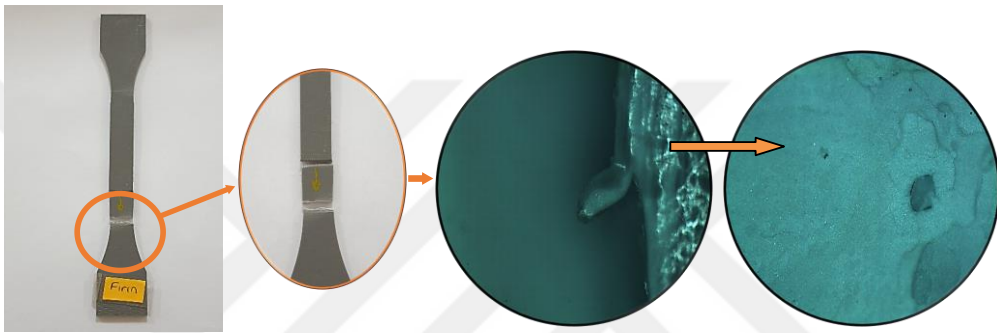


Şekil 4.15 : X50 büyütmeyle %30 cam elyaf takviyeli PA66 levhaların optik fotoğrafı.

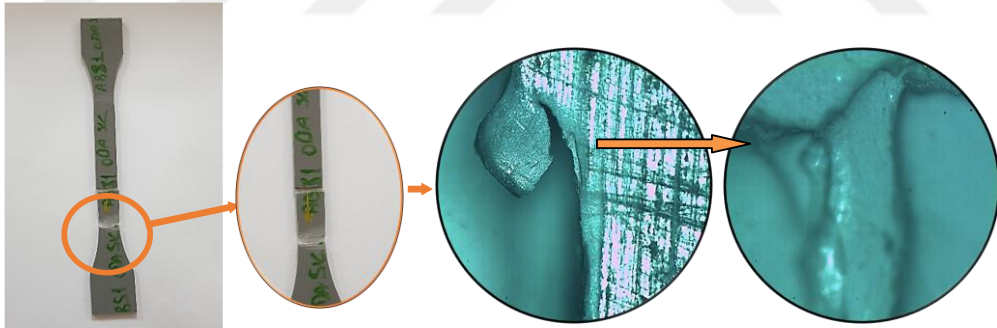
ABS (Su, 13°C)



ABS (Fırın, 80°C)



ABS (Hava, 18°C)



Şekil 4.16 : X50 büyütmeyle ABS levhaların optik fotoğrafı.

Levhalar tabla üzerinde objektife dik olacak biçimde yerleştirilmesi sonucu X50 büyütme ile elde edilen görüntüler incelendiğinde; ABS hammadde içerikli levhalarda, soğutma ortamının sıcaklığı arttıkça levha içeriğinin daha homojen bir hal aldığı belirlenmiştir. ABS hammadde içerikli levhalarda, 26°C ile enjeksiyon makinesinden çıkan levhanın ani olarak 13°C soğuk su ile soğutulması sonucu malzeme içinde

tanelerin çarpılmaya uğradığı, tane sınırlarının keskin olması sebebiyle belirgin bir biçimde görülebilmektedir. %30 cam elyaf takviyeli PA66 hammadde içerikli levhalarda, soğutma ortam ısısı düştükçe parça içerisinde bulunan cam elyaf takviyesi miktarının belirgin bir biçimde belirginleştiği tespit edilmiştir. Sıcaklığın makro yapı üzerindeki etkisi Tablo 4.8’de sunulmuştur.

Çekme deneyine tabii tutulan levhaların kopma durumlarını (gevreklik-süneklik) incelemek amacıyla levhalar tabla üzerinde objektife levhanın yan yüzeyi dik olacak biçimde yerleştirilmesi sonucu X50 büyütme ile elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi aşağıda belirtildiği şekildedir:

1. ABS hammadde içerikli levhalarda, soğutma ortam sıcaklığı düştükçe parça iç yapısında süneklik azalıp gevreklik artmaktadır. Bu değişim ise malzemenin belirli bir yük altında kopması incelendiğinde ortam soğudukça daha kırılğan bir yapıya bürünmesine sebep olduğu,
2. ABS hammadde içerikli levhalarda, soğutma ortamındaki sıcaklık azaldıkça süneklik özelliği azaldığından çekme deneyi esnasında gerçekleşen kopma olayında parçanın birbirinden ayrıldığı yüzeyde ani kırılmanın mevcut olduğu,
3. PA66 hammadde içerikli levhalarda ABS hammadde içerikli numunelere oranla daha lifli bir yapı mevcut olduğu ve malzemenin kopma esnasında sünek davranış gösterdiği,
4. PA66 hammadde içerikli kompozit levhalarda soğutma ortam ısısı azaldıkça malzemede daha lifli bir yapı meydana geldiği yani cam elyaf takviyesinin daha belirgin bir hal aldığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.8 : Sıcaklığın makro yapı üzerindeki etkisi.

MALZEME	SICAKLIK	GEVREKLİK	SÜNEKLİK
%30 cam elyaf takviyeli PA66	↓	-	-
ABS	↓	↑	↓

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların boyutsal değişimine, çekme mukavemetine ve sertliğine, 10 gün süreyle bekletilen 13°C'lik su, 18°C'lik hava ve 80°C'lik iklimlendirme fırını olmak üzere üç farklı soğutma ortamı ve sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kısaca tanımlanmıştır:

1. ABS levhaların, 18°C'lik hava, 80°C'lik fırın ve 13°C'lik su ortam sıcaklıklarında yaklaşık %1 oranında boyutsal bir değişim tespit edilmiştir.
2. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların, 13°C'lik su ortam sıcaklığında yaklaşık %18 oranında boyutsal bir değişim tespit edilmesine rağmen, 18°C hava ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklıklarında ise yaklaşık %1 oranında boyutsal bir değişim tespit edilmiştir. 13°C'lik su ortam ve sıcaklığında, diğer iki ortam ve sıcaklığına (18°C'lik hava ve 80°C'lik fırın) kıyasla çok daha fazla boyutsal değişimin meydana gelmesi, PA66 matriks malzemesinin su emme (doyma) değerinin (%8) yüksek olması nedenine yorumlanmıştır. Çünkü %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levha, su içerisinde bekletildiğinde hızlı bir şekilde suyu emdiği için levhada yüksek oranda boyutsal genleşme meydana gelecektir. Bu nedenle, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların, sıvı ortamındaki servis şartlarında kullanılmaması gerektiği değerlendirilmiştir.
3. 13°C'lik su ortamında bekletilen ABS levhaların Shore D sertlik değeri (75,6), 18°C'lik hava ortam sıcaklığındaki Shore D sertlik değerinden (74,2) ihmal edilebilecek seviyede yüksek olduğu ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklığındaki Shore D sertlik değerinden (76,2) ise düşük olduğu tespit edilmiştir. Üç farklı soğutma ortam ve sıcaklıklarının, levha sertlik değişimine etki etmediği sonucuna varılmıştır.

4. 13°C'lik su ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların Shore D sertlik değeri 79, 18°C'lik hava ortam sıcaklığındaki Shore D sertlik değeri 79,7 ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklığındaki Shore D sertlik değeri ise 80 olarak ölçülmüştür. Üç farklı soğutma ortam ve sıcaklıklarının, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levha sertlik değişiminde belirgin bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.
5. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların 18°C'lik hava, 80°C'lik fırın ve 13°C'lik su ortam ve sıcaklıklarında ortalama sertlik değerleri (79,5 ±0,5), ABS levhaların ortalama sertlik değerlerinden (75,3 ±1) yaklaşık %5,4 daha yüksek olduğu görülmektedir.
6. 13°C'lik su ortamında bekletilen ABS levhaların çekme mukavemeti 58±2 MPa, 18°C'lik hava ortam sıcaklığındaki 56±2 MPa ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklığındaki 53±2 MPa olarak tespit edilmiştir. Üç farklı ortam ve sıcaklıkta tespit edilen birim şekil değişimi ise 0,02'dir. 80°C'lik fırın ortam ve sıcaklığında tespit edilen çekme mukavemeti, 18°C'lik hava ve 13°C'lik su ortam ve sıcaklıklarındaki çekme mukavemetinden nispeten daha düşük bir değer elde edildiği görülmektedir.
7. 13°C'lik su ortamında bekletilen %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların çekme mukavemeti 80±2 MPa, 18°C'lik hava ortam sıcaklığındaki 82±2 MPa ve 80°C'lik fırın ortam sıcaklığındaki 83±2 MPa olarak tespit edilmiştir. Üç farklı ortam ve sıcaklıkta tespit edilen birim şekil değişimi ise 0,1'dir. 13°C'lik su ortam ve sıcaklığında tespit edilen çekme mukavemeti, 18°C'lik hava ve 80°C'lik fırın ortam ve sıcaklıklarındaki çekme mukavemetinden nispeten daha düşük bir değer elde edildiği görülmektedir.
8. Üç farklı soğutma ortam ve sıcaklıklarında bekletilen ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların çekme deneyi sonucunda kopan numune yüzey fotoğrafları incelendiğinde, soğutma ortam ve sıcaklığı değiştikçe malzemenin süneklik ve gevreklik davranışlarının da değiştiği yorumlanmıştır. Her iki malzeme için de soğutma ortamı su ve ortam sıcaklığı 13°C olduğunda malzeme gevrek davranış sergilediği, soğutma ortamı ve sıcaklığı hava (18°C) ve fırın (80°C) olduğunda ise sünek davranış sergilediği sonucuna varılmıştır. %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemelerin bekletildiği soğutma ortamı su ve ortam

sıcaklığı 13°C olduğunda, cam elyaflarının PA66 matrisinden sıyırma şeklinde ayrılmayıp, yoğunluklu olarak elyafların kırıldığı gözlemlenmiştir.

9. Elde edilen deneysel sonuçlar dikkate alındığında, ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların plastik enjeksiyon işlemi sonrası, 18°C'lik hava ortam ve sıcaklığında soğutulması gerektiği yorumlanmıştır.

5.2. Öneriler

1. Bu çalışmada, plastik enjeksiyonla 2 mm kalınlığındaki ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhalar üretilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı kalınlıklarda levhalar üretilerek, levhanın kalınlığına bağlı olarak ortam ve sıcaklığının meydana getirebileceği boyutsal değişimler incelenebilir.
2. Bu çalışmada, %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhalar üretilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. PA66 içine farklı oranlarda cam elyaf katkı maddesi ilave edilerek üretilen levhaların, farklı ortam sıcaklıklarının malzeme içeriğine bağlı olarak malzemenin mekanik ve boyutsal özelliklerinde meydana getirdiği değişimler incelenebilir.
3. Bu çalışmada üretilen numunelere, 13°C'lik su ortam ve sıcaklığında bekletilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Üretilecek numuneler, farklı su ortam sıcaklıklarında bekletilerek, numunede meydana gelebilecek boyutsal değişimler incelenebilir.
4. Bu çalışmada plastik enjeksiyonla üretilen ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhaların kalınlığı 2 mm'dir. Standart çentik darbe deney numune kalınlığı daha fazla olduğu için farklı ortam ve sıcaklıklarda bekletilen malzemelerin çentik darbe deneyi yapılamamıştır. Plastik enjeksiyonla darbe deneyi yapılabilecek kalınlıklarda ABS ve %30 cam elyaf takviyeli PA66 kompozit levhalar üretilerek, farklı ortam ve sıcaklıklarda bekletilen malzemelerin darbe dayanımına nasıl etki ettiği incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Demirer, A. (2003). Normal ve Sıcak Yolluk Sistemiyle Kalıplanan PP Malzemenin Enjeksiyon Prosesine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *3.Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu Bildirisi*, Ankara-Türkiye, 18-20 Ağustos.
- [2] Demirer, A. (2009). PP ve YYPE Malzemelerin Enjeksiyon Kalıplarında Üretilmesinde Soğutma Sisteminin Parça Kalitesine Etkisi, *5.Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu Bildirisi*, Karabük-Türkiye, 13-15 Mayıs.
- [3] Demirer, A.(2023). *Kişisel Görüşme*, 06 Ocak, Sakarya.
- [4] Kuldaşlı, A.B.(2005) *Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile Parça İmalatı, İmalat Hataları ve Hata Tespiti*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Akkurt, S., (1991). *Plastik Malzeme Bilgisi*, İTÜ Makina Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [6] Bicerano, J., (2002). *Prediction Of Polymer Properties*, Third Edition, The Dow Chemical Company, Michigan, U.S.A.
- [7] Brinson, H.F. and Brinson, L.C., (2008). *Polymer Engineering Science and Viscoelasticity:An Introduction*, Springer.
- [8] Brown, R., (2002). *Handbook of polymer testing: Short term mechanical test*, Rapra Polymer Testing Series.
- [9] Bryce, D.M. (1997). Plastic Injection Molding, *Society of Manufacturing Engineers*, Vol 2, 332-333.
- [10] Özgüven, C. B. (2020). *Konvansiyonel Soğutmalı Plastik Enjeksiyon Prosesi ile Hızlı Isıtma Soğutmalı Plastik Enjeksiyon Prosesi Karşılaştırması*. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [11] Chanda, M. and Roy, S.K., (2009). *Plastic Fundamentals, Properties, and Pesting, Plastic Engineering Series*. Taylor and Francis.
- [12] Bitirgiç, Ç. (2010). *Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Pp Malzemeye Katılan Abs Ve Cam Elyafın Mekanik Özelliklere Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi), Mühendislik ve Fen Bilimler Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- [13] Çetin A. ve Tekiner Z. *Cam Elyaf ile Güçlendirilmiş Pa66'nın Eğme ve Darbe Mukavemeti açısından Enjekiyon Parametrelerinin Etkisi*, *4.Uluslararası Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu Bildirisi (Antalya-Türkiye, 03-05 Kasım 2016)*

- [14] Ebewele, R. O., (2000). *Polymer Science and Technology*, CRC Press LLC.
- [15] Pınar, E. (2010). *Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, (Yüksek Lisans Tezi)*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Karabıyık, F. S. (2018). *Su Destekli Plastik Enjeksiyon Sistemi İle Polimer Kompozit Silecek Kolu Üretimi, (Yüksek Lisans Tezi)*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [17] Kızılöz, H. B. (2019). *Plastik Enjeksiyon Kalıbında Soğutma Parametrelerinin Değiştirilmesi ve Polipropilen Malzeme Üretimindeki Etkilerinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi)*, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya Teknik Üniversitesi, Konya
- [18] Url-1 <<https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch13-Plastik%20isleme.pdf>>, erişim tarihi:27.02.2021
- [19] İçten, B. (2004). *Plastik Enjeksiyonda Basınç, Sıcaklık, Zaman, Hız Gibi Faktörlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi)*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [20] Ay, İ. (2008), *Polimerlerin Mekanik Davranışları*, erişim: <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>
- [21] Kamber, Ö. Ş. (2008). *Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntem İle Optimizasyonu, (Doktora Tezi)*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Makine Eğitim Programı, Marmara Üniveritesi, İstanbul.
- [22] Lau, H.C.W. Ning, A. Pun, K.F. Chin, K.S. (2001). Neural Networks for The Dimensional Control of Molded Parts Based on a Reverse Process Model, *Journal of Materials Processing Techonology*, 117 (2001) 89-96.
- [23] Lebedev, M.P., Startsev, O., Kychkin, A. K., Polyakov, V.V. (2020). Effects of cold climates on polymer composite material properties, *Procedia Structural Integrity*, 30 (34),76-81
- [24] Martinez-Guerrero, J.N., (1999). *Flexural creep analysis of recycled polymeric structural elements*, (Ph.D Thesis), The Department of Civil and Environmental Engineering, Lousiana State University, USA.
- [25] McKeen, L. (2009). *The effect of creep and the other time related factors on plastics and elastomers*, Second Edition, PDL Handbook Series.
- [26] MEGEP (2006), *Plastik Teknolojisi*, Polimerlerin Fiziksel Özellikleri, 2.
- [27] Özmen, M. E. (2012). Plastik Enjeksiyonda Parça Yüzeyini İzleyen Soğuma Kanalları İle Parça Soğumasının Analizi, *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*,46 (13), 1.
- [28] Nielsen, L.E. and Landel, R. F. (1994). *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, Second edition, Monsanto Company.
- [29] Palabıyık, M., 2008. *Polimer Esaslı Kompozitler İle Konstrüksiyon*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.

- [30] Palabıyık, M., 2009. *Polimer kompozit malzemeler ile konstrüksiyon ve imalat*, İTÜ. Makine Fakültesi, İstanbul.
- [31] Selçuk Üniversitesi Arşivi, (2018). *Polimerlerin Kimyası*, erişim: <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7405/183141.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [32] Shen, Y.K. Liu, J.J. Chang, C.T. Chiun, C.Y. (2002). Comparison of the Results for Semisolid and Plastic Injection Molding Process, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 1 (2002) 97-105.
- [33] Turaçlı, H., (2003). *Enjeksiyon Kalıpları İmalatı*, Pagyay Yayıncılık, İstanbul.
- [34] Van Der Vegt, A.K., (2002). *From polymers to plastics*, VSSD Publishing.
- [35] Ward, I.M. and Sweeney, J. (2004). *An Introduction to The Mechanical Properties of Solid Polymers*, Second edition, Wiley.
- [36] Çakır, Y., (2000). *1 20-3 Polietilen Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [37] Yeung, V.W.S. Lau, K.H. (1997). Injection Moulding 'C-Mold 'Cae Package. Process Parameter Design And Quality Function Deployment: A Case Study Of Intelligent Materials Processing, *Journal Of Material Procesing Tecnology*, 63 481-487.