

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE
POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) BORU ÜRETİMİ VE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa SEVDAROĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE
POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) BORU ÜRETİMİ VE ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa SEVDAROĞLU
(506171420)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Burak ÖZKAL

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506171420 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa SEVDAROĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) BORU ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Burak ÖZKAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. İlke ANAÇ ŞAKIR
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 15 Temmuz 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca tüm bilgisini ve deneyimini benimle paylaşan, her koşulda destekleyen ve yol gösteren değerli danışmanım Prof. Dr. Burak ÖZKAL'a emekleri ve gösterdiği sabır için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ISTKA/2012/BİL/28 proje desteği kapsamında yenilenen laboratuvar altyapısından yararlandığım İTÜ-PML grubuna ve başta Prof. Dr. M. Lütfi ÖVEÇOĞLU olmak üzere tüm İTÜ-PML üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımı yürüttüğüm TEKLAS'a, çalışma arkadaşlarım Erhan ULUSOY, Tuncay GÜMÜŞ ve Hamza KOCATÜRK'e desteklerinden ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen yol arkadaşım Büşra METE'ye çok teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca bana destek olan başta annem olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2020

Mustafa SEVDAROĞLU
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	5
3. POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) VE EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE ŞEKİLLENDİRME	11
3.1 Polifenilen Sülfite (PPS).....	11
3.2 Ekstrüzyon Yöntemiyle Şekillendirme.....	19
4. TAM FAKTÖRİYEL DENEYSEL TASARIM.....	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
5.1 PPS Boru Üretimi.....	43
5.1.1 Kullanılan hammadde.....	43
5.1.2 Üretim akışı.....	43
5.2 Proses Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deneysel Tasarım	50
5.3 Test Aşaması	53
5.3.1 Test akış şeması.....	54
5.3.2 Kullanılan test cihazları	55
5.3.3 Testlerin uygulanışı	57
5.3.3.1 Yaşlandırma.....	57
5.3.3.2 DSC analizi	58
5.3.3.3 Sıcak patlatma testi	58
5.3.3.4 Çekme testi.....	59
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	61
6.1 DSC Analizi	61
6.2 Sıcak Patlatma Testi	67
6.3 Çekme Testi	71
7. GENEL SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ	93



KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ANOVA	: Varyans Analizi
ASA	: Akrilonitril Stiren Akrilat
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
ETFE	: Etilen Tetrafloroetilen
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
LCP	: Sıvı Kristal Polimerler
PA	: Poliamit
PA46	: Poliamit 46
PA6	: Poliamit 6
PA 6-3-T	: Politrimetilen Heksametilen Tereftalamit
PA11	: Poliamit 11
PA12	: Poliamit 12
PA66	: Poliamit 66
PAI	: Poliamit-imidler
PBT	: Polibütilen Tereftalat
PC	: Polikarbonat
PC-HT	: Yüksek Sıcaklık Polikarbonatı
PCTFE	: Poliklorotrifloroetilen
PE	: Polietilen
PEEK	: Polieter Eter Keton
PEI	: Polietilenimin
PEK	: Polieter Keton
PEKEKK	: Polieter Keton Eter Keton Keton
PES	: Polieter Sülfon
PET	: Polietilen Tereftalat
PFA	: Perfloro Alkoksi
PI	: Poliizopren
PMMA	: Polimetil Metakrilat
PMP	: Polimetilpenten

POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PPE	: Fenil Eter Polimerleri
PPP	: Poli (p-fenilen)
PPS	: Polifenilen Sülfid
PPSU	: Polifenilsülfon
PS	: Polistiren
PSU	: Polisülfon
PTFE	: Teflon
PUR	: Poliüretan
PVC	: Polivinil Klorür
PVDF	: Poliviniliden Florür
SAN	: Stiren Akrilonitril Reçinesi
TPE	: Termoplastik Elastomer

SEMBOLLER

Adj SS	: Düzeltilmiş Kareler Toplamı
Adj MS	: Düzeltilmiş Kareler Ortalaması
C	: Celsius
cm	: Santimetre
D	: Çap Ölçüsü
DF	: Serbestlik Derecesi
D_{uç}	: Uç Çapı
D_{mühre}	: Mühre Çapı
F	: F Değeri
g	: Gram
H₀	: Sıfır Hipotezi
H_{viskoz}	: Viskoz Isısı
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
mbar	: Milibar
mm	: Milimetre
mm-Hg	: Milimetre Civa
MPa	: Megapaskal
MS	: Kareler Ortalaması
nm	: Nanometre
P	: P Değeri
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
R²	: R-sq – Regresyon Katsayısı
R² (düz.)	: R-sq (adj) – Düzeltilmiş Regresyon Katsayısı
R² (tah.)	: R-sq (pred) – Tahmin Edilen Regresyon Katsayısı
S	: Standart Sapma
SE COEF	: Katsayının Standart Hatası
SS	: Karelerin Toplamı
T	: Sıcaklık
TM	: Ticari Marka

T_g	: Camısı Geçiş Sıcaklığı
T_m	: Erime Sıcaklığı
UL-94	: Plastik Malzemeler İçin Yanıcılık Testleri Standardı
VIF	: Varyans Enflasyon Faktörü
V-0	: Yanmanın 10 Saniye İçerisinde Kendiliğinden Durduğu Sınıf
α	: Anlamlılık Seviyesi
$\dot{\gamma}$	: Kayma Hızı
ΔH	: Erime Entalpisi
ΔH_m	: %100 Kristalin Yapıdaki Polimerin Erime Entalpisi
ΔH_n	: Numunenin Erime Entalpisi
η	: Viskozite



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Araç üretiminde kullanılan başlıca malzemelerin yıllara göre (%) oranları [4].	2
Çizelge 1.2 : Parça başına maliyet karşılaştırması [1].	3
Çizelge 1.3 : Araç üretiminde kullanılan plastik malzemeler ve araçtaki payları [4].	3
Çizelge 3.1 : PPS'in özellikleri [40].	15
Çizelge 3.2 : Kristalin ve amorf fazlar için FTIR pik değerleri [36].	17
Çizelge 3.3 : Kimyasal ortamların PPS üzerindeki etkisi [36].	18
Çizelge 3.4 : Plastik üretim yöntemlerinin karşılaştırılması [29].	19
Çizelge 4.1 : Tam faktöriyel deneysel tasarım tablosu.	38
Çizelge 5.1 : Kullanılan hammaddenin özellikleri.	43
Çizelge 5.2 : Deneysel tasarım parametreleri ve seviyeleri.	52
Çizelge 5.3 : 3 faktörlü ve 2 seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarım ve deneme indisleri.	52
Çizelge 6.1 : DSC analizi ile elde edilen entalpi sonuçları ve kristalinite oranları.	61
Çizelge 6.2 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – kristalinite oranı.	62
Çizelge 6.3 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – kristalinite oranı.	63
Çizelge 6.4 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar ve regresyon denklemi – kristalinite oranı.	63
Çizelge 6.5 : Testler sonucunda elde edilen patlama basıncı sonuçları.	67
Çizelge 6.6 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – sıcak patlatma basıncı.	67
Çizelge 6.7 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – sıcak patlatma basıncı.	68
Çizelge 6.8 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar ve regresyon denklemi – sıcak patlatma basıncı.	69
Çizelge 6.9 : Testler sonucunda elde edilen kopma uzaması sonuçları.	71
Çizelge 6.10 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – kopma uzaması.	72
Çizelge 6.11 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – kopma uzaması.	73
Çizelge 6.12 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar ve regresyon denklemi – kopma uzaması.	73



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : PA6 malzemesinden üretilen turbo borusu [5].	4
Şekil 1.2 : Volvo 4 silindirli motor soğutma sistemi borusu [9].	4
Şekil 2.1 : Motor soğutma sistemi [12].	6
Şekil 2.2 : Nissan 300ZX Z32 3.0 aracının alüminyum radyatörü [14].	7
Şekil 2.3 : Volkswagen radyatör fanı [15].	7
Şekil 2.4 : Termostat [17].	8
Şekil 2.5 : Mercedes C220 soğutma sıvısı pompası [20].	9
Şekil 2.6 : Mercedes C serisi taşıma kabı [21].	9
Şekil 2.7 : Soğutma sistemi hortumları ve boruları [23].	10
Şekil 3.1 : Plastik hammadde [27].	12
Şekil 3.2 : Termoplastik (a) ve termoset (b) plastiklerin molekül yapıları [31].	12
Şekil 3.3 : Amorf (a) ve yarı kristalin (b) yapılar [30].	13
Şekil 3.4 : Termoplastik polimerlerin sınıflandırılması [30].	14
Şekil 3.5 : PPS'in kimyasal formülü [38].	15
Şekil 3.6 : PPS'in üretimi [37].	16
Şekil 3.7 : PPS birim hücresi [35].	16
Şekil 3.8 : Plastik sektöründe yapılan makine ve teçhizat yatırımı (2018/6) [50].	19
Şekil 3.9 : Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen plastik parçalar [51].	20
Şekil 3.10 : Termoform işlemi [53].	21
Şekil 3.11 : Termoform işlemi sonrası plastik borular [54].	21
Şekil 3.12 : Şişirme yöntemiyle üretim [55].	22
Şekil 3.13 : Ekstrüzyon işlemi [30].	23
Şekil 3.14 : Ekstrüzyon hattı.	23
Şekil 3.15 : Ekstrüder [58].	24
Şekil 3.16 : Ekstrüder vidasının bölgeleri [59].	24
Şekil 3.17 : Hammaddenin erime işlemi [59].	25
Şekil 3.18 : Kovan sıcaklığının viskoz ısıya ve iletimli ısıya olan etkisi [59].	26
Şekil 3.19 : Ekstrüder kafası [56].	27
Şekil 3.20 : Uç ve mühre [59].	27
Şekil 3.21 : Kalibrasyon işlemi [59].	28
Şekil 3.22 : Soğutma havuzu [62].	30
Şekil 3.23 : Zumbach iki eksenli tarayıcı [63].	31
Şekil 3.24 : SEW markalama cihazı [64].	32
Şekil 3.25 : Gillard çekici ve Kesici cihazı [65].	33
Şekil 4.1 : Bir sistemin genel modeli.	35
Şekil 4.2 : Deneysel tasarımın aşamaları [67]	36
Şekil 5.1 : Üretim akışı.	44
Şekil 5.2 : Kurutma işlemi.	44
Şekil 5.3 : Ekstrüder besleme hunisi.	45
Şekil 5.4 : Ekstrüder vidasının besleme bölgesi.	45
Şekil 5.5 : Uç ve mühre ikilisi.	46

Şekil 5.6 : Borunun vakum havuzuna girişi.	46
Şekil 5.7 : Tüp kalibratör.....	47
Şekil 5.8 : Soğutma havuzu.	47
Şekil 5.9 : SIKORA x-ışını ölçüm cihazı (a) ve ölçüm işlemi (b).....	48
Şekil 5.10 : Kuartro-Plast çekici.	49
Şekil 5.11 : Kesme işlemi.....	49
Şekil 5.12 : Anlık takibi yapılabilen proses parametreleri	51
Şekil 5.13 : Test akış şeması.....	55
Şekil 5.14 : Termoform fırını.	55
Şekil 5.15 : TA Instruments DSC 250 cihazı.	56
Şekil 5.16 : Ottonom patlatma test cihazı.....	56
Şekil 5.17 : Zwick/Roell çekme test cihazı (a) ve eksenel çekme aparatı (b).	57
Şekil 5.18 : Yaşlandırmanın uygulanışı.	57
Şekil 5.19 : F (a) ve H (b) numune gruplarına ait ikinci dinamik DSC grafikleri.	58
Şekil 5.20 : Sıcak patlatma testinin uygulanışı.....	59
Şekil 5.21 : Çekme testinin uygulanışı.....	59
Şekil 6.1 : İlk analize göre pareto diyagramı – kristalinite oranı.....	62
Şekil 6.2 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – kristalinite oranı.	64
Şekil 6.3 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – kristalinite oranı.....	65
Şekil 6.4 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – kristalinite oranı.....	65
Şekil 6.5 : İlk analize göre pareto diyagramı – sıcak patlatma basıncı.....	68
Şekil 6.6 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – sıcak patlatma basıncı.....	69
Şekil 6.7 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – sıcak patlatma basıncı.	70
Şekil 6.8 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – sıcak patlatma basıncı.	70
Şekil 6.9 : İlk analize göre pareto diyagramı – kopma uzaması.....	72
Şekil 6.10 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – kopma uzaması.	74
Şekil 6.11 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – kopma uzaması.	74
Şekil 6.12 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – kopma uzaması.	75
Şekil A.1 : A numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.....	88
Şekil A.2 : B numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.	88
Şekil A.3 : C numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.	89
Şekil A.4 : D numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.....	89
Şekil A.5 : E numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.	90
Şekil A.6 : F numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.	90
Şekil A.7 : G numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.....	91
Şekil A.8 : H numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.....	91

MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) BORU ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Plastikler ve plastik kompozitleri, hafif olmaları, kolay işlenebilmeleri, ucuz olmaları ve geri dönüştürülebilir olmaları sebebiyle günümüzde en yaygın kullanılan malzemelerin başında gelmektedirler. Katı cisimler halinde şekillendirilebilirler ve sentetik ya da yarı sentetik olarak bulunabilirler. Günlük hayattan yüksek teknolojik sektörlere kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Sahip oldukları gelişmiş özellikler sayesinde seramik ve metal malzemelerin yerine tercih edilmektedirler. Ayrıca üretim maliyetlerinin düşük olması ve şekillendirme kabiliyetlerinin yüksek olması da plastikleri diğer malzemelere göre öne çıkarmaktadır.

Plastikler kimyasal yapılarına ve sıcaklık davranışlarına göre termosetler ve termoplastikler olarak ikiye ayrılırlar. Termosetler belli bir sıcaklığın üzerinde kimyasal bir reaksiyona girerek çapraz bağ oluştururlar. Çapraz bağlanma termosetlerin deformasyona karşı dirençli olmasına sebebiyet veren ve tersine çevrilemeyen bir işlemdir. Termoplastikler ise çapraz bağ yapısına sahip değildirler. Sahip oldukları zayıf bağlar sıcaklık etkisiyle birlikte yumuşamalarına ve erimelerine yol açar. Soğutulduklarında ise bu bağlar tekrar oluşurlar. Bu özellikleri sayesinde termoplastikler defalarca şekillendirilebilirler ve en önemlisi de geri dönüştürülebilirler. Termoplastikler, şekillendirme kabiliyetlerinin yüksek olması, seri üretime daha uygun olmaları ve geri dönüştürülebilir olmaları sebebiyle birçok sektörün ileri endüstriyel uygulamalarında termosetlere kıyasla daha çok kullanılırlar. Enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme gibi birden çok prosesle üretilebilirler. Üretim işlemleri sırasında herhangi bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmediği için diğer tip polimerlere göre daha kısa işlem sürelerine sahiptirler.

Termoplastikler, yapılarındaki molekül zincirlerinin karışık yapısı ve kristalizasyon işleminin zor gerçekleşmesi sebebiyle hiçbir zaman tamamen kristalin yapıya sahip olamazlar. Tamamen amorf bir yapıya sahip olabilecekleri gibi hem amorf hem de kristalin faz içeren bir yarı kristalin yapıya da sahip olabilirler. Yarı kristalin polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, yapının kristalinite oranıyla doğrudan alakalıdır. Plastiklerin kristalinite oranının artmasıyla birlikte, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kimyasal direnci gibi özelliklerinde de artış yaşanmaktadır. Kopma uzamasında ise bir azalma meydana gelmektedir. Plastik yapının kristalinite oranı ise üretim prosesi ile doğrudan alakalıdır.

Termoplastikler termal kararlılıklarına göre standart plastikler, mühendislik plastikleri ve yüksek performans plastikleri olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Standart plastiklerden yüksek performans plastiklerine doğru gidildikçe plastiklerin uzun dönem çalışma sıcaklıklarında bir artış görülmektedir. Bununla birlikte maliyetlerinde de bir artış görülmektedir. Polifenilen Sülfite yarı kristalin yapıya sahip olan ve yüksek performans plastiği grubuna giren bir termoplastik polimerdir. Yüksek sıcaklık

dayanımı, yüksek kimyasal direnci ve yüksek mekanik dayanımı sayesinde zorlu ortamlarda çalışmaya uygun bir malzemedir. 200 °C uzun dönem çalışma sıcaklığına sahip olması, düşük yoğunluğu ve oda sıcaklığında çözücüsü olmaması sebebiyle otomotiv sektörü için vazgeçilmez bir malzemedir. Motor yağları, yakıtlar, motor soğutma sıvısı gibi çevresel etkilere karşı yüksek bir dirence sahip olması sebebiyle kaput altı uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Soğutma sistemleri, turbo sistemleri ve egzoz sistemleri bu uygulamalardan bazılarıdır.

Bir aracın yolda hareket etmesini sağlayan şey araç motorunun sistemdeki yakıtı tutuşturarak, ortaya hareket enerjisine dönüştürülebilen bir enerji çıkarmasıdır. Bu dönüşüm sırasında ortaya çıkan sıcaklıkları kontrol etmek ve aracın motorunun zarar görmesinin önüne geçmek için motorun verimli bir şekilde soğutulması gerekir. Motorun soğutulması motor soğutma sisteminin görevidir. Temel olarak pompa, radyatör, fan, termostat ve baypas valfinden oluşan motor soğutma sistemi basit bir çalışma prensibine sahiptir. Soğutma sıvısının motorun sıcak bölgelerine ulaşması ve bu bölgelerde enerji transferi gerçekleştirilerek motoru soğutması beklenir. Motoru soğutarak ısınan sıvı, radyatöre gelerek hava akımıyla birlikte soğur ve tekrar sistem içerisine pompalanır.

Soğutma sisteminin bileşenlerini birbirine bağlayan ve soğutma sıvısının sistem içerisinde taşınmasını sağlayan ara elemanlar ise kauçuk hortumlar ve plastik borulardır. Bu elemanlar sistem içerisinde bulunan basınca karşı, motor sıcaklığına karşı ve motorun titreşim hareketlerine karşı dirençli olmak zorundadırlar. Aksi takdirde soğutma sıvısı sistem bileşenlerine transfer edilemez ve motor zarar görür.

Motor soğutma sistemlerinde kullanılan boruların şekillendirilmesi genellikle ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Ekstrüzyon prosesi hortum, boru, tüp gibi belli bir et kalınlığına sahip içi boş ürünleri elde etmek için kullanılan bir sürekli üretim metodudur. Hammaddenin toz veya granül olarak girdiği, dış çapı ve et kalınlığı belli bir ürün olarak çıktığı bir yapıya sahiptir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle ekstrüzyon yöntemiyle 8 mm dış çap ve 1 mm et kalınlığı ölçülerine sahip PPS boru üretilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasında kullanılan uç-mühre ikilisinden; uç 8 mm çap ölçüsüne, mühre ise 12 mm çap ölçüsüne sahiptir. Kullanılan kalibre ise 8,35 mm çap ölçüsüne sahiptir. Boru üretimi 275 °C ekstrüder sıcaklığı, 72 devir/dakika vida hızı, (-40 mm-Hg) vakum ve 15 metre/dakika hat hızı değerleri ile gerçekleştirilmiştir.

Ekstrüzyon prosesinde hat hızı, vakum, malzeme sıcaklığı, vida hızı, vida geometrisi ve vida basıncı gibi parametreler ürün kalitesini belirleyici parametrelerdir. Bu parametrelerin ekstrüzyon prosesine ve ortaya çıkan ürünün kalitesine olan etkileri birçok kez literatüre konu olmuştur. Teklas plastik ekstrüzyon üretim hattında ise kontrol edilebilen parametreler vida hızı, hat hızı, sıcaklık ve vakum parametreleridir. Bu parametrelerin arasından sıcaklık, hat hızı ve vakum parametreleri üretim hattının optimizasyonu için test edilecek faktörler olarak belirlenmiş ve bu parametrelerdeki değişimlerin ürünün performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu inceleme için de 'söz konusu parametrelerin ürün performansına etkisi yoktur' hipotezi, H_0 hipotezi olarak kabul edilmiştir.

Belirlenen faktörlerdeki değişimin ürün performansı üzerindeki etkilerini test edebilmek için tam faktöriyel deneysel tasarım metodu uygulanmıştır. Bu tasarımla birlikte her bir faktörün bir düşük ve bir yüksek seviyesi ele alınmıştır. Seviyeler sıcaklık parametresi için 275 ve 285 °C, hat hızı parametresi için 13 ve 15 metre/dakika ve vakum parametresi için de (-40) ve (-55) mm-Hg olarak belirlenmiştir.

Deneysel tasarım için 3 faktör ve 2 seviye ile 8 (2^3) farklı deney grubu belirlenmiştir. Bu deney grupları farklı harflere sahip olan deneme indisleriyle kodlanmışlardır. Borular deneme indislerince belirlenen proses parametrelerine ve seviyelerine göre üretilmiştir. Daha sonra her bir deneme üretiminden numune borular alınmış ve bu borulara DSC analizi, sıcak patlatma testi ve çekme testleri yapılmıştır. Testler sonucunda ortaya çıkan sonuçlar Minitab 18 programı ile analiz edilmiş ve sonuçların değişen faktörlerle olan ilişkileri ortaya konulmuştur.

DSC analiziyle birlikte numunelerin erime entalpi değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin malzemenin entalpi değerine oranıyla birlikte numunelerin kristalinite oranları bulunmuştur. Bulunan kristalinite oranları analiz edilmiştir ve parametrelerin kristaliniteye olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kristaliniteye en çok etki eden tekil etkinin Hat Hızı faktörü olduğu görülmüştür. Hat Hızı parametresindeki artış numunenin kristalinite oranını düşürmüş, yani kristaliniteye negatif bir etki yapmıştır. Hat Hızı parametresinde yaşanan artışın malzemenin kayma süresini düşürdüğü, dolayısıyla kristalin yapıların oluşmasının güçleştiği sonucuna varılmıştır. Kristalin yapıyı oluşturmakta zorlanan yapıların daha çok amorf yapıya sahip olduğu ve kristalinite oranlarının düştüğü sonucuna varılmıştır.

Sıcak patlatma testi ile numunelerin basınca ve sıcaklığa karşı dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve parametrelerin değişiminin patlatma testi sonucuna olan etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucuna göre Hat Hızı parametresinin tekil olarak patlatma basıncı değerini en çok etkileyen faktör olduğu ortaya konulmuştur. Bu parametrenin patlatma basıncı değerlerine negatif bir etkisi olduğu ve parametredeki artışın patlatma basınç değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Hat Hızı parametresinde yaşanan artışın kalibrasyon işlemini zorlaştırdığı, boruda oluşan stresi arttırdığı ve dolayısıyla bölgesel zayıflıklara yol açtığı sonucuna varılmıştır. Bölgesel zayıflamalar neticesinde borunun basına karşı direncinin düştüğü sonucuna varılmıştır.

Çekme testi ile birlikte numunelerin kopma uzaması değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar analiz edilmiş ve parametrelerdeki değişimin kopma uzaması sonuçlarına olan etkileri incelenmiştir. Analiz sonucunda Vakum ve Sıcaklık parametrelerinin kopma uzaması değerlerini en çok etkileyen parametreler oldukları belirlenmiştir. İki parametrenin de kopma uzaması değerlerine negatif etkilerinin olduğu görülmüştür. Vakum parametresindeki artışın moleküler yönelmeyi arttırdığı ve böylece kopma uzaması değerlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Sıcaklık parametresindeki artışın ise borunun dış ve iç yüzeylerindeki soğuma hızlarındaki farkı arttırdığı ve böylece termal gerilmelere yol açtığı sonucuna varılmıştır. Termal gerilmeler neticesinde de moleküler yönelmelerin arttığı ve kopma uzaması değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır.



PRODUCTION OF POLYPHENYLENE SULFIDE (PPS) PIPES BY EXTRUSION FOR ENGINE COOLING SYSTEMS AND OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS

SUMMARY

Plastics and its composites are among the most widely used materials due to their lightweight, easy processability, cheapness and recyclability. They can be shaped into solid forms and can be synthetic or semi-synthetic. They have a wide range of applications from daily life to high technology. They are preferred to ceramic and metallic materials due to their advanced features. In addition, low production costs and high shaping capabilities makes plastics preferable to other materials.

Plastics are divided into two subcategories according to their chemical structure and temperature behaviour; thermosets and thermoplastics. Thermosets goes under a chemical reaction above a certain temperature and forms crosslinks. Crosslinking is a process that causes thermosets to resist deformation and this process can not be undone. On the other hand, thermoplastics do not have a crosslink structure. Their weak bonds lead them to soft and melt with the effect of temperature and these bonds can be formed again when they cooled. Because of these properties, thermoplastics can be shaped many times and can be recycled. Thermoplastics are more suitable for mass production than thermosets, because of their high forming ability and recyclability. They can be produced by multiple processes such as injection molding, blow molding and extrusion. Since there is no chemical reaction during the production processes, they have shorter processing times than thermosets.

Thermoplastics can never have completely crystalline structure due to their complicated molecule chains in their structure and difficult crystallization process. They can have a completely amorphous structure, as well as a semi-crystalline structure which contains both amorphous and crystalline phases. The chemical and physical properties of semi-crystalline polymers are directly related to the crystallinity ratio of their structures. With the increase of the crystallinity ratio of plastics, properties such as tensile strength, yield strength and chemical resistance also increases. On the other hand, elongation at break values decreases. And crystallinity ratio of the structure is directly related with production processes of the plastic.

Thermoplastics can be divided into three groups as standard plastics, engineering plastics and high-performance plastics according to their thermal stability. Long-term operating temperatures of high-performance plastics are higher than standard plastics and engineering plastics. However, their costs are also higher than others. Polyphenylene sulphide is a high-performance thermoplastic which has a semi-crystalline structure. It is a suitable material for working in harsh environments due to its high temperature resistance, high chemical resistance and high mechanical strength. It is an indispensable material for the automotive industry due to its long-term operating temperature of 200 °C and its low density. Due to its high resistance to environmental influences such as engine oils, fuels and engine coolants, it has a wide

usage in under hood applications. Cooling systems, turbo systems and exhaust systems are some examples of these applications.

What makes a vehicle move on the road is the vehicle engine which ignites the fuel in the system, producing an energy that can be converted into motion energy. The engine must be cooled down efficiently to control the temperatures that arise during this conversion, otherwise it can be damaged. Cooling system is the system which cools down the engine safely. The engine cooling system which mainly consists of a pump, a radiator, a fan, a thermostat and a bypass valve, has a simple working principle. It is expected that the coolant reaches the hot spots of the engine and cools the engine by transferring energy from these regions. The heated liquid goes to the radiator and cools down with the air flow and pumped back into the system.

Plastic pipes and rubber hoses are the connection elements which connects the components of the cooling system and allow the coolant to be carried in the system. These connection elements must be resistant to pressure, temperature and vibration of the engine. Otherwise, the coolant can not be carried within the system and the engine can be damaged.

The pipes which used in the engine cooling systems is generally shaped by the extrusion. Extrusion is a continuous production method to obtain hollow products with a certain wall thickness value such as hose, pipe and tube. It has a different system where the raw material goes into the system as a powder or granule and goes out as finished product which has a certain outer diameter and wall thickness values.

In this study, firstly PPS pipe with 8 mm outer diameter and 1 mm wall thickness was produced by extrusion. For this production, pin with 8 mm diameter, die with 12 mm diameter and calibrator with 8,35 mm diameter were used. The production was performed with 275 °C extruder temperature, 72 rpm screw speed, (-40) mm-Hg vacuum and 15 meters/minute line speed.

In the extrusion process, parameters such as line speed, vacuum, material temperature, screw speed, screw geometry and screw pressure are the parameters that determine the product quality. The effects of these parameters on the extrusion process and the quality of the finished product have been subject to the literature many times. In the Teklas plastic extrusion production line, the parameters that can be controlled are screw speed, line speed, temperature and vacuum parameters. Among these parameters, temperature, line speed and vacuum parameters were determined as the factors to be tested for optimization of the production line, also the effects of changes in these parameters on the performance of the products were examined. For this study, “the parameters in question have no effect on performance of finished product” was accepted as the H_0 hypothesis.

In order to test the effects of the change in the factors on the product performance, a full factorial experimental design method was applied. With this experimental design, a low and a high level of each factor has been considered. Levels are determined as 275 and 285 °C for temperature parameter, 13 and 15 meters/minute for line speed parameter and (-40) and (-55) mm-Hg for vacuum parameter.

For the experimental design, 8 (2^3) different test groups were determined with 3 factors and 2 levels. Each of these test groups are named with different letters. Pipes are produced according to the process parameters and levels determined by the test groups. Then, sample pipes were taken from each trial production and DSC analysis, hot bursting test and tensile tests were performed on these pipes. The test results were

analyzed with the Minitab 18 program and the relationships of the results with the changing factors were examined.

Melting enthalpy values of the samples were obtained with DSC analysis. By dividing these values into the enthalpy value of the material, the crystallinity ratios of the samples were found. The crystallinity ratios which found were analyzed and the effects of the parameters on the crystallinity were examined. According to the results obtained, it was observed that the single effect that had the greatest impact on crystalline was the Line Speed factor. The increase in the Line Speed parameter decreased the crystallinity ratio of the sample, i.e. it had a negative effect on the crystallinity. It was concluded that the increase in the Line Speed parameter decreases the shear time of the material and thus, it becomes more difficult to form crystalline structures in the samples. It was concluded that the structures that have difficulties in forming the crystalline structure have more amorphous structure and the crystallinity ratios decrease.

Resistance of samples to pressure and temperature were measured by hot bursting test. The results which obtained were analyzed and the effects of the change of parameters on the bursting test result were examined. According to the analysis result, it was revealed that the Line Speed parameter is the most affective factor for the burst pressure values. It was observed that this parameter had a negative effect on the bursting pressure values and the increase in the parameter decreased the bursting pressure values. It was concluded that the increase in the Line Speed parameter complicates the calibration process, increases the stress on the pipe and causes to regional weaknesses. As a result of regional weakening, the pipe's resistance to the pressure is decrease.

With the tensile test, the elongation at break values of the samples were measured. The results are analyzed and the effects of change in parameters on the results of elongation at break were examined. As a result of the analysis, it has been determined that Vacuum and Temperature parameters are the parameters that affect the elongation at break values the most. It was observed that both parameters had negative effects on elongation at break values. It was concluded that the increase in the vacuum parameter increases the molecular orientation and thus reduces the values of elongation at break. It was concluded that the increase in the temperature parameter is increase the difference in cooling speeds on the outer and inner surfaces of the pipe, thus causing thermal stresses. As a result of thermal stresses, it was concuded that the molecular orientations increase and the values of elongation at break decrease.



1. GİRİŞ

Otomotiv üreticileri, metalik malzemelerin daha dayanıklı olması sebebiyle Henry Ford'un Model-T zamanından bu yana otomotiv yapımında metalleri kullanmışlardır. Öncelikli değişimler otomobilin iç kısımlarında ve gövde parçalarında gerçekleşmeye başlasa da motor ve şanzıman bileşenleri gibi kaput altı uygulamalarda ise bazı termoset esaslı polimer malzemeler hariç metal kullanımına uzun süre devam edilmiştir [1].

Daha sonraları malzeme üreticileri, uygun bir tasarımla birçok metalik parçanın önemli bir ağırlık ve maliyet tasarrufu sağlayarak polimer esaslı malzemelere dönüştürülebileceğini ortaya koymuşlardır [2, 3]. Böylece otomotiv uygulamaları için birçok alternatif polimer esaslı malzeme geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde ise hem malzeme hem de proses teknolojilerinin gelişmesi sonucunda, otomotiv endüstrisinde pahalı, ağır ve uğraş verici metalik malzemelerin yerini verimli ve uygun maliyetli mühendislik plastikleri almaya başlamıştır.

Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere 2017 yılındaki verilere göre bir aracın net ağırlığının ortalama %53'ü çeliklerden, %16,9'u çelik dışındaki metallerden oluşmuştur. 2010 yılındaki verilere göre bir araçta kullanım oranı %9,9 olan mühendislik plastiklerinin 2017 yılında %12,7'ye, %5,4 olan kauçuğun ise %7,2'ye çıktığı görülmektedir. 2016 yılına kıyasla ise mühendislik plastikleri oranı %0,5, kauçuk payı da %0,3 artmıştır. 2020 yılında ise 2016 yılına kıyasla çeliklerin payının %0,5 ve çelik dışı metallerin payının %0,1 düşeceği, buna karşılık mühendislik plastiklerinin payının %1,8 ve kauçuğun payının %1,2 artacağı ön görülmüştür [4]. Bu da araçlarda kullanılan mühendislik plastiklerinin ve kauçuk malzeme oranının her geçen yıl arttığını göstermektedir.

Çizelge 1.1 : Araç üretiminde kullanılan başlıca malzemelerin yıllara göre (%) oranları [4].

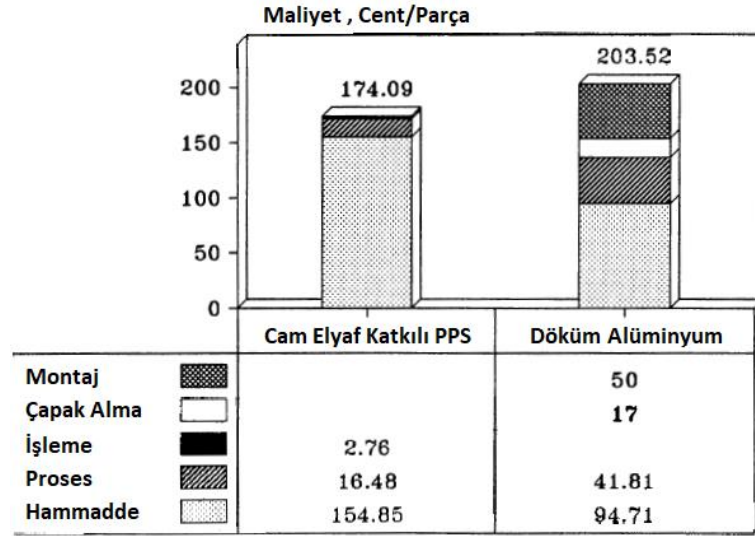
Malzeme	2012	2016	2017	2020 (T)
Çelik	53,8	53,1	53,0	52,6
Çelik Dışındaki Metaller	17,5	16,9	16,9	16,8
Mühendislik Plastikleri	10,6	12,2	12,7	14,0
Kauçuk	5,9	6,9	7,2	8,1

Plastic Design Forum dergisi 1990 yılında 300 adet tasarım mühendisinin katılımıyla gerçekleştirdiği bir ankette, mühendislik plastiklerinin kullanımının endüstride artmasının ana gerekçelerini sorgulamıştır. Katılımcılar ise hafiflik, uygun maliyet, korozyon direnci, üretim kolaylığı, yüksek sıcaklık direnci, düşük hurda oranı ve geri dönüştürülebilirlik gibi özelliklerin bu malzeme grubunu avantajlı kıldıklarını belirtmişlerdir [1].

Mühendislik plastikleri uygulamaya bağlı olmakla birlikte metallere oranla %20-30 daha hafiftirler [2]. Bu sebeple ağırlık ve yakıt tasarrufu konusunda çok hassas olan otomotiv üreticilerince daha çok tercih edilirler. Mühendislik plastikleri olmasaydı bugünün modern otomobillerinin en az 200 kilogram daha ağır olacağı ve buna bağlı olarak da yakıt tüketiminin daha fazla olacağı belirtilmiştir. Diğer tüm faktörlerin etkisiz sayıldığı bir hesaplamada, bir otomobilin yakıt tüketimi plastik kullanımı sayesinde 150.000 kilometrede 750 litre civarında azalmaktadır. Bu da Batı Avrupa’da petrol tüketiminin yıllık bazda 12 milyon ton azalması anlamına gelmektedir [4].

Mühendislik plastiklerinin üretim ve enerji maliyetleri metallere oranla %20-40 daha düşüktür. Özellikle termoplastikler, şekilleri ne kadar karmaşık olursa olsun kalıplama yöntemi ile bitmiş ürün haline getirilebilirler. Bu yöntem ile birlikte hem delik delme gibi ikincil işlemler ortadan kalkar hem de işlem sırasında ortaya çok az hurda çıkar [1]. Örneğin; Çizelge 1.2’de döküm alüminyum ile cam fiber takviyeli polifenilen sülfid (PPS) malzemelerinin parça başına maliyetleri gösterilmiştir. Yüksek performans plastiklerinden biri olan PPS’in, hammadde fiyatı çok daha yüksek olsa da proses kolaylığı ve ikincil işleminin olmaması sebebiyle toplam parça maliyeti daha düşüktür.

Çizelge 1.2 : Parça başına maliyet karşılaştırması [1].



Mühendislik plastiklerini korozyon direncine sahip olmaları sebebiyle zorlu çevresel şartlarda bile en iyi şekilde çalışırlar. Hatta bu dirençleri sayesinde otomobillerin ortalama ömrünü 12 yıldan fazla uzattıkları saptanmıştır [4].

Çizelge 1.3'te de görüldüğü üzere mühendislik plastikleri aracın birçok kısmında kullanılmaktadır. Yolcu bölümü başta olmak üzere, kontrol panellerinde, tampon sistemlerinde, çamurluklarda ve yakıt depolama sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

Çizelge 1.3 : Araç üretiminde kullanılan plastik malzemeler ve araçtaki payları [4].

Kullanım Yerleri	Araçtaki Payı (%)	Kullanılan Plastik
Tamponlar	9,5	PP, ABS, PC
Koltuklar	12,4	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Ön Konsol	6,7	PP, ABS, PA, PC, PE
Yakıt Sistemleri	5,7	PE, POM, PA, PP
Şasi	5,7	
Kaput Altı	8,6	PA, PP, PBT
İç Giydirme	19,0	PP, ABS, PET, POM, PVC
Elektrikli Parçalar	6,7	PP, PE, PBT, PA, PVC
Dış Aksam	3,8	ABS, PA, ASA, PP
Aydınlatma	4,8	PP, PC, ABS, PMMA
Döşeme	7,6	PVC, PUR, PP, PE
Sıvı Tanklar	1,0	PP, PE, PA
Diğerleri	8,6	
Toplam	100,0	

Mühendislik plastikleri son yıllarda yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren kaput altı uygulamalarda da sıklıkla tercih edilmektedirler. Turbo sistemlerinde turbo borusu, motor soğutma sistemlerinde soğutma hattı borusu, ısıtma hatlarında ise ısıtma hattı borusu olarak kullanılmaktadırlar. Bu parçalar ağırlık kazanımının yanı sıra aracın gürültü seviyelerinin azaltılmasında da büyük bir rol oynamaktadırlar.



Şekil 1.1 : PA6 malzemesinden üretilen turbo borusu [5].

Soğutma hattı boruları, soğutma sıvısının sistem içerisindeki sirkülasyonunu sağlamakla görevlidirler. Bu sistemde kullanılan borular, hem motorun çalışmasıyla birlikte ortaya çıkan yüksek sıcaklıklara hem de soğutma sıvısının pompalanmasıyla ortaya çıkan yüksek basınçlara karşı dayanıklı olmalıdırlar. Bunların yanı sıra dış yüzeylerine temas edebilecek kimyasallara karşı da dirençli olmalıdırlar.

Polifenilen sülfid yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek kimyasal direncine sahip olmasıyla bilinen bir mühendislik plastiğidir. 200° C'ye varan uzun dönem çalışma sıcaklığı sayesinde güçlü motorlara sahip olan araçların soğutma sistemleri için ideal bir malzemedir [2, 6, 7]. Ayrıca motor yağı, vites yağı, motor soğutma sıvısı gibi kaput altı sıvılarına karşı olan direnci PPS'i soğutma sistemleri için öne çıkan bir malzeme haline getirmektedir [8].



Şekil 1.2 : Volvo 4 silindirli motor soğutma sistemi borusu [9].

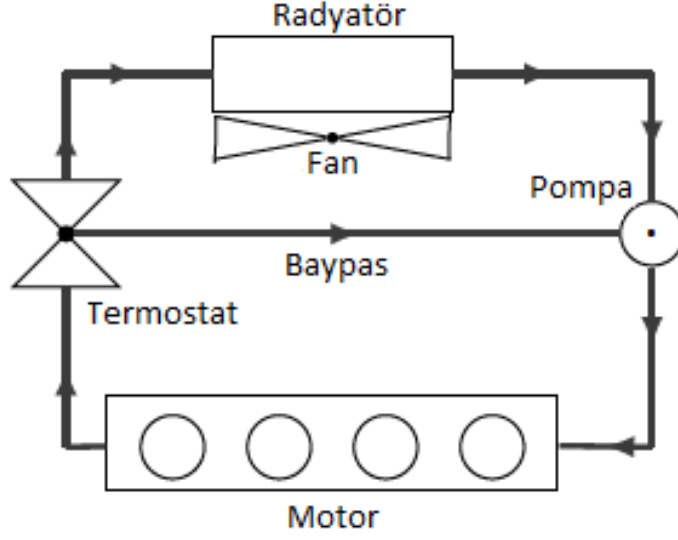
2. MOTOR SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Otoyolda saatte 80 km hız ile seyreden klasik bir 4 silindirli aracın bujileri, silindirlerdeki yakıtı tutuşturmak ve aracın hareketini sağlamak için dakikada 4000 adet kontrollü patlama gerçekleştirir [10]. Bu patlamalar sonucunda ortaya çıkacak olan yüksek miktardaki ısı eğer kontrol altına alınamazsa motora zarar verir. Ortaya çıkan yüksek sıcaklıkları kontrol altına almak ve motorun zarar görmesini engellemek soğutma sisteminin birincil görevidir.

Motorun maksimum çalışma sıcaklığının üzerinde çalışması motor yağının kolayca oksitlenmesine ve yağın vizkozitesinin azalmasına yol açar. Bunun sonucunda da motor yüksek sürtünme ve aşınmaya maruz kalır. Yağ tüketimi artar ve motorun beygir gücü azalır [11].

Motoru soğutmanın yanı sıra, motoru verimli çalışabileceği sıcaklıkta tutmak da soğutma sisteminin görevlerinden biridir. Motorun minimum çalışma sıcaklığının altında çalışması, sistemin yakıt karışımını düzgün bir şekilde buharlaştırmak için yeterli ısı bulamamasına sebep olur. Böylece sistem tatmin edici bir performans sağlayabilmek için aşırı yakıt tüketimine başlar. Aşırı yakıt tüketimi sistemde yanmamış yakıtların birikmesi ihtimalini de arttırır. Bu yanmamış yakıtlar zamanla motor yağının seyrelmesine, motorun ve soğutma sisteminin oksidasyonuna ve korozyonuna yol açar [11].

Geleneksel bir motor soğutma sistemi başlıca; bir pompa, bir radyatör-fan ünitesi, bir termostat ve bir mekanik baypas valfinden oluşur [12] (Şekil 2.1). Sistemde bunlara ek olarak taşıma kabı ve basınç kapağı, soğutma sıvısı, soğutma sıvısının sistemde taşınmasını sağlayan hortumlar ve borular gibi elemanlar da bulunur.



Şekil 2.1 : Motor soğutma sistemi [12].

Soğutma sistemi motorun çalıştığı andan itibaren aktif hale gelir ve sistem içerisinde bulunan soğutma sıvısı motora pompalanır. Soğutma sıvısı motorun su ceketlerinden geçerek termostata ulaşır. Eğer motor yeterince sıcak değilse, soğutma sıvısı ısınmadığı için termostatta bulunan valf kapalı kalır ve sıvı baypas hattıyla tekrar pompaya ulaşır. Ancak motor sıcak ise ortamdaki ısının bir kısmı su ceketlerinden geçen soğutma sıvısına transfer olur. Bu ısıyla birlikte ısınan sıvı, termostata geldiğinde valfi aktive eder ve böylece baypas hattı kapanır. Sıvı, baypas hattı kapandığı için radyatöre ulaşır ve burada dışarıdan gelen hava akışıyla birlikte soğur. Soğuyan sıvı pompa aracılığıyla tekrar motora gönderilir ve motorun soğuması için bu işlem adımları sürekli olarak tekrarlanır.

Radyatör, sistemde bulunan termal enerjinin çoğunu soğutma sıvısından havaya aktardığı için motor soğutma sistemindeki en önemli eleman olarak kabul edilir. Sıcak soğutma suyu radyatöre girer ve dışarıdan gelen hava akışıyla beraber soğur. Radyatörden çıkan soğutma suyu tekrar sisteme geri pompalanır.

Radyatör genellikle dış yüzeyinde çok sayıda kanatçık bulunan düzleştirilmiş alüminyum veya pirinç borulardan yapılır. Bu kanatçıklar borulardaki ısıyı hava akımına aktararak, ısının araçtan taşınmasını sağlarlar [13]. Pirince göre daha hafif olması ve üretiminin daha kolay olması sebebiyle, modern araçlarda radyatör malzemesi olarak alüminyum tercih edilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Nissan 300ZX Z32 3.0 aracının alüminyum radyatörü [14].

Radyatör fanları, radyatörün hemen arkasında bulunan bir diğer önemli soğutma elemanıdır (Şekil 2.3). Araç normal şartlarda çalışırken fanlara çok fazla ihtiyaç duyulmaz. Ancak araç düşük hızlarda seyrederken ya da rölantide çalışırken radyatör yoğun bir hava akışına maruz kalmaz. Bu durumda hava akışının radyatörden geçmesini sağlamak fanların görevidir. Böylece sistem düzgün bir şekilde soğutularak motorun zarar görmesi engellenmiş olur.

Eski tip fanlar bir kayış yardımıyla sisteme bağlı halde bulunur. Motor çalıştıkça fan da çalışır. Ancak yeni tip elektrikli fanlar doğrudan araç bilgisayarınca kontrol edilir. Fanın çalışıp çalışmayacağını motorun sıcaklığını kontrol eden sıcaklık sensörleri belirler.



Şekil 2.3 : Volkswagen radyatör fanı [15].

Termostat soğutma sıvısının sıcaklığını ölçen ve buna göre hareket eden bir valftir (Şekil 2.4).

Kullanılan en yaygın termostat tipi katı/sıvı faz balmumu aktüatördür. Bu tür termostatlarda pirinç mahfaza doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar alabilmek için ısıyla genleşebilen balmumu malzemesiyle doldurulur [16]. Soğutma suyunun sıcak olduğu durumlarda balmumu malzemesi erir ve genişir. Böylece piston hareket ederek valf açılmış olur. Valf açıldığı zaman soğutma sıvısı radyatöre gider.

Soğutma sıvısının sıcaklığı düştüğü zaman ise balmumu büzülür. Balmumunun büzülmesi sonucunda piston geri döner ve valf kapanır. Valf kapandığı zaman sıvının radyatöre akışı engellenir ve doğrudan motora dönmesini sağlayacak olan bir baypas sistemine yönlendirilir.



Şekil 2.4 : Termostat [17].

Soğutma suyu pompası (Şekil 2.5), soğutma suyunu motor soğutma sisteminde dolaştırmakla görevlidir. Pompa kayışlı bir mekanizma vasıtasıyla doğrudan motora bağlıdır [18]. Bu yüzden pompa, aracın motoru çalıştığı sürece çalışır.

Soğutma sıvısı pompası sistemde çok kritik bir rol oynar. Çünkü pompa, soğutma sıvısının gerekli debi ile soğutma sisteminde ve motorda dolaşmasını sağlayan parçadır [19]. Dolayısıyla pompayı tanımlayan en önemli parametre soğutma sıvısını sisteme pompalama hızıdır.



Şekil 2.5 : Mercedes C220 soğutma sıvısı pompası [20].

Taşıma kabı (Şekil 2.6), soğutma sisteminde ve motorda oluşan hava kabarcıklarını ve ısındıkça genişleyen soğutma sıvısını tahliye etmeye yarar. Eğer bu hava kabarcıkları ve sisteme karışan yanma gazları tahliye edilmezse, soğutma sıvısı ile yanma duvarı arasında izolasyon malzemesi gibi davranarak motorun ısısının soğutma sıvısına aktarılmasına engel olurlar [19].

Soğutma sıvısı ısındıkça genişler ve kapalı sistem içerisinde gerçekleşen bu genişleme sonucunda sistemin basıncında bir artış meydana gelir. Basınç kapağı, soğutma sistemindeki basıncı belirli limitler içerisinde tutmaya yarayan basit bir bileşendir. Eğer sistemdeki basınç limitlerin üzerinde bir artış gösterirse, basınç kapağı yaylı bir valf aracılığıyla hareket ederek sistemdeki basıncın boşaltılmasını sağlar.



Şekil 2.6 : Mercedes C serisi taşıma kabı [21].

Büyük çoğunluğu etilen glikol bazlı olan soğutma sıvılarının öncelikli işlevi, motorun sıcaklığını kontrol altında tutarak ve aracın verimli şekilde çalışmasını sağlamaktır. Bu işlevinin yanı sıra soğutma sıvıları, motora ve soğutma sisteminin bileşenlerine zarar

vermeyecek bir kimyasal ve fiziksel yapıya sahip olmalıdır. Ayrıca akışkanlıkları, yoğunlukları, parlama noktaları ve donma noktaları gibi özellikleri de ayırt edici özelliklerindendir.

Soğutma sıvısı olarak önceleri su kullanıldıysa da buharlaşma sıcaklığının düşük olması sebebiyle bu uygulamalar uzun sürmemiştir. Etilen glikolün soğutma sıvısı olarak kullanılma fikri ise Birinci Dünya Savaşı yıllarında, Almanya’da alkolden sentezlenebildikten sonra ortaya çıkmaya başlamış ve ilk kez 1916 yılında İngiltere’de yüksek performanslı askeri uçak motorlarında uygulamaya konulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri’nde ise ilk deneysel uygulamalar 1923 yılında gerçekleşmiştir [22]. Günümüzde ise soğutma sıvısı olarak genellikle su-etilen glikol karışımları kullanılır.

Kauçuk hortumlar ve plastik borular, soğutma sisteminin elemanlarını birbirlerine bağlar ve soğutma sıvısının bu bileşenler arasında taşınmasını sağlarlar (Şekil 2.7). Genellikle radyatör giriş ve çıkışlarında kauçuk hortumlar yer alırken, taşıma kabı giriş ve çıkışlarında ise plastik borular yer alırlar.



Şekil 2.7 : Soğutma sistemi hortumları ve boruları [23].

Bu hortumlar ve borular; soğutma sisteminin basıncına, motorun çalışması sebebiyle ortaya çıkan sıcaklığa, içlerinde daima dolaşan soğutma sıvısının kimyasal yapısına ve motorun hareketi sebebiyle oluşan titreşim kuvvetlerine dayanacak şekilde tasarlanmalı ve üretilmelidir. Aksi halde soğutma sıvısı sistem içerisinde dolaşamaz ve ısınan motoru soğutamaz. Bunun sonucunda motorda ve araçta ciddi problemler ortaya çıkabilir.

3. POLİFENİLEN SÜLFİT (PPS) VE EKSTRÜZYON YÖNTEMİYLE ŞEKİLLENDİRME

3.1 Polifenilen Sülfid (PPS)

Plastikler katı nesneler halinde şekillendirilebilen sentetik ya da yarı sentetik malzemelerdir (Şekil 3.1). Günlük hayatta ve endüstride çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler ve düşük maliyetlerle üretilebilirler. Plastikler, genellikle yüksek moleküler kütleye sahip olan ve içerisinde katkı malzemeleri bulunan organik polimerlerdir.

Plastik ve polimer kavramları sıklıkla aynı iki kavram gibi ele alınırlar, ancak aralarında ciddi bir fark bulunmaktadır. Polimer terimi polimerizasyon işleminin sonucunda ortaya çıkan, bir veya daha fazla atom türünün ya da atom gruplarının birbirine bağlı olduğu bir uzun zincir yapısına sahip olan malzeme ailesinin -kauçuk da dahil- tamamını ifade etmek için kullanılır. Polimerler nadir olarak saf halde kullanılır ve genelde yapılarına katkı maddeleri eklenir. Katkı maddeleri yapıya eklendiği anda polimer terimi ortadan kalkarak plastik terimi devreye girer [24].

Plastik teriminin sınırlarını belirlemek daha zordur ancak genel olarak kauçuğun elastomerik özelliklerini göstermeyen tüm polimerler için kullanılır. Fakat bu tanımlamalar arasında da bazı gri alanlar mevcuttur. Örneğin; plastik ve elastomerik malzeme bloklarından oluşturulmuş molekül zincirlerine sahip olan termoplastik elastomerler (TPE) bu gri alanda bulunmaktadır. Termoplastik elastomerler, termoplastik gibi şekillendirilseler bile kauçuksu özellikler de gösterirler [25]. Sonuç olarak plastikleri polimerlerin bir alt grubu olarak tanımlamak mümkündür.

Polimer bilimi ve teknolojisi alanında meydana gelen gelişmeler neticesinde, plastik üretimi son 20-30 yıl içerisinde dikkate değer bir hızla artmış ve 2000 yılı sonunda dünya çapında yılda yaklaşık 200 milyon tonluk bir hacme ulaşmıştır. Günümüzde ise dünya genelinde her yıl kişi başı 100 kilogram plastik malzeme kullanılmaktadır. Ayrıca plastik sektörü Amerika Birleşik Devletleri'nin ekonomisine her yıl 250 milyar dolarlık, yani toplam gayri safi milli hasılasının yaklaşık %4'üne denk gelen bir katkı sağlamaktadır [26].

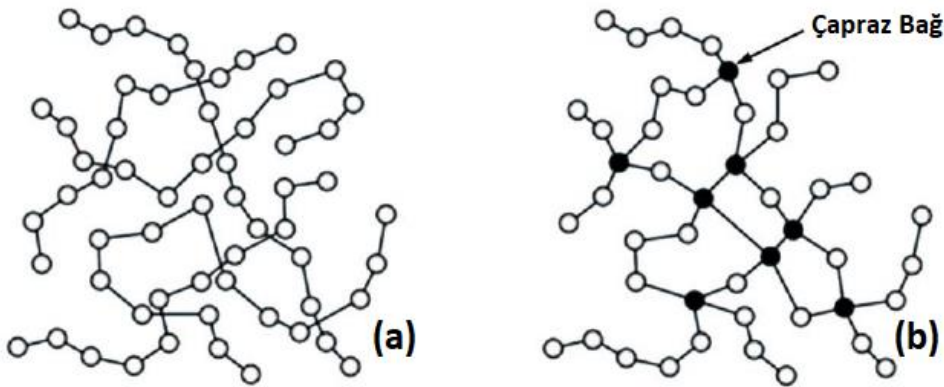


Şekil 3.1 : Plastik hammadde [27].

Plastikler ve plastik kompozitleri birçok ileri teknolojik endüstriyel alanda kullanılmakta olan malzemelerdir [28]. Gelişmiş özellikleri sayesinde metal ve seramik malzemelerin yerlerini almaktadırlar. Plastikler; kimyasal yapılarına ve sıcaklık davranışlarına göre termosetler ve termoplastikler olarak ikiye ayrılırlar.

Termosetler kritik bir sıcaklığın üzerine ısıtıldıkları zaman, zincirler arası çapraz bağların oluştuğu kimyasal bir reaksiyona uğrarlar [29]. Ortaya çıkan bu üç boyutlu çapraz bağlar sebebiyle büyük bir deformasyona uğramazlar ve şekillendirilemezler [30]. Bu yüzden şekillendirme işlemi çapraz bağlanma tamamlanmadan önce yapılmalıdır. Çünkü termoset işlemi tersine çevrilemez bir işlemdir.

Termosetlerin yapısında bulunan çapraz bağlar, mekanik ve termal stresler altında da neredeyse hareketsizdirler (Şekil 3.2). Bu hareketsizlik neticesinde yüksek sıcaklıklarda bile erimezler fakat bazı uçucu materyallerini kaybettikleri için kömürleşirler [29]. Genellikle yanmazlık ve yüksek sürünme direnci gerektiren kaput altı uygulamalarında tercih edilirler [24].



Şekil 3.2 : Termoplastik (a) ve termoset (b) plastiklerin molekül yapıları [31].

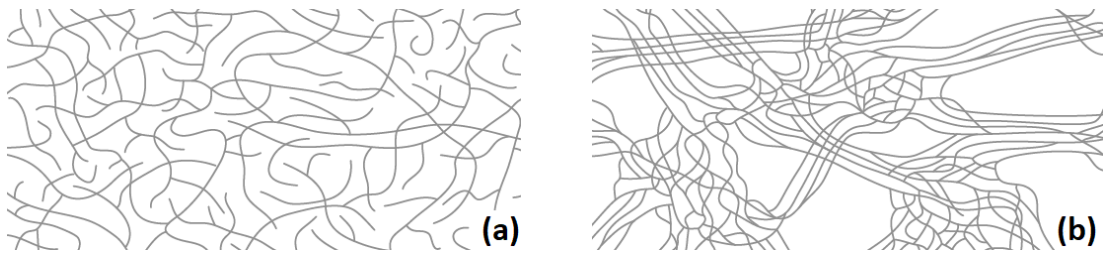
Termoplastikler ise çapraz bağ yapısına sahip değildirler (Şekil 2.2). Sahip oldukları kimyasal molekül bağları çapraz bağlara göre daha zayıftır. Ayrıca moleküller arasında güçlü bir fiziksel bağ da mevcut değildir. Yapıda fiziksel olarak sadece zayıf elektrostatik çekme kuvvetleri mevcuttur. Bu kuvvetler ikincil bağlar olarak da ifade edilirler. Malzemenin sıcaklık etkisi altında yumuşaması ve erimesi ikincil bağların zayıflaması sonucunda meydana gelir. Soğutuldukları zaman ise bu bağlar tekrar oluşur ve malzeme yine katı hale gelir [32].

Isıtma ve soğutma işlemleri malzemenin kimyasal yapısında önemli bir değişikliğe yol açmadan birçok kez tekrarlanabilir. Bu yüzden geri dönüştürülebilir ve yeniden şekillendirilebilirler. Bununla birlikte sürekli olarak yeniden işlenmelerinin yüzey bozulmaları gibi problemlere yol açabileceği de unutulmamalıdır [24, 29, 33].

Şekillendirme ve kaynak proseslerinin daha kolay olması, seri üretime daha yatkın olmaları ve geri dönüştürülebilir olmaları sebebiyle ileri endüstriyel uygulamalarda termosetlere oranla daha çok tercih edilirler [28, 29]. Genellikle enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve şişirme prosesleriyle üretilirler. Üretimleri sırasında kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmediği için işlem süreleri diğer tür polimerlere göre daha düşüktür.

Ayrıca yapılarında, proses kabiliyetlerini iyileştirmek için plastikleştiriciler ve anti oksidanlar, fiziksel ve termal özelliklerini değiştirmek için yanma geciktiriciler ve renklendiriciler, mekanik özelliklerini geliştirmek için de mukavemet arttırıcılar gibi katkı maddeleri kullanılabilir [33].

Plastikler, yapılarındaki uzun molekül zincirlerinin birbirine dolanması ve kristalizasyon işleminin zorluğu sebebiyle asla yüzde yüz kristalin bir yapıya sahip olamazlar. Ya tamamen amorf bir yapıya ya da hem amorf hem de kristalin fazlarını içeren yarı kristalin bir yapıya sahip olurlar [24, 34]. Bu sebeple termoplastikler, amorf ve yarı kristalin olmak üzere iki farklı gruba ayrılırlar (Şekil 3.3).



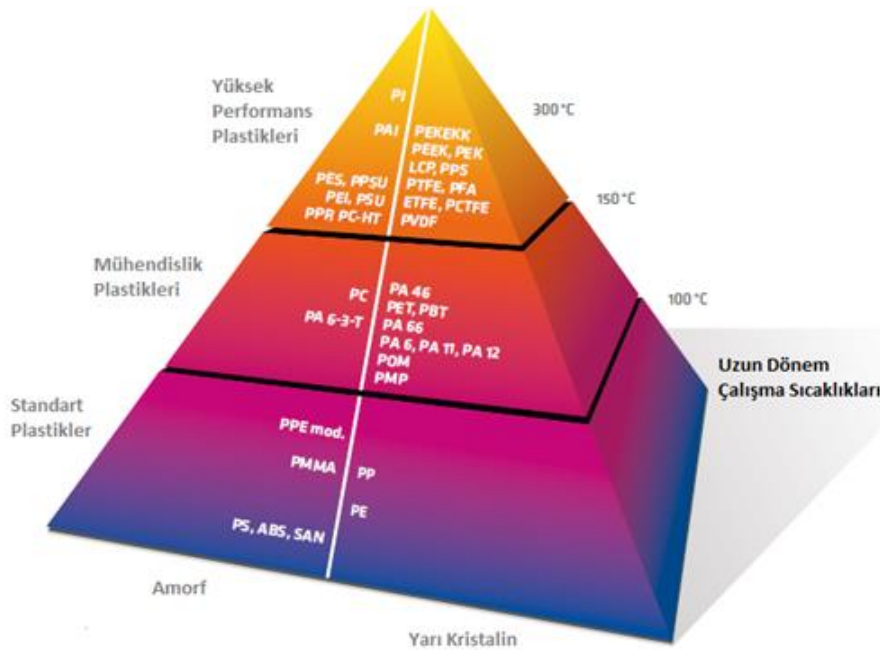
Şekil 3.3 : Amorf (a) ve yarı kristalin (b) yapılar [30].

Hem amorf hem de yarı kristalin polimerler camsı geçiş sıcaklığına (T_g) sahiptirler. Amorf polimerler camsı geçiş sıcaklığının altında sert ve kırılgan bir camsı yapıya sahipken, bu sıcaklığın üzerinde ise yumuşak ve sünek bir yapıya sahiptirler. Yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça katı-sıvı faz dönüşümleri gerçekleşse de belli bir erime noktasına (T_m) sahip değildirler. Yarı kristalin polimerler ise amorf polimerlerin aksine bir erime noktasına sahiptirler. Bu sıcaklığın altında katı, üstünde ise sıvı fazda bulunurlar.

Yarı kristalin polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, polimerik yapının kristalinite oranına bağlıdır. Polimerik yapının kristalinite oranı ise büyük oranda proses koşullarına bağlıdır [33, 35]. Genellikle kristalinite oranı arttıkça polimerin; akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çözücü ve kimyasal direnci artarken, kopma uzamasına ve çatlak ilerlemesine karşı olan direnci azalır [33].

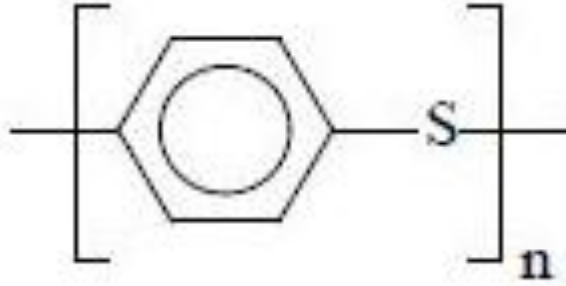
Termoplastikler, kimyasal yapılarının yanı sıra termal kararlılıklarına göre de üç alt gruba ayrılırlar. Bu gruplar standart plastikler, mühendislik plastikleri ve yüksek performans plastikleri olarak Şekil 3.4'teki piramitte belirtilmiştir.

Piramidin aşağısından tepesine doğru çıkıldıkça, plastiklerin uzun dönem çalışma sıcaklıkları artmaktadır. Bununla birlikte aynı yönde plastiklerin üretim maliyetleri de ciddi anlamda artmaktadır. Hem üretim maliyetlerinin fazla olması hem de kullanıldıkları sektörlerin daha spesifik olması sebebiyle tepeye doğru çıkıldıkça plastiklerin üretim hacimleri azalmaktadır.



Şekil 3.4 : Termoplastik polimerlerin sınıflandırılması [30].

Polifenilen Sülfid ise yarı kristalin yapıya sahip bir termoplastik polimerdir [28]. Beyazımsı bir rengi vardır ve molekül ağırlığı düşüktür. Enjeksiyon kalıplama, şişirme ve ekstrüzyon gibi yöntemlerle şekillendirmeye uygundur. Sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, mekanik dayanım, kimyasal direnç ve boyutsal kararlılık gibi özellikleri sebebiyle zorlu şartlarda termoset polimerlere ve metallere karşı tercih edilebilen nadir malzemelerden birisidir [36, 37]. PPS'in özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. PPS'in kimyasal formülü ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



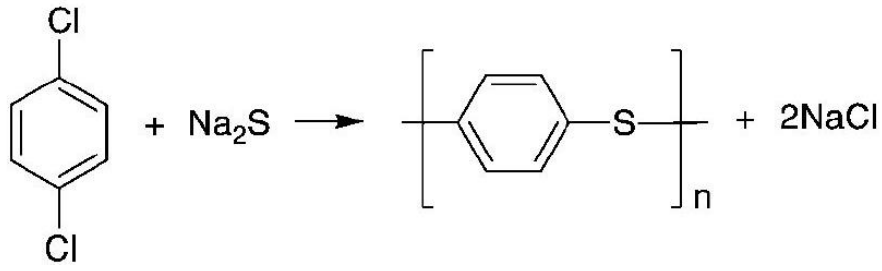
Şekil 3.5 : PPS'in kimyasal formülü [38].

Mükemmel mekanik özellikleri, düşük yoğunluğu ve kolay işlenebilir olması sebebiyle otomotiv, elektronik, uzay gibi sektörlerin yüksek performans beklenen uygulamalarında öne çıkan bir malzemedir [39, 40, 41, 42, 43]. Ancak gevrek bir malzeme olduğu için darbe tokluğu düşüktür. Mekanik özelliklerini ve yorulma direncini arttırmak için yapıya cam elyaf veya karbon elyafı katkısı yapılabilir [6].

Çizelge 3.1 : PPS'in özellikleri [40].

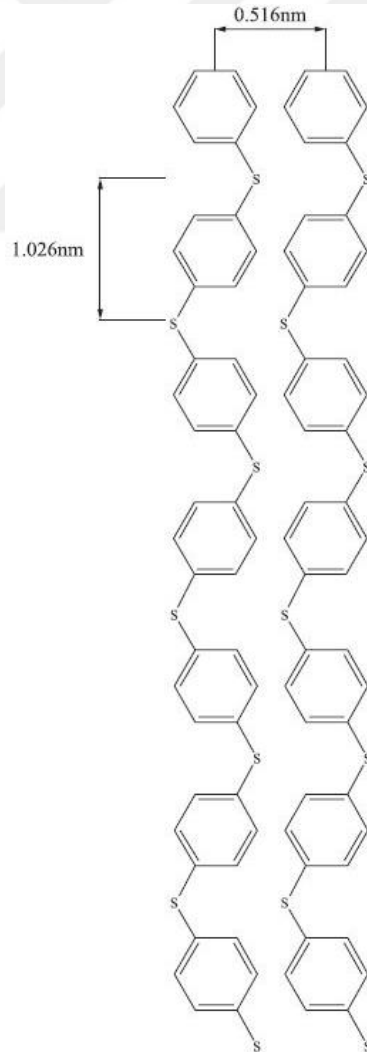
Malzeme Özelliği	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm ³	1,35
T _g	°C	90
T _M	°C	282
Üst Çekme Dayanımı	MPa	76,6
Elastisite Modülü	MPa	3180

PPS ilk olarak Charles Friedel ve James Mason Crafts tarafından 1888 yılında keşfedilmiştir [36]. 1967 yılında Phillips Petroleum Company'den Edmonds ve Hill, para-diklorobenzen ve sodyum sülfür sentezi yoluyla PPS üretmişler ve bu yöntemin patentini almışlardır (Şekil 3.6). Böylece 1972 yılında endüstriyel kullanıma yönelik ilk ticari üretimi başlamıştır [34, 44]. Bu tarihten sonra birçok farklı üretim yöntemi geliştirilse de seri üretim için bu yöntemler pek tercih edilmemişlerdir [45, 46, 47].



Şekil 3.6 : PPS'in üretimi [37].

PPS birçok aromatik fenil halkasından ve sülfür atomundan oluşur. Birim hücresi ortorombik bir kristal yapısına ve $a = 0,867 \text{ nm}$, $b = 0,561 \text{ nm}$, $c = 1,026 \text{ nm}$ latis parametrelerine sahiptir [36]. Birim hücrede sülfür grubunun düzlemsel olarak zig-zag yaptığı genişletilmiş bir omurga yapısı mevcuttur. Fenil halkaları ise bu omurga düzlemine $40\text{-}45^\circ$ eğimli bir açıyla bağlıdır (Şekil 3.7). Bağlanma açıları nedeniyle kısıtlı bir hareketliliğe sahip olan fenil halkaları, PPS'in termal özelliklerinin yüksek olmasının ana sebebidir [35].



Şekil 3.7 : PPS birim hücresi [35].

PPS aromatik grupları olmayan diğer geleneksel polimerlere göre daha yavaş kristallenir. Yapısındaki kristalinite derecesi ise %50'ye yakındır (Çizelge 3.2). PPS'in mekanik özellikleri tüm yarı kristalin polimerlerde de olduğu gibi kristalinite derecesine ve yapının morfolojisine bağlıdır. Kristalinite derecesi arttıkça mekanik özelliklerde iyileşmeler görülür [35, 36]. Ayrıca 200-230 °C arasında 1 veya 2 saat yapılan tavlama işlemiyle birlikte kristalinite derecesi artırılabilir. Böylece elastisite modülü ve kimyasal direnç gibi özelliklerinde iyileşmeler elde edilebilir [36].

Çizelge 3.2 : Kristalin ve amorf fazlar için FTIR pik değerleri [36].

Kristalin Faz (cm ⁻¹)	Amorf Faz (cm ⁻¹)
1464,02	1558,00
1369,50	1170,83
1013,14	1105,00
511,15	746,00

Kimyasal yapısı sebebiyle yüksek ergime sıcaklığına ve olağanüstü sıcaklık direncine sahiptir. Uzun dönem çalışma sıcaklığı 200 °C ve termal deformasyon sıcaklığı 260 °C'dir [6, 7]. Yüksek yanmazlık direncine sahiptir ve UL-94 standardına göre V-0 yanmazlık sınıfındadır [48]. Ateşe maruz kaldığı zaman kömürleşir ve alev almaz. Tutuşma sıcaklığı ise 540 °C'dir [36].

Yüksek bir kimyasal direncine sahip olan PPS'in oda sıcaklığında bilinen bir çözücüsü yoktur [36, 40]. Sıvı gaz ve yakıtlara, metanole, etanole, sıcak motor yağına, gres yağına, antifriz, hafif asitlere ve alkalilere dayanıklıdır. Ancak camsı geçiş sıcaklığının üstüne çıkıldıkça kimyasal direnci düşmeye başlar (Çizelge 3.3) [37]. Buna rağmen 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda organik çözücülere karşı tamamen dirençlidir. [7, 36].

Bununla beraber nitrik asit gibi oksitleyici asitlere karşı dirençleri düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda güçlü mineral asitleri ve güçlü oksidantlar tarafından etkilenir [7, 36]. 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise aromatik hidrokarbonlara karşı dirençsizdir [37].

Çizelge 3.3 : Kimyasal ortamların PPS üzerindeki etkisi [36].

Kimyasal Ortam	Sıcaklık (°C)	*Değer
Aromatik Hidrokarbonlar	25	1
	93	2
Alifatik Hidrokarbonlar	25	1
	93	1
Halojenli Çözücüler	25	1
	93	2
Esterler ve Ketonlar	25	1
	93	1
Alkoller	25	1
	93	1
Aminler	25	-
	93	1-3
Zayıf Bazlar	25	1
	93	1
Güçlü Bazlar	25	1
	93	1
Güçlü Asitler	25	1
	93	1
Güçlü Oksidantlar	25	1
	93	3

*Değerler; 1: Etki Yok ya da İnert, 2: Çok Az Etki, 3: Az Etki

Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmasından sonra bile; yakıtlar, motor yağları, motor soğutma suyu, fren ve şanzıman sıvıları gibi çevresel etmenlere karşı mükemmel dirence sahip olması sebebiyle kendisine kaput altı uygulamalarda genişçe yer bulur. Bu uygulamaların başında turbo sistemleri, soğutma sistemleri, egzoz sistemleri, emme manifoldları ve termostat gövdeleri gelmektedir [37, 49]. Örneğin; Ford'un 6 silindirli motorlarının yakıt hatlarında ve su pompalarında kullanılır [25].

Aynı zamanda geri dönüştürülmeye ve tekrar şekillendirilmeye çok uygundur. Kırık malzeme olarak adlandırılan geri dönüşüm malzemesi, temiz malzeme ile karıştırılarak tekrar kullanılır. Karışımdaki kırık malzeme oranı %35'in altında tutulduğu sürece mekanik özelliklerde ciddi bir düşüş olmaz [2].

3.2 Ekstrüzyon Yöntemiyle Şekillendirme

Plastiklerin şekillendirilmesi için önemli birçok teknik geliştirilmiştir. Otomotiv sektöründeki bileşenlerin üretimi için ise genelde enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, termoform ve şişirme yöntemleri tercih edilir.

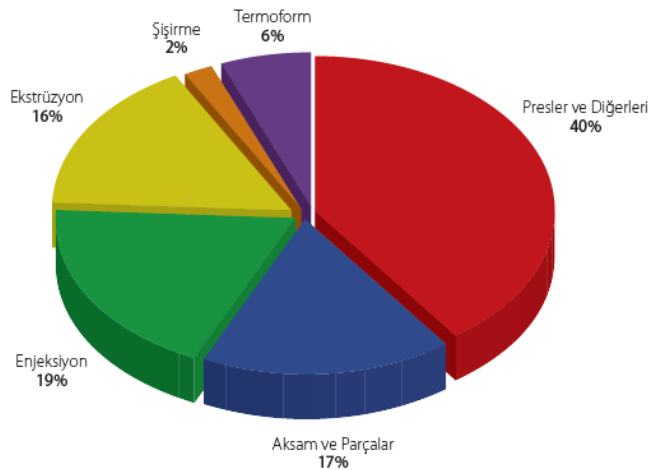
Her bir malzemenin ve üretim yönteminin avantajlarını boyut, şekil, görünüm ve maliyet açısından ele almak ve plastik bileşenleri buna göre tasarlamak gereklidir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 : Plastik üretim yöntemlerinin karşılaştırılması [29].

Üretim Yöntemi	Detaylı Üretim	Şekil	Yüzey Kalitesi	Yüzey Sayısı
Enjeksiyon	İyi	Açık	İyi	Çift
Ekstrüzyon	Kısıtlı	Açık	İyi	Tek
Termoform	Kısıtlı	Açık	İyi	Tek
Şişirme	İyi	Kapalı	Kötü	Tek

Proses seçimi noktasında ürün özelliklerinin yanı sıra, yatırım maliyeti de etkili bir faktör olmaktadır. Bazı proseslerin ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olmasına rağmen, üretim adetlerinin fazla olduğu durumlarda parçaların adet başına maliyetleri düşmektedir. Bu yüzden bileşen için üretim yöntemi belirlenirken dikkatli olunmalı ve uygun olan yöntemeye yatırım yapılmalıdır.

Türkiye’de 2018 yılının ilk yarısında, plastik sektöründe yapılan 526 milyon dolarlık toplam yatırımın %19’u enjeksiyon, %16’sı ekstrüzyon, %6’sı termoform, %2’si şişirme makinelerine yapılırken, %40’ı presler ve diğer makinelere, %17’si ise aksam ve parçalara yapılmıştır (Şekil 3.8) [50].



Şekil 3.8 : Plastik sektöründe yapılan makine ve teçhizat yatırımı (2018/6) [50].

Enjeksiyon kalıplama yöntemi karmaşık şekilli plastiklerin (Şekil 3.9), yüksek adetli ve hassas bir şekilde üretimi için tercih edilen ana yöntemdir. İşlem granül haldeki malzemenin pistonlu bir vida yardımıyla eritildikten ya da plastikleştirildikten (akışkan hale getirildikten) sonra, kapalı bir kalıba yüksek basınç ile enjekte edilmesiyle gerçekleşir. Plastikleşme, enjeksiyon, soğutma ve parçanın kalıptan çıkarılması işlemleri çok hassas bir döngü halinde takip edilmelidir. Bu yöntem genellikle termoplastik malzemelerin üretimi için kullanılır [29].

Enjeksiyon kalıplama makineleri, hassas olan bu proseste çok farklı parametreleri birden kontrol edebildikleri için pahalıdır. Ayrıca karmaşık şekilli parçaların üretimi için gerekli olan kalıpların maliyeti de bir hayli yüksektir. Bu kalıplar sertleştirilmiş çelikten ve ürünün hassas ölçülerine uygun olarak üretilmelidirler. Dolayısıyla bir parçanın enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilebilmesi için ciddi maliyetlerde bir yatırım yapılmalıdır. Parçanın yıllık üretim adetleri, kalıp ömrü ve proses hızı gibi etmenler dikkatlice gözden geçirilmelidir.

Ancak tüm bu olumsuz durumlara ve yüksek yatırım maliyetlerine rağmen bu prosesi avantajlı kılan etmenler de vardır. Enjeksiyon kalıplama ile parçaların tasarımı ve şekilleri ne kadar zor olursa olsun hassas bir şekilde üretim yapılabilir. Bütünleşik halde üretilebilen parçalar sayesinde, parça sayısında ve montaj işlemlerinin sayısında ciddi azalmalar elde edilebilir. Bu sayede üretim hızlandırılır. Ayrıca yüksek adetli üretimlerde parça başına düşen maliyet ciddi miktarda azalır.



Şekil 3.9 : Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen plastik parçalar [51].

Termoform, et kalınlıkları nispeten düşük olan plastik parçaları daha düşük maliyetle elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir şekil verme işlemidir [52]. Bu proseste parçalara öncelikle ön ısıtma işlemi uygulanır. Ön ısıtma işlemi uygulanan parçalar uygun kalıpların içerisine yerleştirilerek deforme edilir (Şekil 3.10). Daha sonra bu kalıplar belirli bir süre boyunca sıcaklığa maruz bırakılır. Hemen sonrasında soğutulan parça kalıplardan çıkarılır ve uygun boyutlarda kesilir. Böylece parça kalıbın şeklini almış ve yeni elde ettiği bu şekli sürdürme yeteneğine sahip olmuş olur (Şekil 3.11).



Şekil 3.10 : Termoform işlemi [53].

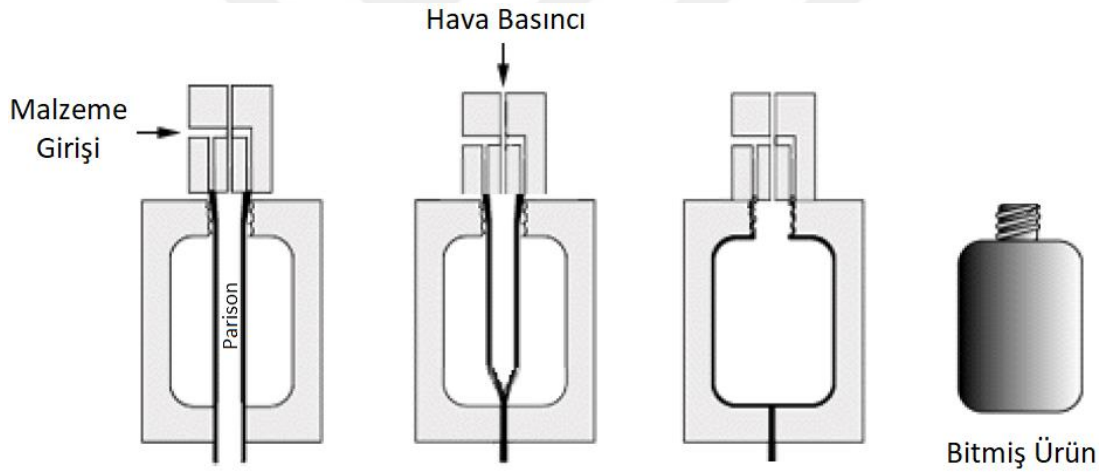
Termoform işleminin sorunsuz çalışabilmesi fırın sıcaklığı, kalıp uygunluğu, sıcaklık uygulama süresi ve soğutma süresi gibi parametrelere bağlıdır. Parçalar termoform işlemine; son şekillerine uygun bir biçimde form verecek kalıplarda, erime ve camsı geçiş sıcaklıkları aralığında çalışan fırınlarda, form almasını ve daha sonra bu formu korumasını sağlayacak olan süreler boyunca maruz bırakılırlar.



Şekil 3.11 : Termoform işlemi sonrası plastik borular [54].

Şişirme yöntemi, su şişesi gibi içi boş plastik ürünler üretmek için en basit ve en etkili yöntemdir. Üretim prosesi üç aşamadan oluşur (Şekil 3.12). İlk aşamada termoplastik malzeme ekstrüder vasıtasıyla plastikleştirilir. İkinci aşamada malzeme eritilerek parison olarak da bilinen ön form oluşturulur ve bu form kalıba yukarıdan gönderilir. Üçüncü aşamada ise parison kalıba girdikten sonra kalıp kapanır ve parison hava basıncıyla birlikte şişirilerek kalıplanır. Kalıpta yeterince soğuyan parça kalıptan çıkarılır ve üretim tamamlanmış olur. Ayrıca parisonun kalıba girişi ve şişirme işlemi arasında biçimsel olarak kararlı olabilmesi için eriyik polimerin viskozitesinin yüksek olması gereklidir [29].

Şişirme işlemi düşük basınçlı bir üretim yöntemidir ve kalıp maliyetleri çok yüksek değildir. Üretilen parçaların yüzey kalitesi enjeksiyon kalıplamaya göre daha kötüdür. Ayrıca şekillendirme işlemi havayla gerçekleştiği için iç yüzeylerin homojen bir dağılım göstermesi daha zordur.



Şekil 3.12 : Şişirme yöntemiyle üretim [55].

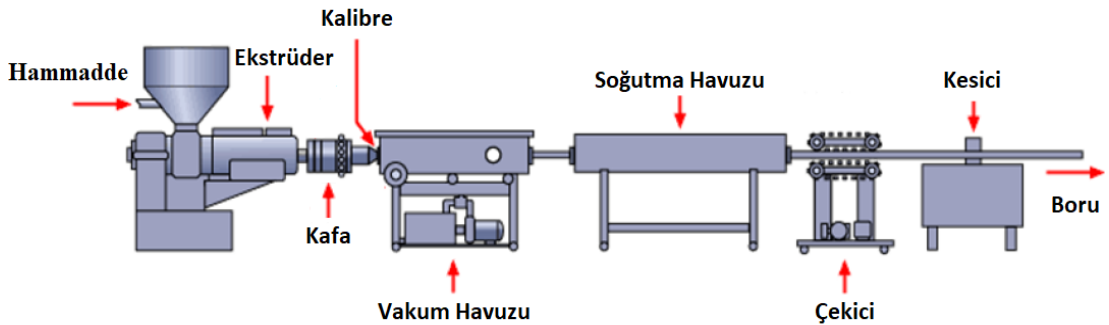
Ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve diğer üretim yöntemlerinden farklı olarak sürekli bir üretim yöntemidir [29]. Ekstrüzyon yöntemi belli bir dış çapa ve et kalınlığına sahip olan stabil ürünler elde etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Sürekli bir üretim yöntemi olduğu için prosesin sonunda hassas ölçülere sahip ürünler elde edilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Ekstrüzyon işlemi [30].

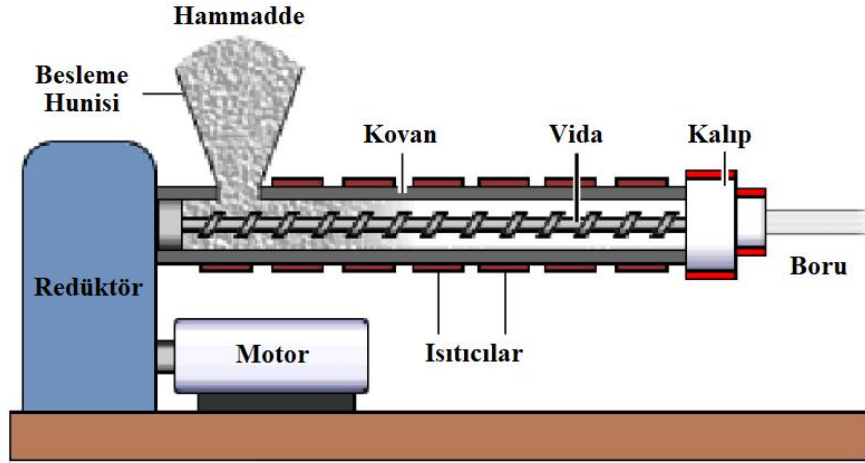
Hortum, boru, tüp gibi içi boş ve belli bir et kalınlığına sahip silindirik ürünleri ya da çubuk, profil gibi daha hacimli ve silindirik olmayan ürünleri hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta elde etmek için kullanılan sürekli bir üretim yöntemidir. Enjeksiyon kalıplama ve şişirme gibi çevrimsel proseslerin aksine stabil bir prosese sahiptir [56]. Bu yüzden plastiklerin üretiminde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem termoplastikler için ilk kez 1935'te P. Troseter tarafından Almanya'da kullanılmıştır [57].

Plastik boru üretiminde kullanılan bir ekstrüzyon hattı temelde ekstrüder, ekstrüder kafası, kalibre, vakum havuzu, soğutma havuzu, çekici ve kesici olarak adlandırılan elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.14). Bunların yanı sıra hatta markalama cihazı ve çap ölçer gibi yardımcı üniteler de bulunabilir. Ekstrüzyon yöntemi ile yüksek kalitede ürün elde edebilmek için hatta bulunan tüm ünitelerin ahenk içinde çalışması gereklidir.



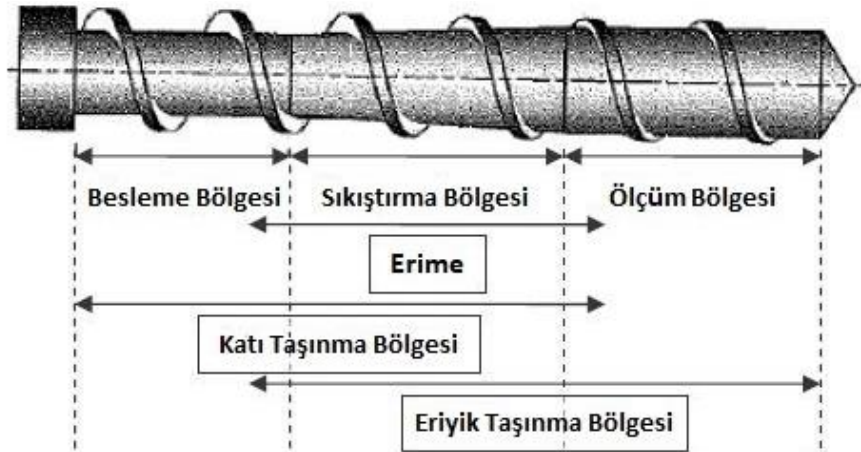
Şekil 3.14 : Ekstrüzyon hattı.

Ekstrüder, içerisine toz veya granül halinde beslenen malzemeyi homojen bir eriyik haline getirmekle görevli bir ekstrüzyon hattı elemanıdır (Şekil 3.15). Huniden ekstrüdere beslenen malzeme, vidanın hareketiyle birlikte vida ve kovan arasında sıkışır. Malzeme hem ısıtıcılardan gelen ve hem de vidanın hareketinden ortaya çıkan ısı enerjisi ile birlikte erir. Eriyen malzeme yüksek basınçla birlikte ekstrüder kafasına transfer edilir.



Şekil 3.15 : Ekstrüder [58].

Bir ekstrüderin en önemli elemanı, ısıtma elemanları ve soğutma kanalları ile donatılmış olan silindirin içinde bulunan vidasıdır. Malzemenin taşınması, homojen olarak karıştırılması, eritilmesi ve eriyen malzemenin sıkıştırılması gibi işlevlerin tamamı vida tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca vidanın dönme hızı çıkan ürün miktarına ve malzemenin kayma oranına doğrudan etki etmektedir [58, 59, 60]. Ekstrüder vidası; besleme bölgesi, sıkıştırma bölgesi ve ölçüm bölgesi olmak üzere üç ana bölgeden oluşmaktadır (Şekil 3.16).

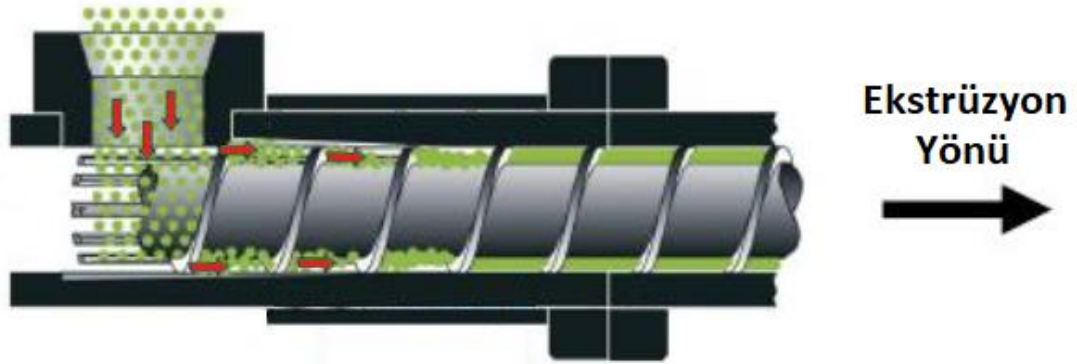


Şekil 3.16 : Ekstrüder vidasının bölgeleri [59].

Besleme bölgesi hammaddenin vidaya ilk olarak aktarıldığı bölgedir. Bu bölgenin görevi malzemeye ön ısıtma vermek ve yeterli basınçla bir sonraki bölgeye aktarmaktır. Bu bölgede vida dişlerinin derinliği sabittir. Böylece hem vida içerisine giren malzeme sabit miktarda tutulur hem de malzeme fazla bir sıkıştırmaya maruz kalmadan bir sonraki bölgeye aktarılmış olur [24, 58].

Sıkıştırma bölgesi, malzemenin vida ve kovan arasında sıkıştırılarak eritildiği bölgedir. Birçok vidada bu bölüm, vida çekirdeğinin çıkış bölgesinin çapına kadar kademeli şekilde arttığı ve vida dişlerinin derinliğinin ise giderek azaldığı biçimde tasarlanır. Azalan hacimle birlikte malzemenin üzerindeki basınç ve sıkıştırma artar. Böylece malzeme eriyerek homojen bir şekilde bir sonraki bölgeye taşınmış olur (Şekil 3.17). Bununla birlikte hava ve nem de ekstrüder dışına bu bölgeden gönderilir [24, 61].

Ölçüm bölgesinin görevi ise malzemenin sabit bir debide, homojen bir şekilde, mümkün olduğu kadar yüksek bir basınçla vidadan çıkarak kalıba girmesini sağlamaktır. Bu yüzden vida dişlerinin derinlikleri sabittir ancak diğer bölgelere göre daha düşüktür [24, 58].



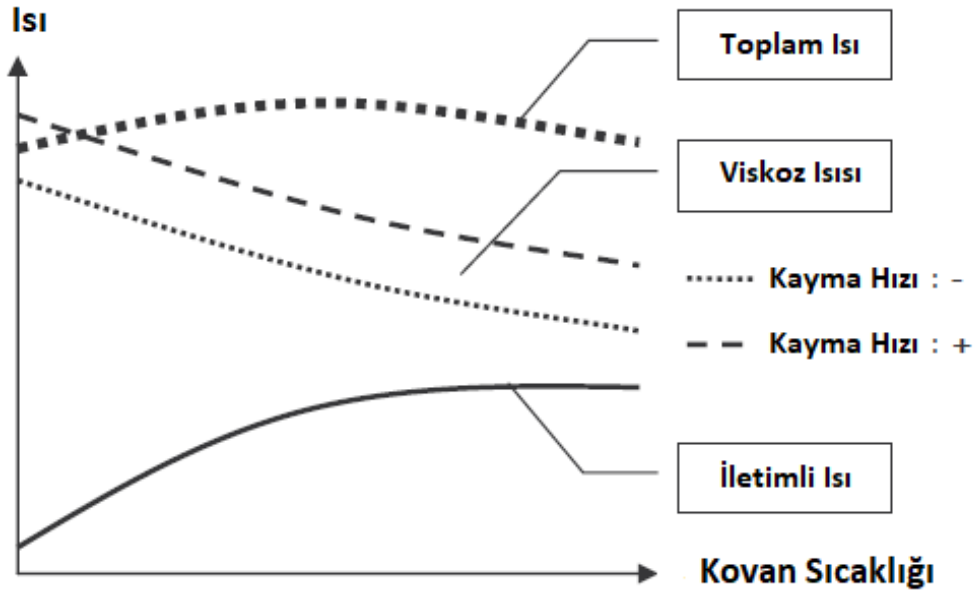
Şekil 3.17 : Hammaddenin erime işlemi [59].

Malzemenin vida içerisinde erimesini sağlayan iki farklı ısı kaynağı bulunmaktadır. Birincisi sürtünmeden ve malzeme içerisindeki viskoz ısısından ortaya çıkan ısıdır. Sürtünme ısısı malzemenin kendi granülleriyle, vida ve kovan yüzeyleriyle sürtünmesi ile ortaya çıkar. Viskoz ısısı (H_{viskoz}) ise kayma hızı (γ) ve malzeme viskozitesine (η) bağlı olarak, eriyik malzemenin vida hareketiyle birlikte gerilmesiyle ortaya çıkar. 3.1 eşitliğinde de görüleceği üzere malzeme viskozitesi ne kadar yüksek olur ise viskoz ısı üretimi de o kadar yüksek olur. Aynı şekilde kayma hızı ne kadar yüksek olur ise viskoz ısı üretimi de o kadar yüksek olur.

Ayrıca malzeme viskozitesi de sıcaklık ve kayma hızına bağlı bir değişkendir. Sıcaklık arttıkça malzemenin viskozitesi azalacaktır. Aynı şekilde kayma hızı arttıkça viskozite yine azalacaktır [59].

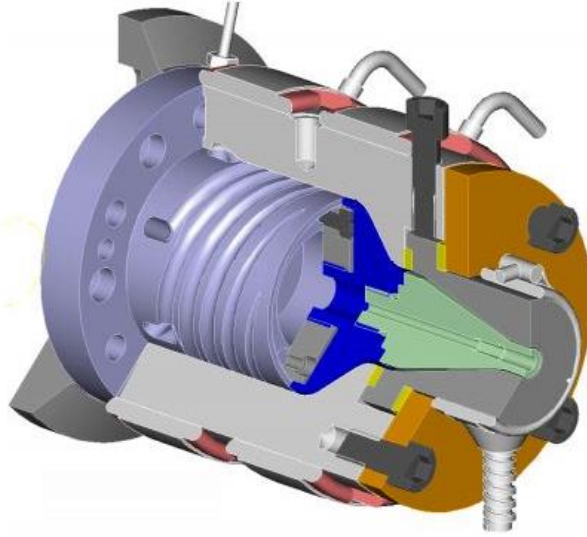
$$H_{\text{viskoz}} = \eta (T, \gamma) \gamma^2 \quad (3.1)$$

İkincisi ise ekstrüder kovanının etrafında bulunan ısıtıcılar tarafından iletilen ısıdır. Plastik malzemeler genellikle düşük ısıl iletkenliğe sahip oldukları için bu yöntem verimsiz kabul edilir ve pek tercih edilmez. Ancak yine de ekstrüderi bu yöntemle ısıtacak olursak, ısıtıcıların çalışmasıyla birlikte kovan sıcaklığı ve dolayısıyla malzemenin sıcaklığı artacaktır. Bunun sonucunda ise malzemenin viskozitesi düşecektir. Malzemenin viskozitesine bağlı olarak da prosesin asıl ısı kaynağı olan viskoz ısı üretimi azalacaktır. Sonuç olarak ısıtıcılar tarafından sisteme aktarılan iletimli ısı miktarında artış olsa bile, viskoz ısısında meydana gelen dramatik azalış ekstrüderin toplam ısısının düşmesine ve ekstrüderdeki erimenin azalmasına neden olacaktır (Şekil 3.18) [57, 58, 59].



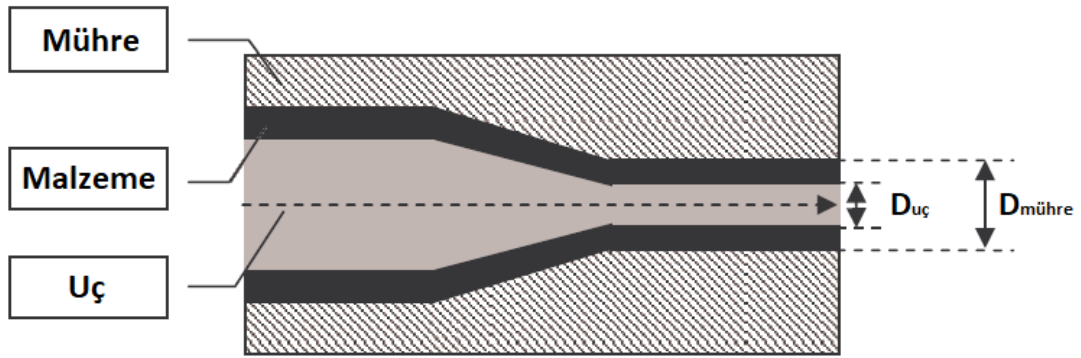
Şekil 3.18 : Kovan sıcaklığının viskoz ısısına ve iletimli ısıya olan etkisi [59].

Vidadan spiral halde gelen eriyik malzemenin kalıpta gerçekleşecek olan şekillendirme işlemine uygun hale getirilmesini sağlayan yer ekstrüder kafasıdır (Şekil 3.19). Erimiş malzemeden boru veya hortum gibi silindirik bir şekle olan bu dönüşüm kalıplar ile sağlanır. Bu yüzden kalıplar ve özellikle kalıpların akış kanalları, proses boyunca malzemeye düzgün bir hız kazandıracak şekilde tasarlanmıştır [56, 58, 59].



Şekil 3.19 : Ekstrüder kafası [56].

Borunun şeklini ve boyutlarını belirleyen asıl elemanlar ekstrüzyon kalıplarıdır. Bu kalıplar uç ve mühre olmak üzere iki farklı kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.20). Malzemenin üzerinden aktığı ve ürünün iç çapının belirlenmesini sağlayan kısım uç adı verilen kısımdır. Uç çapı ($D_{uç}$) nihai üründe istenen iç çap değerine göre belirlenir. Ürünün et kalınlığını kontrol altında tutan kısım ise mühre kısmıdır. Mühre çapı ($D_{mühre}$) de nihai üründe istenen et kalınlığı değerine göre belirlenir.



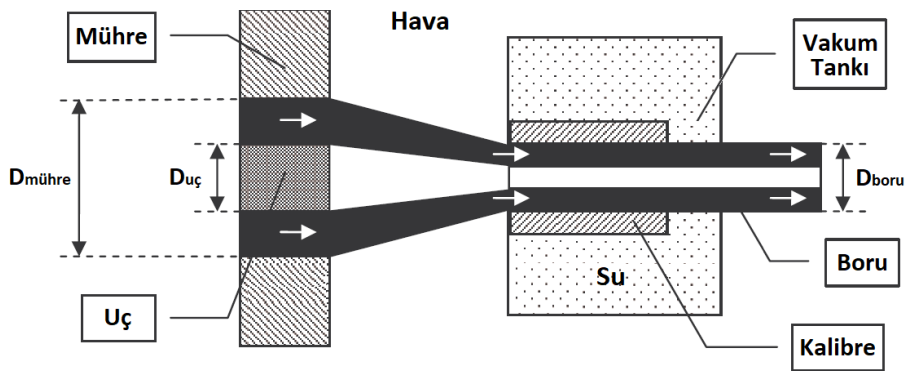
Şekil 3.20 : Uç ve mühre [59].

Boruda hassas bir eş merkezlilik yakalanmak isteniyor ise kalıplar ayarlanabilir durumda olmalıdır. Bu sebeple kafa, genellikle çevresinde 4 veya 6 adet ayarlanabilir vida bulunan bir flanşla kenetlenir ve eş merkezlilik ayarı bu vidaların sıkılması veya gevşetilmesiyle yapılır (Şekil 3.19). Eş merkezlilik ayarının düzgün yapılmadığı bir kalıpta erimiş malzeme kalıbın daha az sıkılı olduğu yerden daha fazla akacaktır. Bunun sonucunda da ürünün et kalınlıklarında bölgesel olarak büyük farklar olacaktır [61].

Son şekline yakın bir şekil almış olan borular kafadan çıktıktan sonra vakum ünitesine girerler. Vakum ünitesi ise genellikle kalibrenin olduğu ilk bölüm ve kalibrenin olmadığı diğer bölüm olmak üzere iki bölümden oluşur. İlk bölümde boru kendisinden daha geniş bir silindir olan kalibrenin içine beslenir. Burada boru kalibre üzerinde bulunan delikler vasıtasıyla vakumlanır ve kalibrenin iç yüzeyine doğru bastırılır (Şekil 3.21). Böylece borunun dış çapı kalibrenin iç çapına göre ayarlanmış olur. Borunun dış çapının ayarlandığı bu işleme boyutlandırma (kalibrasyon) işlemi denir [60].

Kalibrasyon işlemi sırasında boru kalibrenin içine doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda boru ve kalibrenin ara yüzeyinde bir sürtünme kuvveti oluşur. Sürtünme kuvveti yüksek olduğu zaman, özellikle boru ve kalibre arasında bir yapışma da varsa, boru yüzeyinde kusurlar görülebilir. Bu kusurlar borunun potansiyel çatlak başlangıç noktalarıdır. Sürtünme kuvvetlerini azaltmak ve borunun kalibreye yapışmasını önlemek için bu bölgenin devamlı olarak su ile ıslatılması gereklidir. Su kalibrenin girişinde yer alan halka şeklindeki hazne tarafından sağlanır. Bu haznedeki su akış hızı 40 ile 80 litre/saat aralığındadır [59].

Kalibre bronz, pirinç veya bakır gibi yüksek ısıl iletkenliğe sahip malzemelerden imal edilir. Kalibrenin iç çapı malzemenin katılaşma sırasında büzülmesi de dikkate alınarak boru dış çapının yaklaşık 1,07 ile 1,10 katı arasında olması tercih edilir [59].



Şekil 3.21 : Kalibrasyon işlemi [59].

Kalibreden çıkan boru vakum ünitesinin diğer bölümüne gelir. Bu bölümde uygulanan vakum kalibrenin olduğu ilk bölümde uygulanan vakumdan daha düşük olmalıdır. Çünkü kalibreden çıkan boru burada serbest bir pozisyonda durmaktadır ve yüksek vakum etkisi altında çapında genişleme olabilir.

Bu bölümde borunun hem kendi ağırlığından dolayı çökmemesi hem de yüzeyinin kılavuz aparatlarıyla temas ettiğinde zarar görmeyecek kadar sert olması için çok hızlı bir şekilde soğutulması gereklidir. Boru hava ile yeterince hızlı soğuyamayacağı için soğutma işlemi su ile yapılır. Borunun dış yüzeyi suyla doğrudan temas edince katılaşmaya başlar. Katılaşırken büzülen boru toleranslar dahilinde bir dış çapa sahip olur [59, 61].

Genel olarak vakum tankının tamamında uygulanan vakumun borunun dış çapına doğrudan etkisi vardır. Vakum ne kadar yüksek olur ise borunun dış çapı da o kadar yüksek olur. Eğer boruya yeterli şiddette vakum uygulanmaz ise borunun dış çapı istenen değere göre düşük olacaktır. Bu nedenle vakum kontrolü çok önemli bir etmendir. Borulara genellikle 60 ile 300 mbar arasında bir vakum uygulanır [59, 60].

Vakum tankından çıkan boruların oda sıcaklığına soğutulması gerekir ve bu işlem soğutucu olarak su kullanılan soğutma ünitelerinde gerçekleştirilir. İki çeşit soğutma ünitesi mevcuttur. Bunlardan ilki soğutmayı daldırma yöntemi ile sağlarken diğeri ise soğutmayı püskürtme yöntemiyle sağlamaktadır.

Soğutmayı daldırma yöntemi ile sağlayan ünitelerde boru soğutma tankı boyunca tamamen su altında tutulur ve soğutma işlemi su ile sağlanır (Şekil 3.22). Eğer borunun bir kısmı suya tamamen daldırılmaz ve suyun üzerinde kalırsa boruda dengesiz bir soğuma meydana gelir. Suya daldırılan alt taraf çok hızlı soğurken, suya daldırılmayan taraf ise daha yavaş soğuyacaktır. Bu durumu engellemek için borunun tamamı kasnaklar veya diğer tutma araçlarıyla birlikte su altında tutulmalıdır. Ayrıca bu araçlar borunun silindirik şekline uygun olmalıdırlar, aksi takdirde borunun şeklinde ovalleşme ortaya çıkabilir [56].

Boruyla doğrudan temasta olan su, sıcaklık farkına bağlı olarak borudan suya aktarılan ısı akışının hızını belirleyecektir. Borunun yüzeyi ile temas eden su ne kadar sıcak olur ise soğutma verimliliği de o kadar düşük olur. Bu yüzden soğutma banyosunun içerisindeki suyun sürekli olarak sirkülasyona uğraması ve soğuk tutulması gereklidir. Yoksa boru üzerinde laminar etkisiyle bir tabaka oluşur ve bu tabaka ısı aktarımını engelleyerek borunun homojen olarak soğumasının önüne geçer [56, 58, 61].

Soğutma ve katılaşma işlemi dış yüzeyden başlayarak iç yüzeylere doğru ilerler. Bir borunun tamamen soğuduğunu kabul edebilmemiz için içerisindeki tüm ısı enerjisinin

suya aktarılmış olması gereklidir. Eğer borunun et kalınlığı düşük ise boru daha çabuk soğur. Eğer borunun et kalınlığı yüksek ise boru daha yavaş ve düzenli soğur.



Şekil 3.22 : Soğutma havuzu [62].

Soğutmayı püskürtme ile sağlayan ünitelerde ise su fışkiyeler yardımıyla borunun üzerine püskürtülür. Bu soğutma yöntemi borunun üzerinde laminar etkisi ile bir tabaka oluşturmadığı için ve soğuk suyun boru yüzeyine doğrudan temasını sağladığı için daldırma yöntemine oranla %20-40 daha verimlidir [56].

Plastiklerin şekillendirme sonrasında soğutulmasındaki en büyük problem plastiklerin ısı iletkenliklerinin çok düşük olmasıdır. Daha soğuk bir su kullanarak ya da suyun hareketliliğini püskürtme veya sirkülasyon yoluyla artırarak ısı transfer katsayısı ile oynanabilse de bu işlem borunun soğuma süresi üzerinde çok küçük bir etkiye sahiptir. Çünkü bu durum sadece yüzeyin soğuma hızına etki edecektir [56, 61].

Genellikle ekstrüzyon hatlarında soğutma ünitesinden çıkan borunun üzerinde bulunan su damlacıklarını gidermek için bir hava üfleyici ünite bulunur. Bu hava üfleyici ünite sayesinde dış çap ve et kalınlığı ölçümüne girecek olan borular kurulanır ve yanlış bir optik ölçüm yapılmasının önüne geçilir. Ayrıca elektronik olan ölçüm cihazı da sıvıyla temas ihtimaline karşı korunmuş olur.

Boru gibi ürünler üretilen ekstrüzyon hatlarında ürünün iç çapını, dış çapını, et kalınlığını ve ovalitesini anlık olarak ölçebilen cihazlar mevcuttur. Ölçüm cihazları çok yüksek bir doğrulukta ve çok yüksek hızda bir tarama yaparlar. Tarama

sonuçlarına göre ürünün boyutları kontrol edilebilir ve herhangi bir yanlışlık olması durumunda üretim parametrelerine müdahale edilebilir. Bu cihazlar ölçebildikleri ölçülere ve ölçümlerin doğruluklarına göre farklı kategorilere ayrılırlar.

İlk seviye cihazlar lazer bazlı ve hızlı sonuçlar verebilen taramalar yaparlar. Ancak yaptıkları ölçüm tek eksenlidir ve sadece dış çap ölçümünün sonuçlarını verebilir. Tek eksenli ölçümler genellikle güvenilir olmazlar, çünkü boru üzerinde farklı bir eksenle meydana gelmiş olan ovalite problemini gözden kaçırma ihtimalleri vardır [56].

Bir ileri seviye cihazlar ise lazer bazlı çift eksenli bir tarayıcı kullanırlar. Çift eksenli cihazlarda da sadece dış çap ölçüm sonuçları görülür. Bu cihazlar aralarında 90° bulunan iki farklı düzlemden ölçüm yaparlar (Şekil 3.23). Bu iki ölçümün ortalaması alınarak üründe oluşmuş olabilecek olan ovalite de hesaba katılır ve daha doğru bir ölçüm sonucu elde edilmiş olur [56].



Şekil 3.23 : Zumbach iki eksenli tarayıcı [63].

Üçüncü seviye cihazlar ise borunun dış çap ölçülerinin yanı sıra et kalınlığını da ölçebilirler. Lazer bazlı ölçüm yapılan cihazlarda borunun çapı etrafında yer alan birbirine eşit aralıklı dört farklı ultrasonik sensör bulunur. Bu sensörler vasıtasıyla boruya ultrasonik enerji gönderilir ve hem dış yüzeyden hem de iç yüzeyden birer adet yankı yaratılır. Ultrasonik enerjinin hızı ve yankıların oluşma zamanı ile birlikte borunun et kalınlığı hesaplanır. Bu et kalınlığı ölçümleri çift eksenli bir dış çap ölçümüyle bir araya getirildiğinde borunun boyutlarına dair detaylı bir sonuç ortaya çıkar [56].

Bunun yanı sıra x-ışını bazlı ölçüm yapılan üçüncü seviye cihazlar da mevcuttur. Bu cihazlar aralarında 45° bulunan sekiz farklı noktadan borunun hem dış yüzeyine hem de iç yüzeyine x-ışını gönderirler. Bu sayede borunun hem dış çap hem de et kalınlığı ölçüleri elde edilmiş olur.

Tarayıcıdan çıkan borunun üzerine ürünün izlenebilirliğinin sağlanabilmesi için markalama işlemi yapılmalıdır. Markalama genellikle borunun özellikleri ve üretim tarihi gibi bilgilerin yer aldığı bir kodlamanın borunun yüzeyine mürekkep püskürtülerek yazılması işlemidir. Bu işlem bir markalama cihazı tarafından yapılır (Şekil 3.24). Markalama esnasında yazılacak yazılar müşteri isteklerine göre belirlenmekle birlikte genellikle üretici ve müşteri firmanın adını, boru hammaddesini, boru dış çapını, boru et kalınlığını ve boru üretim tarihini içerir. Kullanılan mürekkep kalıcı olmalı ve markalama borunun ömrü boyunca okunabilir olmalıdır.



Şekil 3.24 : SEW markalama cihazı [64].

Borular markalama işleminden geçtikten sonra çekiciye girerler ve motor sürücüyeye bağlı olan silindirik iki bant ortasından geçerler. Bu işlem sırasında altta ve üstte yer alan bantlar boruyu sıkıştırdıkları için boru üzerinde çekme ve sürtünme kuvvetleri ortaya çıkabilir. Bantların sıkıştırma basıncı doğru ayarlanmaz ise boru ezilebilir ve bölgesel olarak ovaliteler oluşabilir. Borunun ezilmeden, yamulmadan ve dış yüzeyine herhangi bir zarar gelmeden ekstrüderden kontrollü bir hızla çıkarılmasını çekici sağlar [56, 58].

Çekici aynı zamanda üretimin hızını belirleyen elemandır. Çekicinin hızı borunun ekstrüderden çıkışına göre ayarlanır. Çekicinin hızının çok yüksek olduğu durumda boru kalibreye girmeden ve katılaşmadan kopabilir. Yavaş olduğu durumda ise boru şişebilir [58]. Bu yüzden çekicinin hızı ayarlanırken boruya ve prosese çok dikkat etmek gereklidir.

Çekicide yer alan bantların üzerinde boruyla sürekli olarak temas eden plakalar bulunmaktadır. Plakaların malzemesi, boruyu kavrayacak ve kaymayı önleyici bir sürtünme yaratacak kadar sert ve aynı zamanda ürünün hasar görmesini engelleyecek kadar yumuşak olmalıdır [56].

Sürekli ve kararlı bir üretim yapabilmek için çekicinin yüksek hassaslıkta motor sürücülere ve mekanik kontrol sistemlerine sahip olması gereklidir. Makinenin mekanik kararlılığı ekstrüzyon hattında oluşabilecek herhangi bir titreşimi ve boru üzerinde oluşabilecek çekme kuvvetlerini engellemek için önemli bir faktördür.



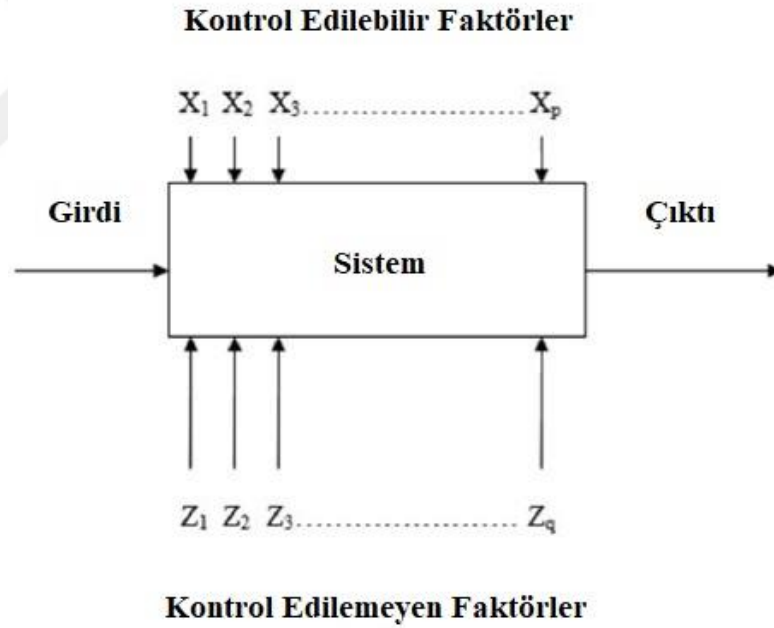
Şekil 3.25 : Gillard çekici ve Kesici cihazı [65].

Çekiciden hemen sonra hattın son elemanı olan kesici ünitesi bulunur. Çekiciden çıkan borular kesiciye girerler ve nihai ürün boyunda kesilirler. Yeni teknoloji birçok cihazda kesici ünitesi çekicilere entegre edilmiştir ve tek bir cihaz ile iki işlem birlikte gerçekleştirilir (Şekil 3.25).



4. TAM FAKTÖRİYEL DENEYSEL TASARIM

Deney, bir sistemi ya da süreci bilimsel olarak anlamak için yapılan testlere denir. Deneysel tasarım ise, bir sistemin performansını yukarıya çekmek için sistemi etkileyen değişkenlerde değişiklikler yaparak, sistemin sonucunda ortaya çıkan farklılıkların gözlenmesi ve bu farklılıkların yorumlanması şeklinde ifade edilebilir. Deneysel tasarımların asıl amacı, makul bir deney sayısı ile birlikte sistemin girdisi ve çıktısı arasındaki korelasyonu en az hata ile ortaya koyabilmektir (Şekil 4.1). Böylece girdi değişkenlerine dair optimum değerler elde edilmiş ve sistem iyileştirilmiş olur [66, 67, 68].



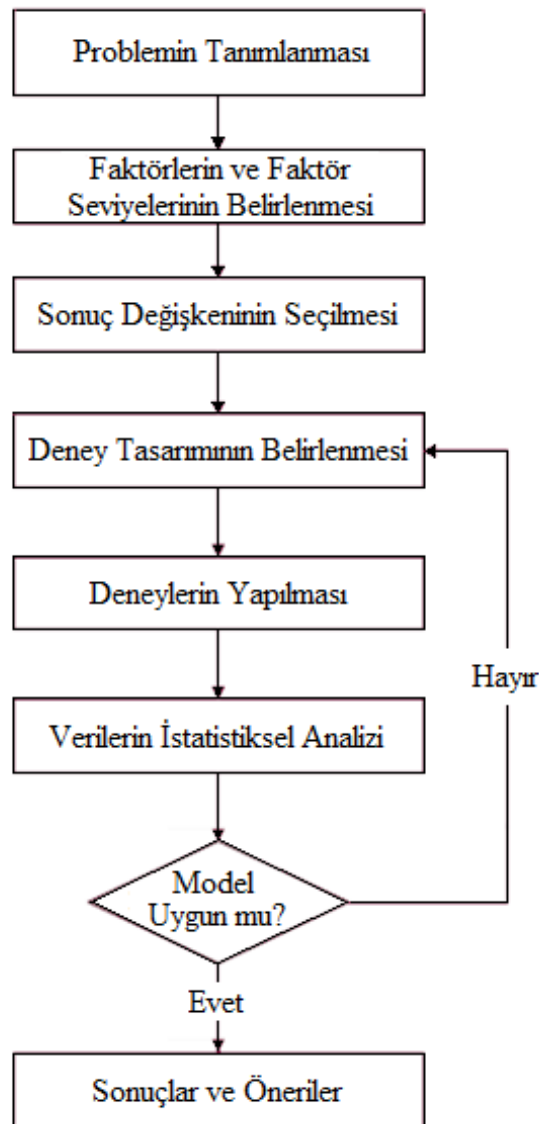
Şekil 4.1 : Bir sistemin genel modeli.

Deneysel tasarımda sisteme etki eden girdi değişkenleri faktör ya da parametre olarak adlandırılır. Bu değişkenlerin farklı derecelerine ise seviye adı verilir. Bir deneysel tasarım birden çok faktör ve seviye ile oluşturulabilir [67, 68].

Deney tasarımı ilk kez İngiliz istatistikçi R. A. Fisher ve arkadaşları tarafından 1920’li yıllarda geliştirilmiştir. Fisher ayrıca deneysel tasarımın temeli olarak kabul edilen ve

deney sonuçlarının analizlerinin yapılmasını sağlayan varyans analizi (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Bu yöntem test edilen ürünlerin performansları arasındaki farklılığı ortaya koyan istatistiki bir analiz yöntemidir Fisher'dan sonra Taguchi de deneysel tasarım teknikleri ile alakalı yeni yaklaşımlar ortaya koymuş ve bunun sonucunda da kendi adı ile anılan bir deneysel tasarım metodu geliştirmiştir [67, 69].

Deneysel tasarımlar bir üretim prosesini iyileştirmek ve optimize etmek, yeni bir ürün veya yeni bir proses geliştirmek amacıyla mühendislik alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Deney tasarımı genel olarak 7 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.2). [67, 70].



Şekil 4.2 : Deneysel tasarımın aşamaları [67]

İlk aşama problemin tanımlanmasıdır. Burada problem net olarak belirlenmeli ve anlaşılabilir bir şekilde tanımlanmalıdır. Böylece problemin çözümüne yönelik olarak atılacak adımlar daha net olacaktır.

İkinci aşama ise faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenme aşamasıdır. Burada tanımlanan probleme etki eden faktörler ve bu faktörlerin hangi seviyelerde test edilecekleri belirlenmelidir. Belirlenen faktörler ve faktörlerin seviyeleri, ortaya çıkacak deney tasarımını ve tasarımın testi için gerekli olacak deney sayısını belirleyecektir.

Üçüncü aşama sonuç değişkeninin seçilmesidir. Bu aşamada, belirlenen faktörlerdeki değişimlerin doğrudan etki edeceği ve problemin çözümüne yönelik bir yaklaşım ortaya koyabilecek çıktılar belirlenmelidir.

Dördüncü aşama ise deney tasarımının belirlenmesidir. Burada seçilecek olan deneysel tasarım metodu problemin çözümüne yönelik sonuçlar ortaya koymalıdır. Bu seçim yapılırken toplam deney sayısı, deney sisteminin yeterliliği, harcanacak zaman ve toplam maliyet gibi birçok koşul gözden geçirilmelidir.

Beşinci aşama olan deneylerin yapılışı ise en kritik aşamalardan bir tanesidir. Çünkü deneysel verilerin yani deney sonuçlarının tamamı bu aşamada elde edilir. Analizin doğru bir şekilde tamamlanabilmesi için deneylerin doğru ve kontrollü bir şekilde yapılması gereklidir.

Altıncı aşama ise verilerin istatistiksel analizi aşamasıdır. Bu aşamada deneyler sonucunda elde edilmiş olan veriler, istatistiksel ve analitik olmak koşuluyla birçok yöntem ile analiz edilebilir. Böylece analiz sonuçları daha doğru ve objektif sonuç vermektedir. Bu işlem için varyans analizi (ANOVA) sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Yedinci ve son aşama ise sonuçlar ve öneriler aşamasıdır. Burada analiz edilen veriler ışığında problemin çözümüne dair elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait yorumlar ortaya konulur.

Günümüzde deneysel tasarım metotları birçok sektörde ve birçok bilimsel çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan deneysel tasarım metotları arasında tam faktöriyel deneysel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım ve Taguchi metotları örnek olarak gösterilebilir [67, 68].

Faktöriyel tasarımlar, birbirleriyle etkileşim içerisinde olabilecek en az iki faktörün en az ikişer seviyesinin ele alınarak oluşturulduğu deneysel tasarım metotlarıdır. Bu yöntemle birlikte faktörlerin ve faktörler arası etkileşimlerin sonuç üzerine olan etkileri belirlenebilir. Bu strateji ile her seferinde bir faktörün etkisinin incelenmesinin yerine tüm faktörlerin bütün kombinasyonları birlikte incelenir [67].

Hatta bir faktörün etkisi, diğer faktörlerin farklı seviyelerinde incelenebilir ve faktörler arası etkileşim olup olmadığı sonucuna ulaşılabilir. Bu yöntem ile test edilen faktörler arasında herhangi bir etkileşim ortaya çıkmasa bile elde edilen sonuçlar daha güvenilir [70].

Tam faktöriyel deneysel tasarımda, toplam deney sayısı 4.1 eşitliğine göre belirlenir.

$$N = L^k \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte N toplam deney sayısını, k faktör sayısını ve L ise seviye sayısını ifade etmektedir [71]. Örneğin; iki seviyeli ve üç faktörlü bir deneysel tasarımda toplamda 8 farklı deney sayısı mevcuttur (Çizelge 4.1). Bu deneylerin üç tanesi A, B ve C parametrelerinin ana etkilerini görmeye, diğer üç tanesi AB, AC ve BC ikili etkileşimlerini görmeye, sonuncusu ise ABC üçlü etkileşimini görmeye yarar [70].

Çizelge 4.1 : Tam faktöriyel deneysel tasarım tablosu.

Deney Sayısı	Parametre Seviyeleri			Sonuç
	A	B	C	
1	1	1	1	S ₁
2	1	1	2	S ₂
3	1	2	2	S ₃
4	1	2	1	S ₄
5	2	1	1	S ₅
6	2	1	2	S ₆
7	2	2	1	S ₇
8	2	2	2	S ₈

Seçilen deneysel tasarımı metodu ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar genellikle yardımcı bir analiz programı ile analiz edilirler. Bu kapsamda günümüzde Design-Expert ve Minitab programları sıklıkla kullanılmaktadır. Programlar aracılığıyla varyans analizi veya regresyon analizi gibi bazı analizler yapılmaktadır. Bu analizler sonucunda grafikler, diyagramlar ve denklemler gibi bazı çıktılar elde edilmektedir. Elde edilen bu çıktılar, hem test edilen faktörlerin sistem üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için hem de deneysel tasarımı doğruluğunun test edilebilmesi için kullanılırlar.

Deneysel tasarımı analizi sırasında, ortaya konulan modelin uygunluğunu ve güvenilirliğini ölçmek için bazı hipotez testleri uygulanmaktadır. Bunun için öncelikle parametreler ile deneyin sonuçları arasında herhangi bir ilişki olmadığı kabul edilir ve bu fenomen H_0 (sıfır hipotezi) olarak ifade edilir. İstatistiksel hipotez testleri, deney sonuçlarının incelenerek sıfır hipotezinin ret edilmesi veya edilmemesi arasında karar vermemizi sağlar. Böylece faktörler ile sonuçlar arasında bir ilişki olup olmadığını belirleriz. Bu kararı verirken hata yapma ve yanlış bir çıkarım ortaya koyma olasılığımız da vardır. Bu olasılık anlamlılık seviyesi (α) ile garanti altına alınır ve sıfır hipotezi sadece anlamlılık seviyesinden daha düşük hesaplanan bir hata olasılığı neticesinde ret edilir. Anlamlılık seviyesi genelde %5 ($\alpha=0,05$) olarak kabul edilir. Bu da sıfır hipotezinin sadece %5'ten küçük bir hata olasılığının olduğu durumlarda ret edilebileceği anlamına gelmektedir. Böylece yapılan analiz %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş olur. Sıfır hipotezinin ret edilmesi de faktörlerden en az birinin model üzerinde önemli etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir [72].

Varyans analizi, test edilen grupların sonuçları arasındaki farkları inceleyerek, gruplar arasında bir fark olup olmadığını ortaya koyan istatistiksel bir metottur. Analizin asıl amacı, incelenen faktörlerin deney sonuçlarını ne kadar etkilediklerini ve bu faktörlerin farklı seviyelerinin sonuçta nasıl bir değişiklik yaratacağını ortaya çıkarmaktır [67, 73]. Analiz sonucunda her bir faktör için F değeri ve P değeri olarak adlandırılan istatistiki değerler elde edilirken, ortaya konulan deneysel tasarımı için ise R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri elde edilmektedir. Bunların yanı sıra pareto diyagramı, regresyon denklemi ve etki grafikleri gibi sayısal ve görsel istatistiki değerler de elde edilmektedir.

P değeri bir faktörün olasılık değeri anlamına gelmektedir. Herhangi bir faktörün sistem için anlamlı olup olmadığını anlamamıza yarayan istatistiksel bir değerdir. Bir

faktörün sonuca olan etkisinin istatistiksel olarak anlam ifade edebilmesi için o faktörün varyans analizi ile elde edilen P değerinin sistemin anlamlılık seviyesinden daha küçük olması gereklidir. P değeri ne kadar küçük olursa o faktörün sisteme olan etkisi bir o kadar yüksektir. Yani P değerinin sistemin anlamlılık seviyesinden küçük olduğu durumlarda, o faktör için H_0 hipotezi ret edilir ve o faktörün sistem üzerinde etkisi olduğu kabul edilir [72].

F değeri bir faktörün varyans oranı olarak da ifade edilebilir. Modelin anlamlılığını tespit etmeye yarayan istatistiksel bir ifadedir. İlk kez R. A. Fisher tarafından hesaplandığı için F harfi ile gösterilir. Analiz sonucunda her bir faktör için elde edilen F değerine güven testi yapılır, yani incelenen değer modelin F değerinden büyük ise o faktörün sisteme etkisinin olacağı kabul edilir [73, 74].

R^2 (R-sq) yani regresyon katsayısı, varyans analizi tarafından hesaplanan bir değişkenlik oranıdır. Bu oran toplam değişimin ne kadarlık bir kısmının seçilen model tarafından açıklanabildiğini ortaya koyar. Seçilen modelin doğruluğu regresyon katsayısının yüksek olması ile kanıtlanabilir. Düzeltilmiş R^2 [R-sq (adj.)] ise modelde bulunan faktör sayılarının model üzerine olan etkilerini ortaya koyan bir istatistiki değerdir. Düzeltilmiş regresyon katsayısı değerinin de yüksek olması ve regresyon katsayısı değerine yakın olması modelin doğruluğunu ortaya koyar. Ayrıca bu iki değer arasındaki farkın yüksek olması, istatistiksel olarak sistem için önemsiz bazı faktörlerin modele katılmış olduğunu gösterir [72, 74].

Regresyon denklemi ise sisteme etki eden bütün faktörleri hesaba katan ve sonuç değişkenini bu faktörler üzerinden tanımlayan bir sayısal formüldür. Bu formülde sisteme daha fazla etki eden faktörlerin katsayısı daha yüksektir. Sisteme etkisi az olan faktörlerin ise katsayısı çok düşüktür. Faktörlerin sisteme olan etkileri negatif ise katsayılar negatif, etkileri pozitif ise katsayılar pozitif değerler alır.

Pareto diyagramları, sisteme etki eden önemli faktörleri daha önemsiz faktörlerden ayırmak için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu diyagramlarda, faktörler sisteme etkisi bakımından önem sırasına göre sıralanır. Böylece hangi faktörün sisteme etkisinin daha yüksek olduğu çok kolay bir biçimde ortaya çıkar.

Etki grafikleri ise faktörlerin seviyelerinde yaşanan değişimlerin çıktı değişkenlerini nasıl etkilediklerini gösteren grafiklerdir. Bu grafiklerde her bir parametrenin farklı

seviyelere göre sistem üzerindeki tekil etkilerini görebildiğimiz gibi faktörler arasındaki ikili etkileşimlerin sistemi nasıl etkilediğini de görme şansı yakalarız.





5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 PPS Boru Üretimi

Bu tez çalışması kapsamında üretilecek olan PPS borular 8 mm dış çap, 1 mm et kalınlığı ve 6 mm iç çap ölçülerine sahiptir. Dış çap ve iç çap ölçüleri için $\pm 0,10$ mm tolerans belirlenmiştir. Et kalınlığı ölçüsü için ise minimum değer 0,90 olarak belirlenmiştir.

5.1.1 Kullanılan hammadde

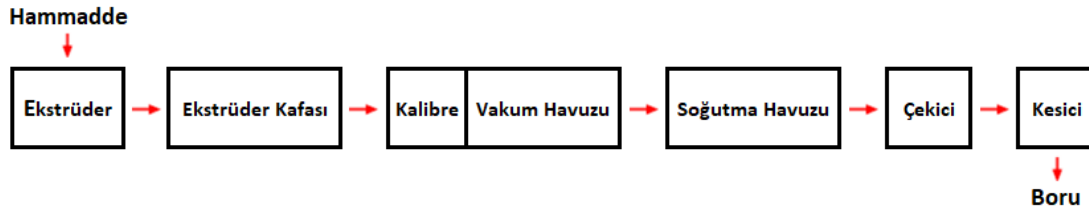
PPS hammaddesi olarak, Toray Industries firmasının TORELINA™ ticari ismine sahip olan katkılı ekstrüzyon malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin özellikleri Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kullanılan hammaddenin özellikleri.

Malzeme Özelliği	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm ³	1,21
T _M	°C	278
Çekme Mukavemeti	MPa	40
Kopma Uzaması	%	60
Erime Akış İndeksi	g/10 dk	11,9

5.1.2 Üretim akışı

Bu çalışma kapsamında da prosesin her adımındaki parametreler dikkatlice değerlendirilmiş ve buna uygun olarak bir üretim akış planı ortaya konulmuştur. Teklas’ın ekstrüzyon hatlarındaki üretimi aşağıdaki akış planına göre sürdürülmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Üretim akışı.

Malzeme 25 kilogramlık paketler halinde firmadan tedarik edilmiştir. Bu paketlerin malzeme ile temas eden iç yüzeyi alüminyum kaplıdır. Ayrıca paketler özel bir teknoloji ile, açılana kadar herhangi bir şekilde hava ile temas etmeyecek şekilde kapatılmışlardır. Ancak yine de malzemenin üretim öncesinde belirli bir süre kurutulması tedarikçi firma tarafından tavsiye edilmiştir.

PPS granülleri nemi çok hızlı bir şekilde absorbe etmektedir. Malzemenin çok düşük oranda dahi nem içermesi, ekstrüzyon işlemi esnasında boru üzerinde yapısal kusurlara yol açabilmektedir [58, 75]. Malzemenin nemini gidermek için ekstrüzyon öncesinde bir kurutma işlemi uygulanmalıdır. Kurutma işlemi, malzemenin silo adı verilen kurutucular içerisinde 4 saat boyunca 140 °C’de bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Kurutma işlemi.

Kurutulmuş malzeme çekiciler vasıtasıyla doğrudan besleme hunisine aktarılır. Bu aktarım işlemi otomatik olarak vakumlu bir sistem aracılığıyla gerçekleşir. Besleme hunisindeki malzeme azalınca vakum sistemi devreye girer ve malzeme kurutma silosundan besleme hunisine aktarılır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Ekstrüder besleme hunisi.

Besleme hunisi ekstrüder vidasına doğrudan bağlıdır. Hat çalıştığı sürece huniden vidaya sürekli olarak malzeme aktarımı gerçekleşir (Şekil 5.4). Vidanın besleme bölgesine giren malzeme, vidanın hareketi ve sıcaklığı etkisiyle viskoz bir ergiyik haline gelir. Bu işlem sırasında ekstrüder sıcaklığı 275 °C ve vida hızı 72 devir/dakika olarak kaydedilmiştir. Ergiyik halde vidanın içerisinde ilerlemeye devam eden malzeme ekstrüder kafasının içerisine doğru yüksek basınçla itilir.



Şekil 5.4 : Ekstrüder vidasının besleme bölgesi.

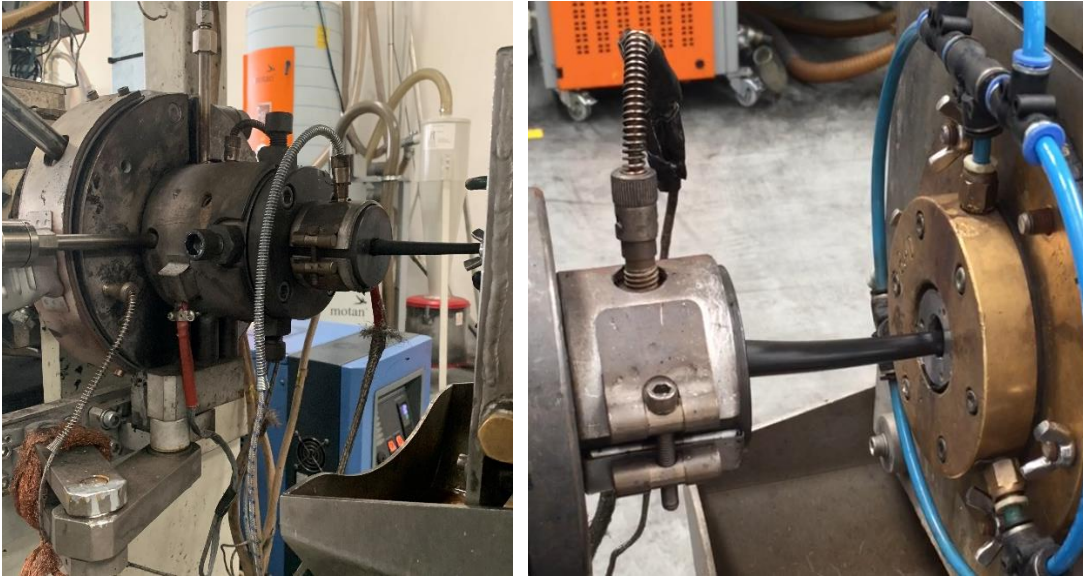
Vidadan çıkan malzeme ekstrüder kafasının içerisinde bulunan, uç ve mühre olarak adlandırılan kalıpların içerisine girer. Malzeme burada iç çapı ve dış çapı yaklaşık olarak belli olan bir boru şeklini aldığı için uç ve mührenin ölçüleri kritiktir. Bu işlem

sırasında kullanılan uç-mühre ikilisinden, uç 8 mm dış çap ($D_{uç}$) ölçüsüne ve mühre ise 12 mm iç çap ($D_{mühre}$) ölçüsüne sahiptir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Uç ve mühre ikilisi.

Ekstrüder kafasından boru olarak çıkan malzeme daha sonra vakum havuzuna girer (Şekil 5.6). Vakum havuzu borunun son ölçülerinin belirlenmesinin yanı sıra borunun suyla olan ilk temasını da gerçekleştirmektedir. Bu yüzden vakum havuzu proseste kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 5.6 : Borunun vakum havuzuna girişi.

Vakum havuzunun ilk bölümü borunun dış çap ve et kalınlığının belirlendiği kalibre bölümüdür. Boru kalibratörün içerisine girdikten sonra kalibratörün yüzeyinde bulunan delikler sayesinde vakumlanır ve kalibratörün iç yüzeyine doğru bastırılır.

Böylece borunun dış çapı, kalibratörün iç çapına orantılı bir şekilde belirlenmiş olur. Bu işlem sırasında iç çapı (D_{kalibre}) 8,35 mm olan bronz bir tüp kalibre kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Tüp kalibratör.

Kalibratörden çıkan boru, vakum havuzunun ikinci bölümünde ilerlemeye devam eder. Boruya bölümde de bir vakum uygulanır. Genel olarak bakıldığı zaman vakum havuzunun tamamında uygulanan vakumun borunun dış çapı üzerinde doğrudan etkisi vardır. Ekstrüzyon işlemi sırasında (-) 40 mm-Hg değerinde bir vakum uygulanmıştır. Vakum havuzundan çıkan borular içerisi su ile dolu olan soğutma havuzuna girerler (Şekil 5.8). Soğutma havuzu borunun oda sıcaklığına homojen olarak soğutulmasıyla görevlidir. Bu yüzden içerisindeki suyun sürekli olarak sirkülasyon halinde olması gereklidir.



Şekil 5.8 : Soğutma havuzu.

Suyla temas eden borular, dış yüzeylerinde bulunan su damlacıklarının ve nemin giderilmesi için bir hava üfleyici ünitenin içerisinden geçerler. Bu ünite sayesinde

ölçüm cihazına girecek olan borular kurulanmış olur ve yanlış bir optik ölçüm ihtimalinin önüne geçilmiş olur. Sonrasında x-ışını bazlı bir ölçüm cihazına giren boruların dış çap, iç çap, et kalınlığı ve ovalite değerleri ölçülür. Bu değerler cihazın ekranına anlık olarak yansıtılır ve prosesin güvenliği sağlanır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : SIKORA x-ışını ölçüm cihazı (a) ve ölçüm işlemi (b).

Ölçüm işleminden geçen borulara markalama yapılır. Markalamada; hammadde tedarikçisi, hammadde, deneme numarası, boru çapı, boru et kalınlığı ve üretim tarihi bilgileri bulunur. Bu işlemde markalama “TORAY Torelina >PPS< 8,0x1,00 / Gün/Ay/Yıl - Saat:Dakika:Saniye” ibareleriyle yapılmıştır.

Markalama işleminden sonra borular çekicinin içerisine girerler ve içeride bulunan iki silindirik bantın ortasından geçerler (Şekil 5.10). Bu bantın hızı çekici hızı anlamına gelmektedir. Çekici hızı da aynı zamanda üretim hızını ifade eder. Çekici hızı yüksek veya düşük olursa, boruda kopma veya şişme durumları ortaya çıkabilir. Dolayısıyla çekici hızının ürün kalitesine doğrudan bir etkisi vardır. Bu işlemde ise hat hızı 15 metre/dakika olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.10 : Kuartro-Plast çekici.

Bu hatta bulunan çekici cihazı aynı zamanda kesme işlevini de gerçekleştiren birleşik bir cihazdır. Boru istenilen boyda kesilir ve kesilen toplam boru adeti de anlık olarak kaydedilir. Bu işlemde borular 1100 mm ölçüde kesilmiş ve ürünün nihai ölçüsü elde edilmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 : Kesme işlemi.

5.2 Proses Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deneysel Tasarım

Ekstrüzyon işleminin verimli olarak gerçekleşebilmesi için makinelerin ve ekipmanların düzgün koşullarda çalışması gereklidir. Bu yüzden de sıcaklık, basınç ve makine hızı gibi proses parametrelerinin kontrol altında tutulması gereklidir. Sürekli bir üretim yöntemi olan ekstrüzyonda bir parametrenin veya koşulun stabilize edilmesi hem ürünün kalitesini arttıracak hem de enerji tasarrufu sağlayacaktır. Temelde plastik boru ekstrüzyonu; hat hızı, vakum, malzeme sıcaklığı, vida hızı, vida geometrisi ve vida basıncı gibi parametrelere bağlıdır [76, 77]. Ekstrüzyon üretim yönteminde, proses parametrelerinin optimizasyonu literatürde birçok kez çalışılmıştır.

Çoban ve ekibi PPS'in enjeksiyon yöntemi ile üretimini incelemiş ve kovan sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, basınç süresi gibi parametrelerin malzemenin termal, mekanik ve viskoelastik özelliklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu değerlendirme için Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır [78].

Haudin ve Carin'in başı çektiği ekip birçok kez yarı kristalin bir termoplastik olan poliamid 12 malzemesinden boru ekstrüzyonunu incelemiş ve vakum seviyesi, soğutma suyu sıcaklığı, soğutma suyunun debisi gibi parametrelerin borunun kalibrasyon işlemine, dolayısıyla mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. İncelenen mekanik özellikler arasında young modülü, akma gerilimi, kopma gerilimi ve kopma uzaması gibi çekme özellikleri ve patlatma basıncı gibi bitmiş ürün özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikleri incelerken kendi geliştirdikleri bir modelleme kullanmışlardır [79, 80, 81, 82].

Verma ve Dubey, HDPE malzemesinden boru ekstrüzyonunu incelemiş ve sıcaklık, vida hızı ve hat hızı parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Bunun için Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır [76].

Gadekar ve ekibi plastik boru ekstrüzyonunu incelemiş, sıcaklık ve hat hızı parametrelerinin ürünün kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Bu değerlendirme için Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır [77].

Kumar kardeşler, HDPE malzemesinden boru ekstrüzyonunu incelemiş ve ekstrüzyon basıncı, malzeme sıcaklığı, vida hızı ve sarıcı hızı parametrelerinin ürünün çekme kuvvetine olan etkisi üzerine çalışmışlardır. Bunun için Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır [83].

Northcutt ve ekibi, polikaprolakton malzemesinin ekstrüzyonunu incelemiş, besleme hızı ve sıcaklığın malzemenin viskozitesine ve kristalleşme kinetiğine olan etkisi üzerine çalışmışlardır [84].

Chen ve ekibi, polipropilen malzemesinin ekstrüzyonunu incelemiş ve sıcaklık ve vida hızı parametrelerinin malzemenin viskozitesine, dolayısıyla ürünün kalitesine olan etkisini incelemişlerdir. Bu incelemeyi yaparken kendi geliştirdikleri bir modelleme kullanmışlardır [85].

Abeykoon ve ekibi birçok kez plastik ekstrüzyon prosesini incelemiş ve sıcaklık, vida geometrisi ve vida hızı parametrelerini optimize ederek ekstrüzyon sırasında tüketilen enerji miktarını düşürmeyi amaçlamışlardır. Bunun için kendi geliştirdikleri bir modelleme kullanmışlardır [86, 87, 88].

Sorroche ve ekibi ise benzer şekilde polietilen malzemesinin ekstrüzyonunu incelemiş ve sıcaklık, vida geometrisi ve vida hızı parametrelerini optimize ederek ekstrüzyon sırasında tüketilen enerji miktarını minimum seviyeye çekmeyi amaçlamışlardır [89].

Bu çalışma kapsamında incelenecek olan faktörler, literatürde etkisi saptanmış ve mevcut üretim hattında işlevselliği test edilebilecek olan faktörler dikkate alınarak seçilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : Anlık takibi yapılabilen proses parametreleri

Bu kapsamda, çalışmanın gerçekleştirildiği ekstrüzyon hattında anlık olarak da müdahale edilebilen vakum, hat hızı ve sıcaklık faktörleri test edilecek faktörler olarak belirlenmiştir. Her bir faktörün biri düşük ve biri yüksek olmak üzere iki farklı seviyesi ele alınmıştır. Seçilen faktörler, faktör seviyeleri ve birimleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Deneysel tasarım parametreleri ve seviyeleri

Faktör	Birim	Seviye 1	Seviye 2
Vakum	mm-Hg	(-40)	(-55)
Hat Hızı	metre/dakika	13	15
Sıcaklık	°C	275	285

3 faktörlü ve 2 seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarımlarda en az 2^3 yani 8 farklı deney yapılmalıdır [66]. Bu 8 farklı deneyin her biri bir deneme indisi ile adlandırılmış ve üretim bu deneme indislerine göre takip edilmiştir.

Çizelge 5.3 : 3 faktörlü ve 2 seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarım ve deneme indisleri

Deneme İndisi	Vakum	Hat Hızı	Sıcaklık
A	1	1	1
B	1	1	2
C	1	2	1
D	2	1	1
E	2	2	1
F	2	1	2
G	1	2	2
H	2	2	2

Boru üretimi sırasında Çizelge 5.3'te yer alan proses faktörleri ve seviyeleri takip edilmiş, bu indisler boruların üzerine markalama işlemiyle yazılmıştır. Daha sonra her deneme üretiminden borular alınmış ve bu borular çeşitli testlere tabi tutulmuştur.

5.3 Test Aşaması

Ekstrüzyon işlemi ile üretilen borular yapıları ve şekilleri gereği doğrudan araçta kullanılmaya uygun değildir ve yarı mamul olarak sınıflandırılırlar. Bu boruların bitmiş ürün haline getirilmesi için termoform adı verilen işleme tabi tutulmaları gereklidir. Bu işlemde sıcaklık etkisiyle birlikte boruların kristalinite oranı artar. Ayrıca borular yine sıcaklık etkisiyle birlikte montajlandıkları kalıbın şeklini alırlar. Böylece borular hem yapısal olarak daha dayanıklı olurlar hem de araçtaki montaj pozisyonlarına uygun şekle gelirler. PPS boruların tamamı termoform işlemine girdikten sonra, bitmiş ürün haline gelir.

Bitmiş ürünün kalitesini belirleyen kritik özellikler kopma uzaması, patlama basıncı ve darbe direnci gibi özelliklerdir. Malzemenin yapısı ile doğrudan alakalı olan bu özellikler proses kaynaklı, özellikle de kalibrasyon kaynaklı olarak ortaya çıkarlar.

Kalibrasyon işlemi vakum etkisiyle birlikte su dolu bir tankta gerçekleştirilir. İşlem sırasında borunun dış yüzeyi tankta bulunan su ile temas ederek soğumaya başlar. Borunun dış tarafı ile iç tarafının soğuma hızı aynı olmadığı için borunun yüzeyinde termal gerilmeler oluşmaya başlar. Bununla birlikte boru hat boyunca sürekli olarak çekildiği için boru üzerinde mekanik gerilmeler de oluşmaya başlar. Hem soğuma hem de çekme etkisiyle boru üzerinde oluşan bu etkilere moleküler yönelmeler denir [66].

Kopma uzaması, borunun mikroyapısı ve ekstrüzyon koşullarından kaynaklanan moleküler yönelmesi (oryantasyonu) ile doğrudan ilişkilidir. Moleküler yönelme malzemenin katılma sırasında çekilmesiyle meydana gelir. Bu yüzden kalibrasyon tankındaki çekme oranına, dolayısıyla uygulanan vakuma ve hat hızına büyük ölçüde bağlıdır. Kalibrasyon koşullarından dolayı ortaya çıkan moleküler yönelme azaltılarak kopma uzaması değerinde artış elde etmek mümkündür [66]. Bu tez çalışması kapsamında her bir denemenin kopma uzaması değerleri incelenmiş ve elde edilen sonuçların proses parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir.

Ürünün patlatma basıncı, moleküler bozulmanın malzemenin mukavemetini azalttığı durumlarda düşük olmaktadır. Bunun yanı sıra ekstrüzyon işlemi sırasında borunun

yüzeylerinde ortaya çıkan bölgesel zayıflıklar da borunun patlatma basıncının düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu bölgesel zayıflıklar kalibrasyon ve proses koşulları ile doğrudan ilişkilidir [90]. Bu çalışma kapsamında her bir denemenin patlatma basıncı değerleri incelenmiştir. Elde edilen patlatma basıncı sonuçları ile proses parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Bunların yanı sıra malzemenin birçok özelliği, malzemenin kristalinite oranındaki değişimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden malzemenin kristalinite özelliklerini belirlemek malzemenin özelliklerini belirlemek anlamına gelmektedir. Örneğin; malzemenin kristalinite oranı yüksek ise erimesi daha yüksek ısı enerjisiyle, malzemenin kristalinite oranı düşük ise erimesi daha düşük ısı enerjisiyle gerçekleşecektir [35, 36].

Bu çalışmada yapılan DSC analizleriyle her bir numunenin kristalin erimeleri gerçekleştirilmiş ve bu erimelere ait olan endotermik pik noktaları elde edilmiştir. Bu pik noktalarının altında kalan alanlar numunelerin kristalin erimesi gerçekleşirken absorb ettikleri toplam enerjiye eşittir. Bu enerji aynı zamanda malzemenin erime entalpisi (ΔH) olarak da ifade edilebilir [35, 36].

Elde edilen entalpi değerleri malzemenin proses şartlarına bağlı olarak her bir numune için farklılık göstermektedir. Her bir numune için elde edilen erime entalpi değerlerinin (ΔH_n), %100 kristalin yapıya sahip olan PPS'in erime entalpi değerine (ΔH_m) oranı ise numunelerin kristalinite yüzdesini göstermektedir (5.1). Literatürde %100 kristalin yapıdaki PPS'in erime entalpi değeri (ΔH_m) 76,5 Joule/gram olarak saptanmıştır [91].

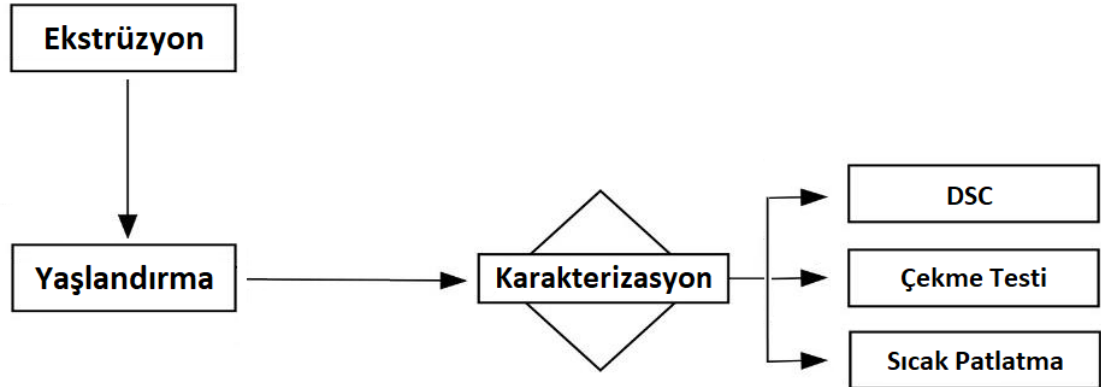
$$\% \text{ Kristalinite} = (\Delta H_n / \Delta H_m) \times 100 \quad (5.1)$$

Yukarıdaki formüle göre her bir numunenin kristalinite oranı hesaplanmış ve elde edilen kristalinite değerlerinin proses parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir.

5.3.1 Test akış şeması

Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ve 8 farklı deneme indisine sahip olan numune borular ilk önce termoform işleminin koşullarında yaşlandırılmıştır. Böylece teste girecek olan boruların tamamı müşteriye sevk edilen nihai ürünlerle aynı özelliklere sahip olmuştur. Yaşlandırma işleminden çıkan borular uygun numune boylarında ve miktarlarında

hazırlanarak DSC analizi, çekme testi ve sıcak patlatma testlerine tabi tutulmuştur (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Test akış şeması.

5.3.2 Kullanılan test cihazları

Borulara uygulanan yaşlandırma işlemi bir termoform fırınında (Şekil 5.14) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.14 : Termoform fırını.

Boruların DSC analizi TA Instruments marka bir DSC cihazıyla (Şekil 5.15) gerçekleştirilmiştir.



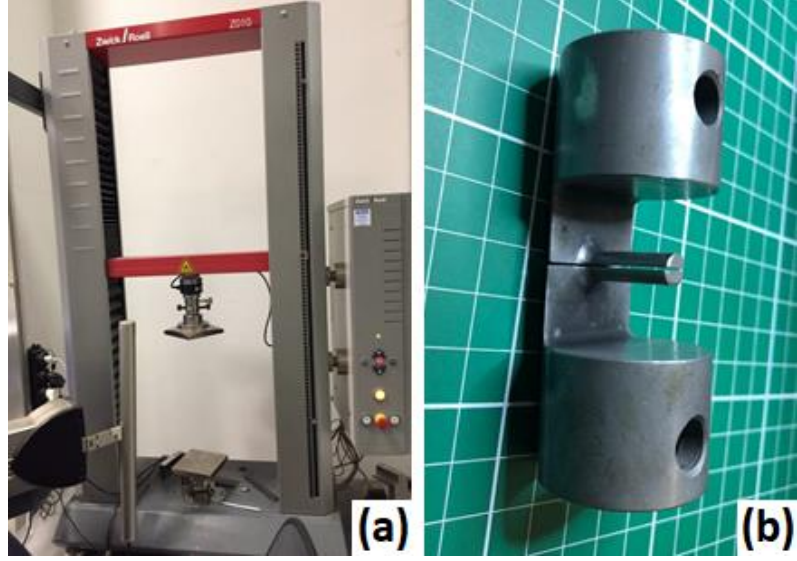
Şekil 5.15 : TA Instruments DSC 250 cihazı.

Borulara uygulanan sıcak patlatma testi Ottonom marka bir patlatma test cihazında (Şekil 5.16) gerçekleştirilmiştir



Şekil 5.16 : Ottonom patlatma test cihazı.

Borulara uygulanan kopma uzaması testi Zwick/Roell marka bir çekme cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca testi gerçekleştirmek için cihazda bir eksenel çekme aparatı kullanılmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 : Zwick/Roell çekme test cihazı (a) ve eksenel çekme aparatı (b).

5.3.3 Testlerin uygulanışı

5.3.3.1 Yaşlandırma

Numuneler test öncesinde termoform işleminin koşullarında herhangi bir termoform kalıbına yerleştirilmeden yaşlandırıldı. Yaşlandırma işlemi 240 °C sıcaklıkta 25 dakika boyunca gerçekleşmiştir (Şekil 5.18).

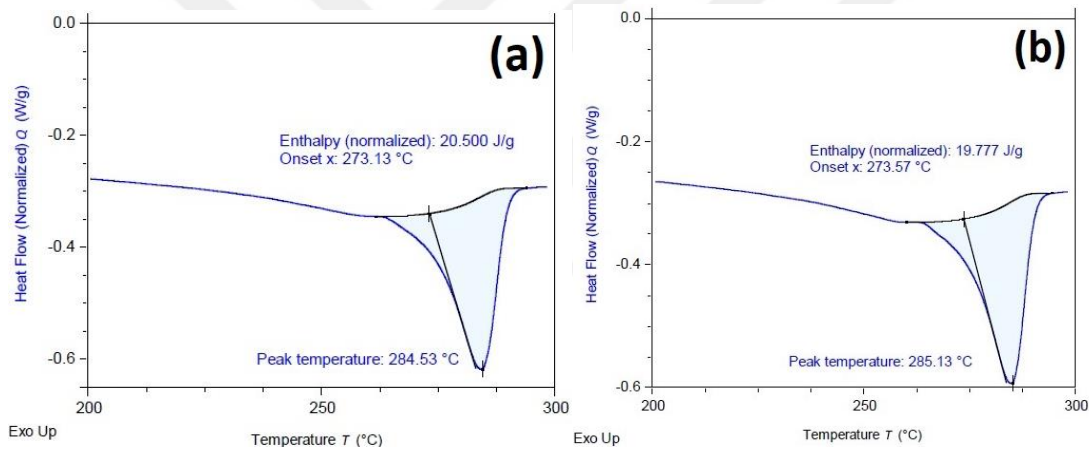


Şekil 5.18 : Yaşlandırmanın uygulanışı.

5.3.3.2 DSC analizi

Her deney grubuna ait birer adet numune yaşlandırıldıktan sonra DSC analizi için hazırlandı. Numunelere iki adet dinamik DSC analizi uygulandı. Bunlardan birincisi, polimerin termal geçmişinin etkisini elimine etmeye yarayan ve endotermik pik elde edilen analizdir. İkincisi ise numunenin erime sıcaklığının ve erime entalpisinin elde edildiği ikincil endotermik pikini ortaya koyan analizdir.

Şekil 5.19'daki sonuçlar, F deney grubuna ait numunenin 284,53 °C erime sıcaklığına ve 20,500 Joule/gram erime entalpisine, H deney grubuna ait numunenin ise 285,13 °C erime sıcaklığına ve 19,777 Joule/gram erime entalpisine sahip olduklarını gösteren ikinci dinamik DSC analizlerine aittir. Bu analizler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile gerçekleştirilmiştir. İnceleme esnasında sadece malzemenin erime noktasında oluşan pikler dikkate alınmıştır.



Şekil 5.19 : F (a) ve H (b) numune gruplarına ait ikinci dinamik DSC grafikleri.

5.3.3.3 Sıcak patlatma testi

Her deney grubuna ait 3 adet boru yaşlandırıldıktan sonra 300 mm boyunda kesilerek test numunesi haline getirildi. Numuneler cihaza bir tarafları akışkan giriş çıkışı olmayacak şekilde bağlandı. Numunelerin diğer tarafı ise akışkanın numune içerisine giriş yapacağı akış kanalına bağlandı.

Test başladıktan sonra kanaldan gelen akışkan borunun içerisine girer ve boru içerisindeki basınç sürekli olarak artar. Belli bir basınç değerinin üzerine çıktığında boru daha fazla direnç gösteremez ve patlar. Test esnasında patlatma cihazına bağlı bir manometre aracılığıyla kanalda oluşan basınç değeri sürekli olarak ölçülür. Ölçülen maksimum basınç değeri numunenin patlatma test sonucunu gösterir.

Patlatma testi 125 °C kabin sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Basınç artış hızı ise 25 bar/dakika olarak uygulanmıştır (Şekil 5.20).

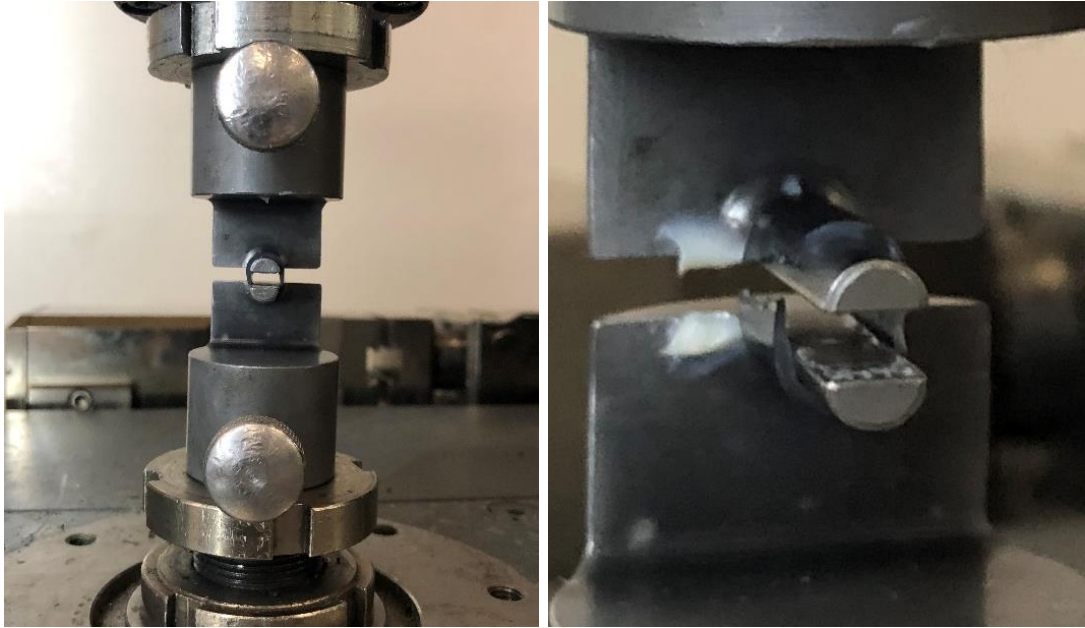


Şekil 5.20 : Sıcak patlatma testinin uygulanışı.

5.3.3.4 Çekme testi

Her deney grubuna ait 1 adet boru, yaşlandırıldıktan sonra 10 mm boyunda 3 adet test numunesi haline getirilmiştir. Daha sonra bu numuneler eksenel çekme aparatına yerleştirildi ve çekme testi başlatılmıştır. Test sonrasında numunelerin kopma uzaması değerleri kaydedilmiştir.

Çekme testi 25 mm/dakika çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.21)



Şekil 5.21 : Çekme testinin uygulanışı.



6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 DSC Analizi

Her deneme indisinden alınan numuneler ile gerçekleştirilen DSC analizleri sonucunda, numunelerin ikinci endotermik piklerinden erime entalpisi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 5.1 eşitliği kullanılarak kristalinite oranı değerlerine dönüştürülmüş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de belirtilmiştir. Erime entalpisi değerleri Joule/gram cinsinden iken kristalinite oranı değerlerinin tamamı (%) cinsindedir.

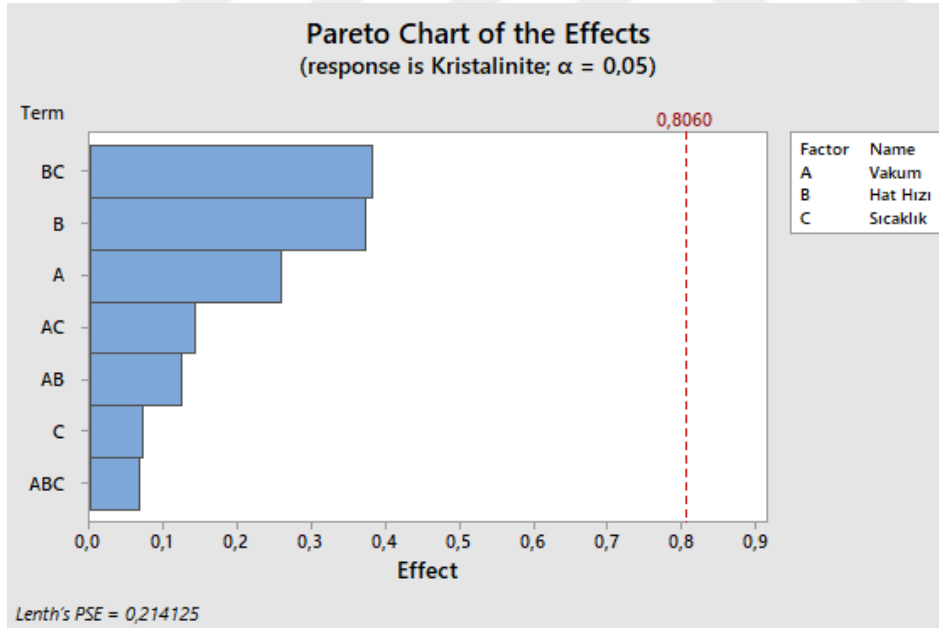
Çizelge 6.1 : DSC analizi ile elde edilen entalpi sonuçları ve kristalinite oranları.

Deneme İndisi	Vakum	Hat Hızı	Sıcaklık	Erime Entalpisi	Kristalinite Oranı
A	1	1	1	20,256	26,478
B	1	1	2	20,662	27,009
C	1	2	1	20,308	26,546
D	2	1	1	20,210	26,418
E	2	2	1	20,175	26,372
F	2	1	2	20,500	26,797
G	1	2	2	20,231	26,445
H	2	2	2	19,777	25,852

Çizelge 6.1’de Kristalinite oranı sütununda bulunan veriler Minitab 18 uygulaması ile analiz edilmiştir. Elde edilen varyans analizinde (Çizelge 6.2) ve pareto diyagramında (Şekil 6.1) değişkenlerin malzemenin kristalinite oranına olan etkilerinin oranları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken anlamlılık seviyesi %5 ($\alpha=0,05$) olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.2 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – kristalinite oranı.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0,795066	0,113581	*	*
Linear	3	0,421776	0,140592	*	*
Vakum	1	0,134940	0,134940	*	*
Hat Hızı	1	0,276396	0,276396	*	*
Sıcaklık	1	0,010440	0,010440	*	*
2-Way Interactions	3	0,364378	0,121459	*	*
Vakum*Hat Hızı	1	0,030628	0,030628	*	*
Vakum*Sıcaklık	1	0,040755	0,040755	*	*
Hat Hızı*Sıcaklık	1	0,292995	0,292995	*	*
3-Way Interactions	1	0,008911	0,008911	*	*
Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık	1	0,008911	0,008911	*	*
Error	0	*	*		
Total	7	0,795066			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	*	100,00 %	*	*	



Şekil 6.1 : İlk analize göre pareto diyagramı – kristalinite oranı.

Tüm sonuçlar ham olarak analiz edildiğinde herhangi bir P değeri elde edilememiştir. Bu yüzden analizdeki hata oranını arttırmak amacıyla sisteme etkileri en az olan Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık ve Sıcaklık parametreleri havuzlanmıştır. Havuzlama işlemi sonucunda ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Varyans analizi sonucunda elde edilen bazı P değerleri 0,05'ten küçüktür. Bu da ortaya koyduğumuz H_0 hipotezinin bazı parametreler için reddedilebileceğini göstermektedir. Ayrıca model özetinde görünen R^2 ve R^2 (düz.) değerlerinin yüksek olması ve birbirine yakın olması da oluşturulan modelin doğruluğunu göstermektedir (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – kristalinite oranı.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0,77571	0,155143	16,03	0,060
Linear	2	0,41134	0,205668	21,26	0,045
Vakum	1	0,13494	0,134940	13,95	0,065
Hat Hızı	1	0,27640	0,276396	28,57	0,033
2-Way Interactions	3	0,36438	0,121459	12,55	0,075
Vakum*Hat Hızı	1	0,03063	0,030628	3,17	0,217
Vakum*Sıcaklık	1	0,04076	0,040755	4,21	0,177
Hat Hızı*Sıcaklık	1	0,29300	0,292995	30,28	0,031
Error	2	0,01935	0,009676		
Total	7	0,79507			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	0,0983648	97,57 %	91,48 %	61,06 %	

Analiz sonucunda göre elde edilen faktöriyel uygunluklar Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

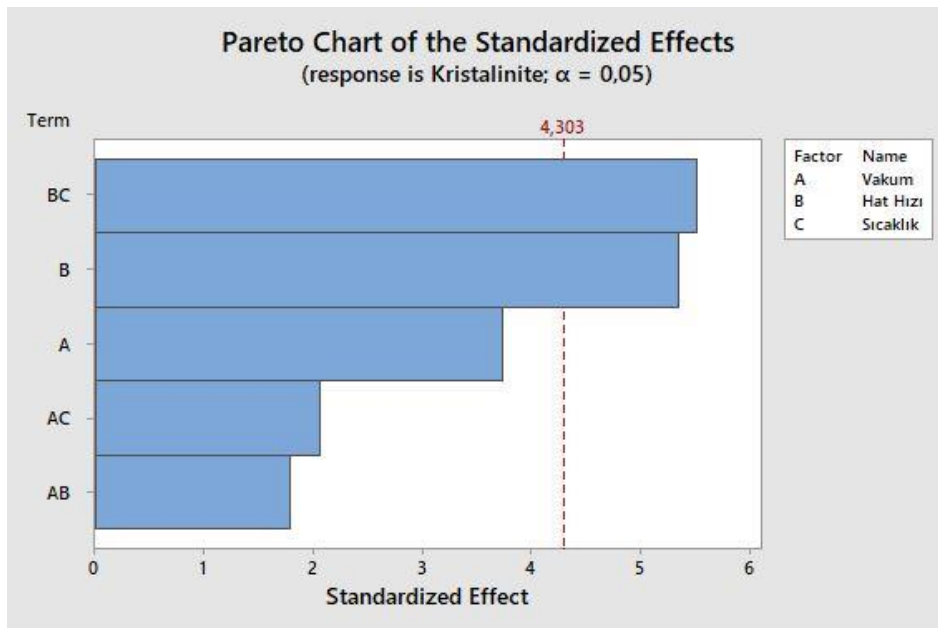
Çizelge 6.4 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar – kristalinite oranı.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		26,4896	0,0348	761,70	0,000	
Vakum	-0,2598	-0,1299	0,0348	-3,73	0,065	1,00
Hat Hızı	-0,3718	-0,1859	0,0348	-5,34	0,033	1,00
Vakum*Hat Hızı	-0,1237	-0,0619	0,0348	-1,78	0,217	1,00
Vakum*Sıcaklık	-0,1427	-0,0714	0,0348	-2,05	0,177	1,00
Hat Hızı*Sıcaklık	-0,3827	-0,1914	0,0348	-5,50	0,031	1,00

Bu tabloya göre kristalinite oranı ve parametreler arasındaki ilişkiyi temsil eden aşağıdaki lineer regresyon denklemi (6.1) elde edilmiştir.

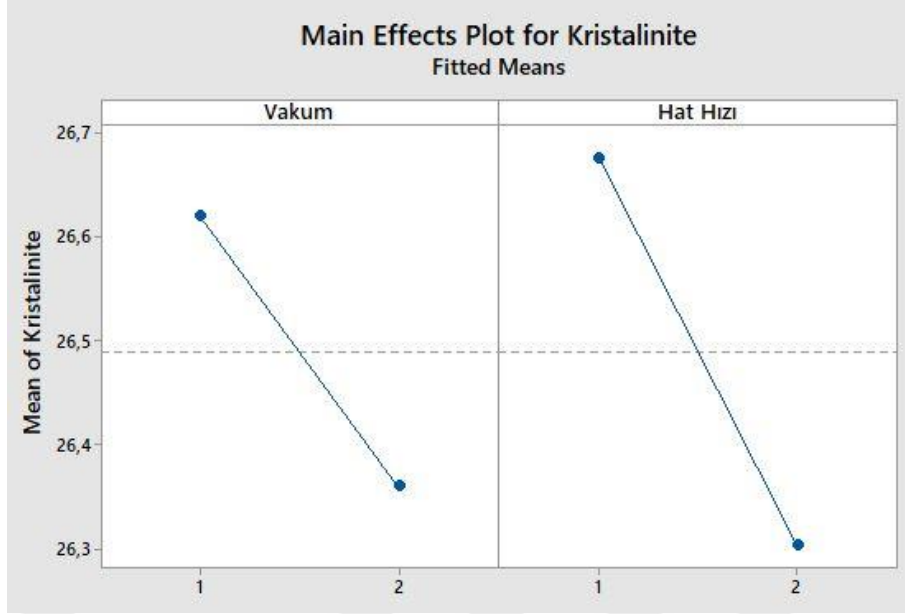
$$\begin{aligned} \text{Kristalinite} = & 26,4896 - 0,1299 * \text{Vakum} - 0,1859 * \text{Hat Hızı} \\ & - 0,0619 * \text{Vakum} * \text{Hat Hızı} - 0,0714 * \text{Vakum} * \text{Sıcaklık} \\ & - 0,1914 * \text{Hat Hızı} * \text{Sıcaklık} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Hem elde edilen regresyon denkleminde hem de ortaya çıkan pareto diyagramına (Şekil 6.2) göre Hat Hızı*Sıcaklık ve Hat Hızı faktörlerinin sisteme olan etkilerinin yüksek olduğu görülmektedir.



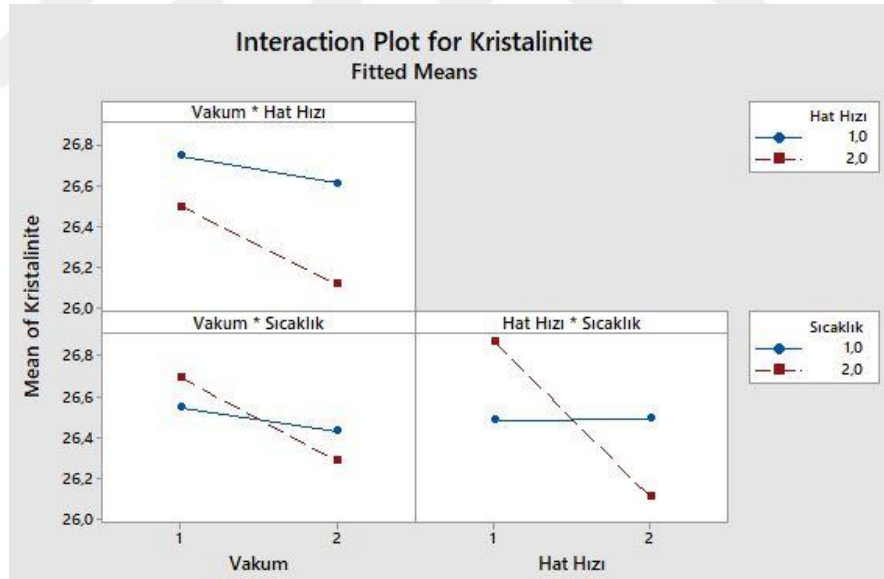
Şekil 6.2 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – kristalinite oranı.

Bu sonuçlara göre oluşturulan ana etkiler grafiğinde de Vakum ve Hat Hızı faktörlerinin kristalinite oranına olan tekil etkileri görülmektedir (Şekil 6.3). Burada da formülde olduğu gibi Hat Hızı ve Vakum parametrelerinin tekil etken olarak en yüksek etkiye sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 6.3 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – kristalinite oranı.

Havuzlama işleminden sonra elimizde kalan etkileşim grafiklerinde, çakışan doğrulara sahip olan Hat Hızı*Sıcaklık ve Vakum*Sıcaklık etkileşimlerinin sistem için önemli etkileşimler oldukları görülmektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – kristalinite oranı.

Sonuç olarak Hat Hızı*Sıcaklık ve Hat Hızı faktörlerinin P değerlerinin 0,05'ten küçük olması sebebiyle, bu faktörler için H_0 hipotezi reddedilir ve bu parametrelerin borunun kristalinite oranına etkisi olduğu kabul edilir. Kristalinite oranı, Hat Hızı*Sıcaklık ve Hat Hızı parametreleri arttıkça düşmektedir.

PPS'in farklı sıcaklıklardaki erime ve kristalleşme davranışı literatürde detaylıca incelenmiştir [43, 92, 93, 94, 95, 96, 97]. Ortaya çıkan kristalinite oranlarının malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi de literatürde çalışılmıştır [35]. Dolayısıyla proses parametreleri ile kristalinite oranının bağlantısı hakkındaki çıkarımlar çok önemlidir.

Zhang ve ekibi PPS'in kayma davranışı ile kristalizasyonu arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada, kayma süresindeki artışın kristalizasyon başlangıç süresini düşürdüğünü, böylece kristalizasyon işleminin kayma süresinin yüksek olduğu sistemlerde daha kolay gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır [98].

Brady ise PPS'in kristalizasyon davranışını incelediği çalışmada, PPS'in kristalinite değerindeki değişimi erime noktasının biraz üzerinde yani 285 °C'de test etmiştir. Ancak bu sıcaklığa çıkıldığında PPS'in kristalinite değerinde neredeyse hiçbir değişiklik olmadığını ortaya koymuştur [99].

Bu çalışma kapsamında elde edilen kristalinite oranları arasındaki farkların da literatürde olduğu gibi kayma süresi ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Hat hızındaki artış kayma hızını arttırsa bile, kayma süresinin düşmesi ile birlikte kristalizasyon işleminin güçleştiği ve bu yüzden hat hızı arttıkça numunelerin kristalinite oranlarının düştüğü sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ise sıcaklık değişiminin kristalinite oranına etkisinin çok az olduğu yönündedir. Elde edilen bu sonuç, Brady'nin kendi çalışmasında elde ettiği sonuç ile birebir örtüşmektedir. Chen ve ekibinin bulduğu sonuçlarla çelişkili gibi gözükse de, bahsi geçen çalışmada sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisini görebilmek için 20 °C aralıklarla 4 farklı seviye incelenmiştir. İncelenen sıcaklık aralığının çok geniş olması viskozite değerlerinde bir fark ortaya koysa da, daha dar sıcaklık aralıklarında incelenen viskozite değerlerinde ise bu fark çok düşük seviyelerde görülmüştür. Dolayısıyla bu tez çalışması kapsamında belirlenen sıcaklık seviyelerinin arasındaki farkın sadece 10 °C olmasının, viskozite değerlerinin arasında da fark oluşturmamasına ve buna bağlı olarak elde edilen kristalinite oranlarına neredeyse etki etmemesine sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.2 Sıcak Patlatma Testi

Sıcak patlatma testi her deneme indisinden 3'er adet numune ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 3 sonucun ortalama değerleri alınmış ve Çizelge 6.5'te bu ortalamalar yansıtılmıştır. Patlama basınç değerlerinin tamamı bar cinsindedir.

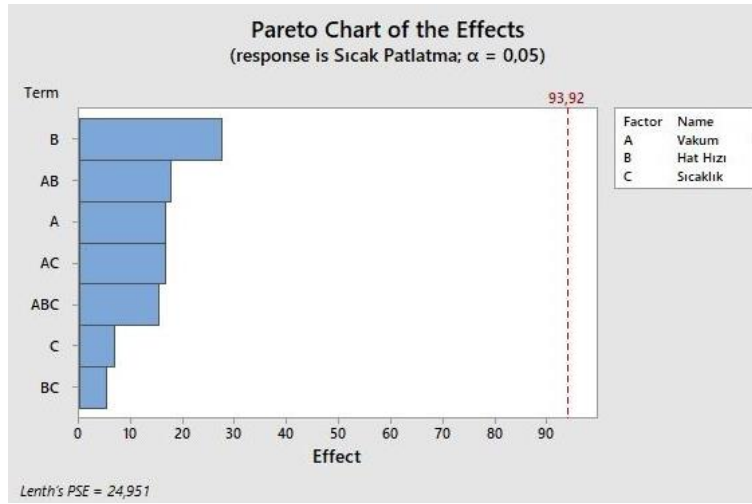
Çizelge 6.5 : Testler sonucunda elde edilen patlama basıncı sonuçları.

Deneme İndisi	Vakum	Hat Hızı	Sıcaklık	Patlatma Basıncı
A	1	1	1	62,433
B	1	1	2	106,366
C	1	2	1	37,910
D	2	1	1	60,013
E	2	2	1	40,230
F	2	1	2	40,160
G	1	2	2	40,730
H	2	2	2	40,300

Çizelge 6.5'te Patlama Basıncı sütununda bulunan veriler Minitab 18 uygulaması ile analiz edilmiştir. Elde edilen varyans analizinde (Çizelge 6.6) ve pareto diyagramında (Şekil 6.5) değişkenlerin patlatma testi sonucuna olan etkilerinin oranları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken anlamlılık seviyesi %5 ($\alpha=0,05$) olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.6 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – sıcak patlatma basıncı.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	3851,44	550,21	*	*
Linear	3	2154,69	718,23	*	*
Vakum	1	556,71	556,71	*	*
Hat Hızı	1	1507,06	1507,06	*	*
Sıcaklık	1	90,92	90,92	*	*
2-Way Interactions	3	1231,07	410,36	*	*
Vakum*Hat Hızı	1	621,56	621,56	*	*
Vakum*Sıcaklık	1	553,38	553,38	*	*
Hat Hızı*Sıcaklık	1	56,13	56,13	*	*
3-Way Interactions	1	465,67	465,67	*	*
Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık	1	465,67	465,67	*	*
Error	0	*	*		
Total	7	3851,44			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	*	100,00 %	*	*	



Şekil 6.5 : İlk analize göre pareto diyagramı – sıcak patlatma basıncı.

Tüm sonuçlar ham olarak analiz edildiğinde herhangi bir P değeri elde edilememiştir. Bu yüzden analizdeki hata oranını arttırmak amacıyla sisteme etkileri en az olan Sıcaklık ve Hat Hızı*Sıcaklık parametreleri havuzlanmıştır. Havuzlama işlemi sonucunda ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Varyans analizi sonucunda elde edilen bazı P değerleri 0,05'ten küçüktür. Bu da ortaya koyduğumuz H_0 hipotezinin bazı parametreler için reddedilebileceğini göstermektedir. Ayrıca model özetinde görünen R^2 ve R^2 (düz.) değerlerinin yüksek olması ve birbirine yakın olması da oluşturulan modelin doğruluğunu göstermektedir (Çizelge 6.7)

Çizelge 6.7 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – sıcak patlatma basıncı.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	3704,4	740,88	10,08	0,093
Linear	2	2063,8	1031,89	14,03	0,067
Vakum	1	556,7	556,71	7,57	0,111
Hat Hızı	1	1507,1	1507,06	20,50	0,045
2-Way Interactions	2	1174,9	587,47	7,99	0,111
Vakum*Hat Hızı	1	621,6	621,56	8,45	0,101
Vakum*Sıcaklık	1	553,4	553,38	7,53	0,111
3-Way Interactions	1	465,7	465,67	6,33	0,128
Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık	1	465,7	465,67	6,33	0,128
Error	2	147,0	73,52		
Total	7	3851,4			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	8,57466	96,18 %	86,64 %	38,91 %	

Analiz sonucunda göre elde edilen faktöriyel uygunluklar Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

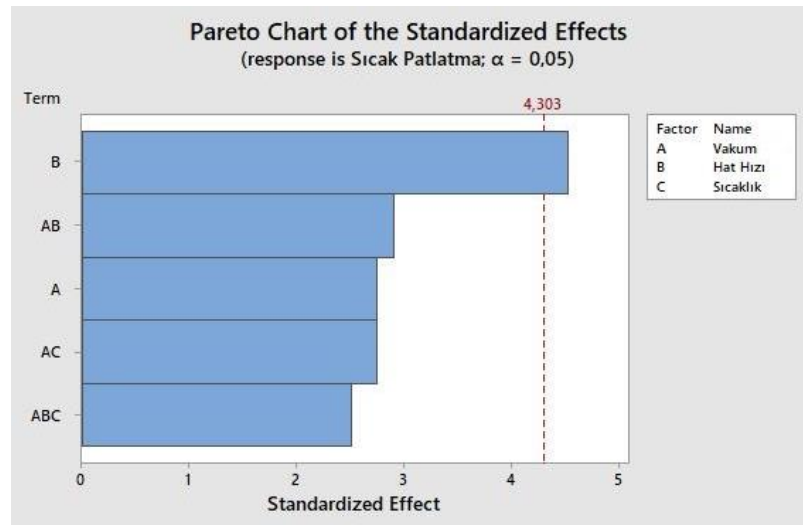
Çizelge 6.8 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar – sıcak patlatma basıncı.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		53,52	3,03	17,65	0,003	
Vakum	-16,68	-8,34	3,03	-2,75	0,111	1,00
Hat Hızı	-27,45	-13,73	3,03	-4,53	0,045	1,00
Vakum*Hat Hızı	17,63	8,81	3,03	2,91	0,101	1,00
Vakum*Sıcaklık	-16,63	-8,32	3,03	-2,74	0,111	1,00
Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık	15,26	7,63	3,03	2,52	0,128	1,00

Bu tabloya göre patlatma testi sonucu ve parametreler arasındaki ilişkiyi temsil eden aşağıdaki lineer regresyon denklemi (6.2) elde edilmiştir.

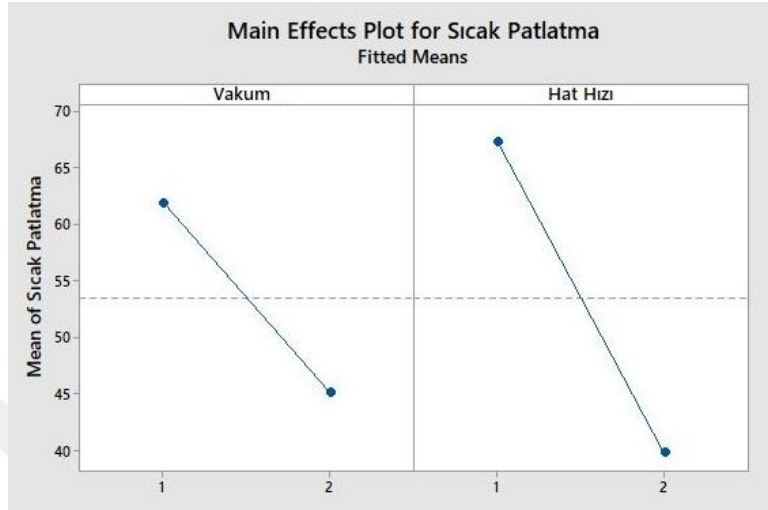
$$\begin{aligned}
 \text{Sıcak Patlatma} = & 53,52 - 8,34 * \text{Vakum} - 13,73 * \text{Hat Hızı} \\
 & + 8,81 * \text{Vakum*Hat Hızı} - 8,32 * \text{Vakum*Sıcaklık} \\
 & + 7,63 \text{ Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık}
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

Hem elde edilen regresyon denklemine hem de ortaya çıkan pareto diyagramına (Şekil 6.6) göre Hat Hızı faktörünün sisteme olan etkisinin yüksek olduğu görülmektedir.



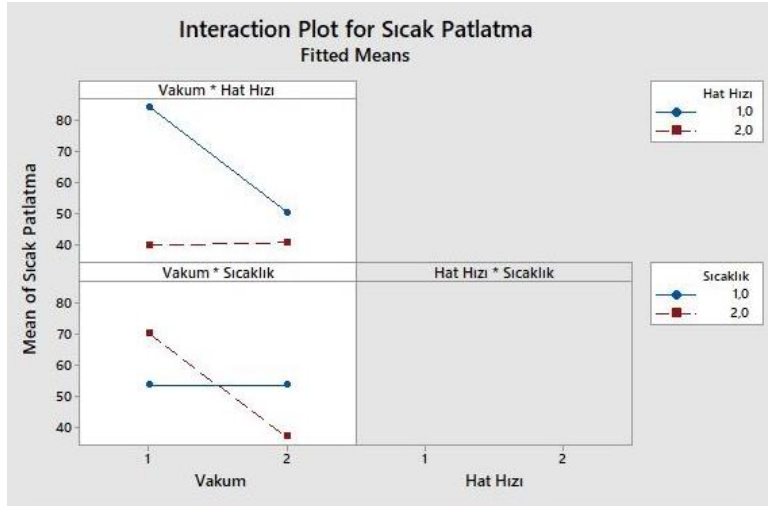
Şekil 6.6 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – sıcak patlatma basıncı.

Bu sonuçlara göre oluşturulan ana etkiler grafiğinde de Vakum ve Hat Hızı faktörlerinin sıcak patlatma testinin sonucuna olan tekil etkileri görülmektedir (Şekil 6.7). Burada da formülde olduğu gibi Hat Hızı parametresinin tekil etken olarak en yüksek etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – sıcak patlatma basıncı.

Havuzlama işleminden sonra elimizde kalan etkileşim grafiklerinde çakışan doğrulara sahip olan Vakum*Sıcaklık etkileşiminin sistem için önemli bir etkileşim olduğu görülmektedir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – sıcak patlatma basıncı.

Sonuç olarak Hat Hızı faktörünün P değerinin 0,05'ten küçük olması sebebiyle, bu faktör için H_0 hipotezi reddedilir ve bu parametrenin borunun sıcak patlatma basıncına etkisi olduğu kabul edilir. Sıcak patlatma basıncı Hat Hızı değeri arttıkça düşmektedir.

Verma ve Dubey, HDPE malzemesinin ekstrüzyon prosesini Taguchi deneysel tasarım methodu ile inceledikleri çalışmada, borularda oluşan bölgesel çatlaklar, merkezleme problemi, eşit olmayan et kalınlığı dağılımı ve pürüzlü yüzey gibi kalite hatalarına yol açan en etkili parametrenin hat hızı olduğunu ve hat hızındaki artışın bahsi geçen halite hatalarını arttırdığını belirtmişlerdir [76]. Bununla birlikte sıcak patlatma basınç değerlerinin borunun yüzeyinde ortaya çıkan bölgesel zayıflıklarla alakası olduğu da daha önce literatürde belirtilmiştir. Bölgesel zayıflıkların da kalibrasyon işlemi kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur [90].

Bu çalışma kapsamında elde edilen sıcak patlatma basıncı değerlerinin değişiminin de literatürde olduğu gibi kalibrasyon işlemi kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. Yani hat hızı ve vakum parametrelerindeki artışın borunun kalibreye daha fazla sürtünmesine yol açtığı ve kalibrasyon işlemi sırasında boruda oluşan stresi arttırdığı, bu stresin de boruda bölgesel zayıflıklara yol açtığı ve böylece borunun patlatma basıncı değerlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

6.3 Çekme Testi

Çekme testi her deneme indisinden 3'er adet numune ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 3 adet kopma uzaması değerinin ortalaması alınmış ve Çizelge 6.9'da bu ortalamalar yansıtılmıştır. Kopma uzaması değerlerinin tamamı (%) cinsindedir.

Çizelge 6.9 : Testler sonucunda elde edilen kopma uzaması sonuçları.

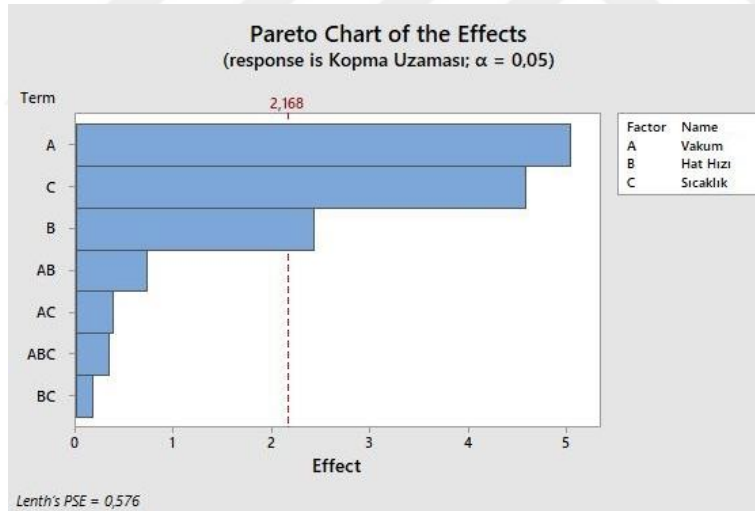
Deneme İndisi	Vakum	Hat Hızı	Sıcaklık	Kopma Uzaması
A	1	1	1	29,660
B	1	1	2	25,630
C	1	2	1	32,966
D	2	1	1	26,066
E	2	2	1	27,266
F	2	1	2	20,600
G	1	2	2	28,600
H	2	2	2	22,800

Çizelge 6.9'da Kopma Uzaması sütununda bulunan veriler Minitab 18 uygulaması ile analiz edilmiştir. Elde edilen varyans analizinde (Çizelge 6.10) ve pareto

diyagramında (Şekil 6.9) değişkenlerin patlatma sonucuna olan etkileri gösterilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken anlamlılık seviyesi %5 ($\alpha=0,05$) olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.10 : İlk analize göre varyans analizi sonucu – kopma uzaması.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	105,922	15,1316	*	*
Linear	3	104,314	34,7715	*	*
Vakum	1	50,622	50,6219	*	*
Hat Hızı	1	11,703	11,7031	*	*
Sıcaklık	1	41,989	41,9894	*	*
2-Way Interactions	3	1,384	0,4613	*	*
Vakum*Hat Hızı	1	1,034	1,0339	*	*
Vakum*Sıcaklık	1	0,295	0,2949	*	*
Hat Hızı*Sıcaklık	1	0,055	0,0551	*	*
3-Way Interactions	1	0,223	0,2231	*	*
Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık	1	0,223	0,2231	*	*
Error	0	*	*		
Total	7	105,922			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	*	100,00 %	*	*	



Şekil 6.9 : İlk analize göre pareto diyagramı – kopma uzaması.

Tüm sonuçlar ham olarak analiz edildiğinde herhangi bir P değeri elde edilememiştir. Bu yüzden analizdeki hata oranını arttırmak amacıyla sisteme etkileri en az olan Hat Hızı*Sıcaklık ve Vakum*Hat Hızı*Sıcaklık etkileşimleri havuzlanmıştır. Havuzlama işlemi sonucunda ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Varyans analizi sonucunda elde edilen bazı P değerleri 0,05'ten küçüktür. Bu da ortaya koyduğumuz H_0 hipotezinin bazı parametreler için reddedilebileceğini göstermektedir.

Ayrıca model özetinde görünen R^2 ve R^2 (düz.) değerlerinin yüksek olması ve birbirine yakın olması da oluşturulan modelin doğruluğunu göstermektedir (Çizelge 6.11).

Çizelge 6.11 : Havuzlama işleminden sonra varyans analizi sonucu – kopma uzaması.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	105,643	21,1287	151,88	0,007
Linear	3	104,314	34,7715	249,95	0,004
Vakum	1	50,622	50,6219	363,89	0,003
Hat Hızı	1	11,703	11,7031	84,13	0,012
Sıcaklık	1	41,989	41,9894	301,84	0,003
2-Way Interactions	2	1,329	0,6644	4,78	0,173
Vakum*Hat Hızı	1	1,034	1,0339	7,43	0,112
Vakum*Sıcaklık	1	0,295	0,2949	2,12	0,283
Error	2	0,278	0,1391		
Total	7	105,922			
Model Summary	S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	
	0,372977	99,74 %	99,08 %	95,80 %	

Analiz sonucunda göre elde edilen faktöriyel uygunluklar Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

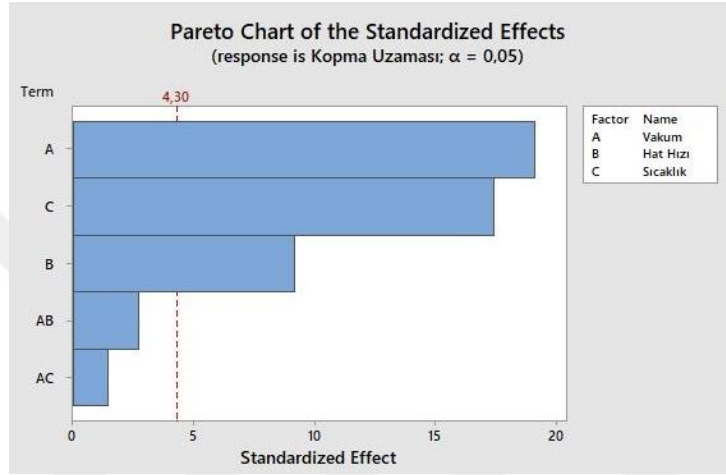
Çizelge 6.12 : Havuzlama işleminden sonra faktöriyel uygunluklar – kopma uzaması.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		26,698	0,132	202,46	0,000	
Vakum	-5,031	-2,516	0,132	-19,08	0,003	1,00
Hat Hızı	2,419	1,209	0,132	9,17	0,012	1,00
Sıcaklık	-4,582	-2,291	0,132	-17,37	0,003	1,00
Vakum*Hat Hızı	-0,719	-0,360	0,132	-2,73	0,112	1,00
Vakum*Sıcaklık	-0,384	-0,192	0,132	-1,46	0,283	1,00

Bu tabloya göre kopma uzaması testi sonucu ve parametreler arasındaki ilişkiyi temsil eden aşağıdaki lineer regresyon denklemi (6.3) elde edilmiştir.

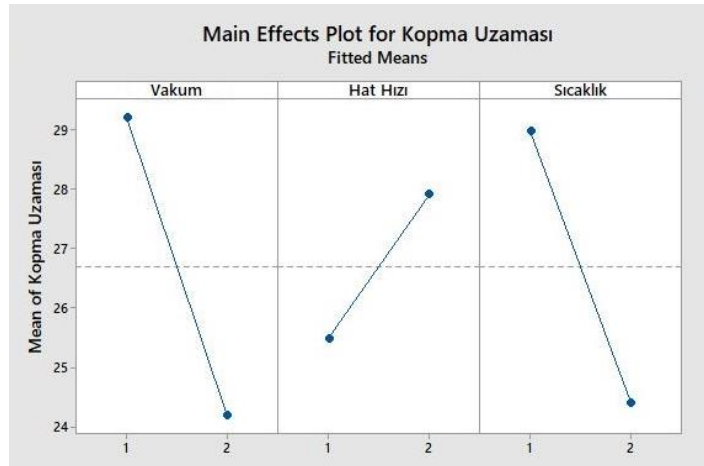
$$\begin{aligned}
\text{Kopma Uzaması} = & 32,53 - 1,72 * \text{Vakum} + 4,576 * \text{Hat Hızı} \\
& - 3,430 * \text{Sıcaklık} - 1,438 * \text{Vakum} * \text{Hat Hızı} \\
& - 0,768 * \text{Vakum} * \text{Sıcaklık}
\end{aligned}
\tag{6.3}$$

Hem elde edilen regresyon denkleminde hem de ortaya çıkan pareto diyagramına (Şekil 6.10) göre Vakum, Hat Hızı ve Sıcaklık faktörlerinin tamamının sisteme olan etkilerinin yüksek olduğu görülmektedir.



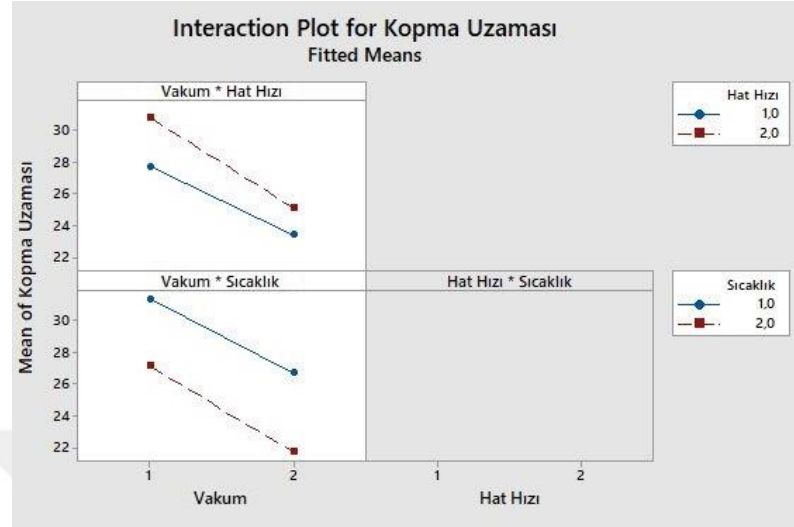
Şekil 6.10 : Havuzlama işleminden sonra pareto diyagramı – kopma uzaması.

Bu sonuçlara göre oluşturulan ana etkiler grafiğinde de Vakum, Hat Hızı ve Sıcaklık faktörlerinin kopma uzaması testinin sonucuna olan tekil etkileri görülmektedir (Şekil 6.11). Burada da formülde olduğu gibi Vakum ve Sıcaklık parametrelerinin tekil etken olarak yüksek etkilere sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 6.11 : Havuzlama işleminden sonra ana etkiler grafiği – kopma uzaması.

Havuzlama işleminden sonra elimizde kalan etkileşim grafiklerinde, hiçbir çakışan doğru bulunmamaktadır. Dolayısıyla etkileşimlerin bu sistem için önemli olmadığı görülmektedir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 : Havuzlama işleminden sonra etkileşimler grafiği – kopma uzaması.

Sonuç olarak Vakum, Hat Hızı ve Sıcaklık faktörlerinin P değerlerinin 0,05'ten küçük olması sebebiyle, bu faktörler için H_0 hipotezi reddedilir ve bu faktörlerin borunun kopma uzaması değerine etkileri olduğu kabul edilir. Kopma uzaması, Vakum ve Sıcaklık değeri arttıkça düşmekte, Hat Hızı değeri arttıkça yükselmektedir.

Haudin ve ekibi poliamit 12 malzemesinin ekstrüzyon prosesini inceledikleri çalışmalarda, aksenal gerilmelerin ilk önce katılaştıran dış katmanlarda yoğunlaştığını ve bu yoğunlaşmaların da moleküler yönelmelere yol açarak kopma uzaması değerlerini düşürdüğünü ortaya koymuşlardır [79, 80, 81, 82]. Bu gerilmelere yol açan parametreler incelendiğinde ise kalibrasyon tankında uygulanan vakum değerinin artmasının kopma uzaması değerini düşürdüğü de görülmektedir [79].

Bu çalışma kapsamında elde edilen kopma uzaması değerlerindeki değişimin de literatürde olduğu gibi aksenal gerilmeler sebebiyle olduğu sonucuna varılmıştır. Vakum seviyesindeki artışın, moleküler yönelmeyi arttırması sebebiyle borunun kopma uzaması değerlerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Sıcaklıktaki artışın da borunun iç ve dış yüzeylerindeki soğuma hızları arasındaki farkı arttırarak boru yüzeyinde termal gerilmelere yol açtığı sonucuna varılmıştır. Bu gerilmelerin de moleküler yönelmeyi arttırdığı ve kopma uzaması değerlerine negatif etki yaptığı sonucuna varılmıştır.



7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında öncelikle, endüstriyel koşullarda ekstrüzyon yöntemi ile 8 mm dış çap, 1 mm et kalınlığı ve 6 mm iç çap ölçülerine sahip PPS boru üretilmiştir. Boruların üretim prosesinin ve ürün performansının optimize edilebilmesi için proses parametreleri incelenmiştir. Bunun sonucunda vakum, hat hızı ve sıcaklık parametreleri üretim hattının optimizasyonu için test edilecek parametreler olarak belirlenmiştir.

Belirlenen parametrelerin test edilmesi için tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi ile bir deney şablonu oluşturulmuştur. Borular, proses parametreleri ve parametre seviyelerine göre belirlenmiş olan bu şablona göre rastgele sırayla üretilmiştir. Daha sonra her deneme üretiminden numune borular alınmış ve bu boruların tümüne ön yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Sonrasında bu borulara DSC analizi, sıcak patlatma testi ve çekme testi yapılmıştır. Elde edilen test sonuçları Minitab 18 programı ile analiz edilmiş ve değişen parametrelerin mikroyapıya ve ürün performansına olan etkileri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıda genel olarak özetlenmiştir.

DSC analizleri ile birlikte elde edilen kristalinite oranları tüm numunelerde % 25,852 ile 27,009 aralığında gerçekleşmiş olup, en yüksek sonuç B deneme indisi ile üretilen numunede ve en düşük sonuç ise H deneme indisi ile üretilen numunede elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde ise Hat Hızı faktörünün tekil olarak kristalinite oranına etki eden tek faktör olduğu görülmüştür. Hat Hızı parametresinin kristalinite oranına negatif bir etkisinin olduğu da saptanmıştır. Bu sonuçlar da Hat Hızının değişmesiyle birlikte, malzemenin kayma süresindeki değişim ile ilişkilendirilmiştir.

Sıcak patlatma testleri tüm numunelerde 37,910 ile 106,366 bar aralığında gerçekleşmiş olup, en yüksek sonuç B deneme indisi ile üretilen numunelerde ve en düşük sonuç ise C deneme indisi ile üretilen numunelerde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde ise Hat Hızı faktörünün tekil olarak sıcak patlatma

basıncına etki eden tek faktör olduğu görülmüştür. Hat Hızı parametresinin sıcak patlatma basıncına negatif bir etkisinin olduğu da saptanmıştır. Bu sonuçlar da Hat Hızının artmasıyla birlikte, kalibrasyon işlemi sırasında borular üzerinde oluşan stresin artması ve bunun neticesinde bölgesel zayıflıkların ortaya çıkması ile ilişkilendirilmiştir.

Çekme testleri ile birlikte elde edilen kopma uzaması değerleri tüm numunelerde % 20,600 ile 32,966 aralığında gerçekleşmiş olup, en yüksek sonuç C deneme indisi ile üretilen numunelerde ve en düşük sonuç ise F deneme indisi ile üretilen numunelerde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde ise üç faktörün de tekil olarak kopma uzaması değerlerine etki ettiği görülmüştür. Hat Hızı parametresinin kopma uzaması değerlerine pozitif etkisinin olduğu, Vakum ve Sıcaklık parametrelerinin ise negatif etkilerinin olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar da Vakum ve Sıcaklık parametrelerinin artmasıyla birlikte artan moleküler yönelmeler ile ilişkilendirilmiştir.

Sonuç olarak PPS'in ekstrüzyon prosesi ve üretilen ürünlerin test performansları incelendiğinde, bu proses için optimum parametrelerin (-40) mm-Hg vakum, 13 metre/dakika hat hızı ve 275 °C ekstrüder sıcaklığı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bunlarla birlikte, bu sistem ile yapılacak bundan sonraki çalışmalarda dikkat edilmesi gereken hususlar da mevcuttur. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sadece bir başlangıç malzemesi ile gerçekleştirilmiştir. Farklı tedarikçilerin ürettiği ve farklı moleküler ağırlık değerlerine sahip olan malzemeler ile çalışılarak daha geniş bir karşılaştırma ortaya konulabilir.

Bunun yanı sıra, bu çalışma kapsamında kullanılan başlangıç malzemesinin içerisinde bulunan katkı maddeleri incelenmemiştir. Bu katkı maddeleri etraflıca incelenerek, katkı oranlarında yapılacak değişimlerin proses ve ürün performansı üzerindeki etkileri de detaylı olarak ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ford, G., Barrus, R., & Abraha, J.** (1992). *New Trends in Underhood Powertrain Components with Polyphenylene Sulfide*. SAE Technical Paper 920503, <https://doi.org/10.4271/920503>.
- [2] **Kunc, P. & Lee, M.** (1996). *Analysis and Testing Required to Develop Polyphenylene Sulfide (PPS) Transmission Components as Replacements for Metal*. SAE Technical Paper 960980, <https://doi.org/10.4271/960980>.
- [3] **Desai, K. C.** (2010). Most Critical Steps for Replacing Metal with High Performance Engineering Polymers (HPEP) for Under-Hood Applications. *ANTEC 2009*, 1448-1452.
- [4] **Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı.** (2017). *Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu*. İstanbul: Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı.
- [5] **Url-1** <<https://www.ebay.com/itm/Zoneone-PA6-03-TURBO-HOSE-Charge-air-induction-tract-7571350-AM-/112191100368>>, erişim tarihi 22.03.2020.
- [6] **Zhao, L., Yu, Y., Huang, H., Yin, X., Peng, J., Sun, J., Huang, L., Tang, Y., & Wang, L.** (2019). High-Performance Polyphenylene Sulfide Composites with Ultra-High Content of Glass Fiber Fabrics. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106790. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.001>.
- [7] **Kalaycı, E., Avinç, O. O. & Yavaş, A.** (2016) Polifenilen Sülfid (PPS) Lifleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2016), 88-103.
- [8] **Miller, J., Dix, J. & Vives, V.** (1981). *Resistance of 40% Glass-Reinforced PPS to Automotive Underhood Fluids*, SAE Technical Paper 811356, 1981. <https://doi.org/10.4271/811356>
- [9] **Url-2** <https://www.myvolvoparts.com/Genuine-Volvo-Coolant-PipeHose-S60-S80-S90-V60-V90-XC40-XC60-XC70-XC90-4-CYL-ENGINES_p_17770.html>, erişim tarihi 04.05.2020.
- [10] **Korada, V. S., & Hamid, N. H. B.** (2017). Engineering Applications of Nanotechnology. *Springer International Publishing*, 2017. DOI.org (Crossref), doi:10.1007/978-3-319-29761-3.
- [11] **Jiear, A.** (2008). *Cooling System Analysis* (Final Thesis Report). University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy, School of Aerospace, Civil & Mechanical Engineering, Canberra.
- [12] **Butt, S., Prabel, R., Zhang, J., & Aschemann, H.** (2016). Adaptive Sliding-Mode Control of an Innovative Engine Cooling System. *IFAC-PapersOnLine*, 49-18 (2016), 098–103

- [13] **Toppo, A., Pandey, S., Tudu, G., & Rout, S.** (2016). Study on Liquid Cooled 2 Stroke Engine. *International Journal of Research in Advent Technology*, Vol.4, No.4, 286.
- [14] **Url-3** <https://www.mvavasale.com/index.php?main_page=product_info&products_id=116438>, erişim tarihi 08.03.2020.
- [15] **Url-4** <<https://www.partsplaceinc.com/vw-mk4-passenger-side-radiator-cooling-fan-18134.html>>, erişim tarihi 29.04.2020.
- [16] **Timur, M. L.** (2003). *Optimisation of a Heavy Duty Diesel Engine Cooling System Using Computer Aided Fluid Dynamics* (Master Thesis). Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- [17] **Url-5** < <https://www.ebay.com/itm/case-lot-of-20-car-quest-Stant-13899-195f-91c-Thermostat-/302312022972>>, erişim tarihi 08.03.2020.
- [18] **Arici, O., Johnson, J. H., & Kulkarni, A. J.** (1999). *The Vehicle Engine Cooling System Simulation Part 1 - Model Development*, Michigan Technological University, SAE Technical Paper 1999-01-0240
- [19] **Edege, T. E.** (2010). *Bir Ağır Ticari Aracın Soğutma Sisteminin Modellenmesi ve Deney Sonuçlarının İrdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Url-6** <<https://www.ebay.co.uk/itm/Mercedes-C-Class-W203-C220-CDi- Genuine-Fahren-Water-Pump-Engine-Cooling-/291784088302>>, erişim tarihi 08.03.2020.
- [21] **Url-7** <https://www.alibaba.com/product-detail/Mercedes-Coolant-Expansion-Tank-For-2035000049_60705651616.html>, erişim tarihi 08.03.2020.
- [22] **Beal, R. E.** (1993). *Engine Coolant Testing: Third Volume*, West Conshohocken, PA: ASTM International, <https://doi.org/10.1520/STP1192-EB>.
- [23] **Url-8** < https://www.alibaba.com/product-detail/water-radiator-hose-cooling-system-oem_60535901106.html?bypass=true >, erişim tarihi 29.04.2020.
- [24] **Crawford, R. J.** (1998). *Plastics Engineering (Third Edition)*, Butterworth-Heinemann, <https://doi.org/10.1016/B978-075063764-0/50006-6>.
- [25] **Mann, D., Bos, V. D. & Way, A.** (1999). *Automotive Plastics and Composites* (Second Edition). Elsevier Science, 211-247, <https://doi.org/10.1016/B978-185617349-0/50012-X>.
- [26] **Carraher, C. E.** (2003). *Polymer Chemistry* (Sixth Edition). Marcel Dekker, New York.
- [27] **Url-9** <https://ecostandard.org/news_events/tackling-microplastic-pollution-at-its-source-the-example-of-pellets>, erişim tarihi 30.04.2020.
- [28] **Canel, T., Bağlan, İ., & Sinmazcelik, T.** (2019). Mathematical Modelling of Laser Ablation of Random Oriented Short Glass Fiber Reinforced Polyphenylene Sulphide (PPS) Polymer Composite. *Optics & Laser Technology*, 115, 481-486. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.02.049>.

- [29] **Maxwell, J.** (1994). *Plastics in the Automotive Industry*. Woodhead Publishing, 13-48, <https://doi.org/10.1533/9781845698645.13>.
- [30] **Engineering Plastics – The Manual.** (t.y.). *Ensinger*. Erişim: 18.03.2020, <https://www.ensinger-pc.com/docs/literature/Ensinger%20Manual.pdf>.
- [31] **Karuppiah, A.** (2016). *Predicting the Influence of Weave Architecture on the Stress Relaxation Behavior of Woven Composite Using Finite Element Based Micromechanics* (Bachelor Thesis). Anna University, Tamil Nadu, India.
- [32] **Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü** (2017). Doç. Dr. Atilla EVCİN-Polimer Malzemeler [PowerPoint sunumu]. Erişim: <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamaları-termoplastik-polimerler.pdf>
- [33] **Mallick, P. K.** (2010). *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*. Woodhead Publishing, 174-207, <https://doi.org/10.1533/9781845697822.1.174>.
- [34] **Spruiell, J. E.** (2005). A Review of the Measurement and Development of Crystallinity and Its Relation to Properties in Neat Poly(Phenylene Sulfide) and Its Fiber Reinforced Composites. United States. doi:10.2172/885940.
- [35] **Nohara, L., Nohara, E., Moura, A., Gonçalves, J., & Rezende, M.** (2006). Study of Crystallization Behavior of Poly(phenylene sulfide). *Polimeros-ciencia E Tecnologia - POLIMEROS*. 16. 10.1590/S0104-14282006000200009.
- [36] **Rahate, A., Nemade, K., & Waghuley, S.** (2013). Polyphenylene Sulfide (PPS): State of the Art and Applications. *Reviews in Chemical Engineering*, 29(6), 471-489. doi:10.1515/revce-2012-0021.
- [37] **Kemmish, D.** (2011). *Practical Guide to High Performance Engineering Plastics*. Shrewsbury, ISmithers Rapra Pub. <http://site.ebrary.com/id/10500344>.
- [38] **Shabaev, A. S., Khashirova, S. Y., Mamkhegov, R. M., Bashorov, M. T., Kunizhev, B. I., & Malamatov, A. H.** (2019). The Effect of Heat Treatment Regimes of Polyphenylene Sulfides on their Thermal Properties. *Key Engineering Materials*, 816, 72–77. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.816.72>.
- [39] **Khan, S., Gull, N., Munawar, M., Zia, S., Anjum, F., Iqbal, M., Shafiq, M., Islam, A., Awais, S., Butt, M. T. Z., Butt, M. A., Jamil, T.** (2016). Polyphenylene Sulphide/Carbon Fiber Composites: Study on Their Thermal, Mechanical and Microscopic Properties. *Iranian Polymer Journal*, 25, 475-485, 10.1007/s13726-016-0439-3.
- [40] **Fitzharris, E. R., Watt, I., Rosen, D. W., Shofner M. L.** (2018). Interlayer Bonding Improvement of Material Extrusion Parts with Polyphenylene Sulfide Using the Taguchi Method, *Additive Manufacturing* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.003>.

- [41] **Furushima, Y., Nakada, M., Yoshida, Y., Okada, K.** (2017). Crystallization/Melting Kinetics and Morphological Analysis of Polyphenylene Sulfide, *Macromol. Chem. Phys.* 2018, 219, 1700481. <https://doi.org/10.1002/macp.201700481>.
- [42] **Seo, K. H., Park, L. S., Baek, J. B., & Brostow, W.** (1993). Thermal Behaviour of Poly (phenylene sulfide) and Its Derivatives. *Polymer*, 34(12), 2524–2527. doi:10.1016/0032-3861(93)90583-v.
- [43] **Hill, H. W. J. & Brady, D. G.** (1976). Properties, Environmental Stability, and Molding Characteristics of Polyphenylene Sulfide. *Polym Eng Sci*, 16: 831-835. doi:10.1002/pen.760161211
- [44] **Fink, J. K.** (2014). Poly(phenylene sulfide). *High Performance Polymers*, 129–151. doi:10.1016/b978-0-323-31222-6.00005-4.
- [45] **Wejchan-Judek, M., Rogal, E., & Zuk, A.** (1981). Synthesis of Poly-p-phenylene Sulphide by Oxidation of Thiophenol with Thionyl Chloride in the Presence of Aluminium Chloride. *Polymer*, 22(6), 845–847. doi:10.1016/0032-3861(81)90028-8.
- [46] **Fahey, D., Hensley, H., Ash, C., & Senn, D.** (1997). Poly(p-phenylene sulfide) Synthesis : A Step-Growth Polymerization with Unequal Step Reactivity. *Macromolecules*, 30, 387-393, <https://doi.org/10.1021/ma961015d>.
- [47] **Zimmerman, D. A., Koenig, J. L., & Ishida, H.** (1996). Polymerization of Poly(p-phenylene sulfide) from a Cyclic Precursor. *Polymer*, 37(14), 3111–3116. doi:10.1016/0032-3861(96)89412-2.
- [48] **Campo, E. A.** (2008). *Selection of Polymeric Materials*. William Andrew Publishing, 103-140. ISBN 9780815515517.
- [49] **Madden, D.** (1991). *Designing for Chemical and Thermal Resistance with Polyphenylene Sulfide (PPS) Compounds*, SAE Technical Paper 910105, 1991. <https://doi.org/10.4271/910105>.
- [50] **Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı.** (2018). *Türkiye Plastik Sektörü İzleme Raporu (2018/6)*. İstanbul : Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı..
- [51] **Url-10** <<https://www.gestiondecompras.com/en/products/molds-dies-and-tooling/injection-molds-for-pipe-fittings>>, erişim tarihi 30.03.2020.
- [52] **Xu, H. & Kazmer, D. O.** (2001). Tight Tolerance Thermoforming. *International Polymer Processing XVI (2001)* 2, 208-215.
- [53] **Url-11** < <https://www.schlemmer.com/global/en/solutions/processes/extrusion#thermoforming>>, erişim tarihi 15.03.2020.
- [54] **Url-12** <<https://www.mertensplastique.be/nl/knowhow/thermovorming>>, erişim tarihi 15.03.2020.
- [55] **Url-13** < <https://sites.google.com/site/gobanengineeringnotes/polymer-technology/injection-moulding?overridemobile=true>>, erişim tarihi 30.03.2020.
- [56] **Hendess, P.** (t.y.) The Plastic Extrusion Process for Tube, Hose, Pipe and Rod. *Society of Plastics Engineer*.

- [57] **Rauwendaal, C.** (2000). *SPC Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion*, Munich, Hancer Publishers, 2000, 87-100, 130-138.
- [58] **Deveci, S.** (2005). *Plastik Boru Üretimine Değişik Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] **Morice, F.** (2011). *Plastic Pipe Extrusion Process Improvement* (Master's Thesis). Chalmers University of Technology, Vehicle Engineering and Autonomous Systems, Göteborg.
- [60] **Vegt, A. K.** (2002). *From Polymers To Plastics*, Delft University Press, VSSD, The Netherlands.
- [61] **Technical Data Sheet – Tube Extrusion.** (1999) EMS-Grivory. Erişim: 19.03.2020, <https://www.emsgrivory.com/en/products-markets/downloads/brochures/>
- [62] **Url-14** < <http://www.esi-extrusion.com/product/detail/flood-tanks> >, erişim tarihi 23.04.2020.
- [63] **Url-15** <<https://www.zumbach.com/products/product-finder/odac/odac-overview.html?>>, erişim tarihi 23.04.2020.
- [64] **Url-16** <<https://www.indiamart.com/proddetail/inkjet-coding-machine-14733099548.html>>, erişim tarihi 23.04.2020.
- [65] **Url-17** <<https://www.gillardcutting.com>>, erişim tarihi 23.04.2020.
- [66] **Montgomery, D. C.** (2012). *Design and Analysis of Experiments*, 8th Edition. John Wiley & Sons Inc. ISBN 978-1118-14692-7.
- [67] **Özkan, N. D.** (2019). *Kauçuk Üretiminde İstatistiksel Deney Tasarım Yöntemiyle Makine-Süreç Parametrelerinin Optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [68] **Koçak, F.** (2019). *Farklı Havalandırma Profillerinde Maya Çoğalmasının Beta Glukan Verimine Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [69] **Taşgetiren, S. & Gökçe, B.** (2009). *Kalite İçin Deney Tasarımı*. Electronic Journal of Machine Technologies. Vol: 6, No: 1, 2009 (71-83).
- [70] **Karakoç, Ö.** (2006). *Deneylerin Faktöriyel Tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] **Toptan, F.** (2011). *Alüminyum Matrisli B4C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [72] **Gülbeycan, N.** (2014). *Poliester Kord Bezi Yüzey İşlemi Süreci ve Modellemesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [73] **Taşdemir, V.** (2016). *Açılı Derin Çekme Kalıplarında Sıcaklığın Limit Çekme Oranına Etkisinin İncelenmesi* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [74] **Hasgöl, Ö.** (2011). *Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Deney Tasarımı: Gıda Sektöründe Bir Uygulama*. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi. 9 (15), 42-67.
- [75] **Shabaev, A. S., Khashirova, S. Y., Mamkhegov, R., Bashorov, M. T., Kunizhev, B. I. & Malamатов, A. H.** (2019). The Effect of Heat Treatment Regimes of Polyphenylene Sulfides on their Thermal Properties. *Key Engineering Materials*. 816. 72-77. 10.4028/www.scientific.net/KEM.816.72.
- [76] **Verma, M. K., & Dubey, M. K.** (2015). Optimization of Process Parameters of Plastic Extrusion in Pipe Manufacturing. *International Journal of Engineering and Management Research*, 276-280.
- [77] **Gadekar, S. S., Khan, J. G., & Dalu, D. R.** (2015). Analysis of Process Parameters for Optimization of Plastic Extrusion in Pipe Manufacturing. *International Journal of Engineering Research and Applications*.
- [78] **Coban, O., Kivanç, T., Bora, M., Özcan, B., Sinmazcelik, T. & Fidan, S.** (2016). Thermal, Viscoelastic and Mechanical Properties' Optimization of Polyphenylene Sulfide via Optimal Processing Parameters Using the Taguchi Method. *Journal of Applied Statistics*. 43. 1-20. 10.1080/02664763.2016.1142948.
- [79] **Carin, A., Haudin, J. M., Vincent, M., Monasse, B., Bellet, G. & Amouroux, N.** (2006). External Calibration in PA12 Tube Extrusion. *International Polymer Processing*. 21. 70-80. 10.3139/217.0066.
- [80] **Carin, A., Haudin, J. M., Vincent, M., Monasse, B., Bellet, G. & Amouroux, N.** (2005). External Calibration in PA12 Tube Extrusion: Part II: Relations between Molecular Orientation, Tensile Properties and Polymer Drawing During Calibration. *International Polymer Processing*. 20. 10.3139/217.1892.
- [81] **Haudin, J. M., Carin, A., Parant, O., Guyomard, A., Vincent, M., Peiti, C. & Montezin, F.** (2008). A Mechanical Model for Stress Development in PA12 Tube Extrusion. *International Polymer Processing - INT POLYM PROC*. 23. 55-64. 10.3139/217.2028.
- [82] **Haudin, J. M., Carin, A., Vincent, M., Amouroux, N., Bellet, G. & Montezin, F.** (2010). Relationships Between Processing Conditions and Mechanical Properties of PA12 Tubes. The EWF Approach. *International Journal of Material Forming*. 3. 225-231. 10.1007/s12289-009-0673-8.
- [83] **Kumar, D. & Kumar, S.** (2015). Process Parameters Optimization for HDPE Material in Extrusion Blown Film Machinery Using Taguchi Method. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. DOI: 10.9790/1684-12450103

- [84] **Northcutt, L. A., Orski, S. V., Migler, K. B. & Kotula, A. P.** (2018). Effect of Processing Conditions on Crystallization Kinetics During Materials Extrusion Additive Manufacturing, *Polymer, Volume 154, 2018*, 182-187, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.09.018>.
- [85] **Chen, Z. L., Chao, P. Y. & Chiu, S. H.** (2003). Proposal of an Empirical Viscosity Model for Quality Control in the Polymer Extrusion Process. *Polymer Testing*. 22. 601-607. 10.1016/S0142-9418(02)00163-0.
- [86] **Abeykoon, C., Kelly, A., Sorroche, J. V., Brown, E., Coates, P., Howell, K., Deng, J., Li, K., Jones, E. H., & Price, M.** (2014). Investigation of the Process Energy Demand in Polymer Extrusion: A Review and an Experimental Study. *Applied Energy*.
- [87] **Abeykoon, C., Kelly, A., Brown, E., & Coates, P.** (2016). The Effect of Materials, Process Settings and Screw Geometry on Energy Consumption and Melt Temperature in Single Screw Extrusion. *Applied Energy*. 80. 880-894. 10.1016/j.apenergy.2016.07.014.
- [88] **Abeykoon, C., Kelly, A., Sorroche, J. V., Brown, E., Coates, P., Deng, J., Li, K., Jones, E. H. & Price, M.** (2014). Process Efficiency in Polymer Extrusion: Correlation between the Energy Demand and Melt Thermal Stability. *Applied Energy*. 135. 10.1016/j.apenergy.2014.08.086.
- [89] **Sorroche, J. V., Kelly, A., Brown, E., Coates, P., Karnachi, N., Jones, E. H., Li, K. & Deng, J.** (2013). Thermal Optimisation of Polymer Extrusion Using In-process Monitoring Techniques, *Applied Thermal Engineering, Volume 53, Issue 2, 2013*, 405-413, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.04.013>.
- [90] **Hendess, P.** (t.y) Pipe and Tubing Extrusion. *StreamLine Extrusion, Inc.* Erişim: 19.04.2020, <https://www.streamlineextrusion.com/files/manuals/paper3.pdf>
- [91] **Hay, J. N. & Luck, D. A.** (2001). The Conformation of Crystalline Poly(phenylene sulphide). *Polymer* 42, 8297-8301.
- [92] **Chung, J. S. & Cebe, P.** (1992). Melting Behaviour of Poly (phenylene sulphide): 1. Single-Stage Melt Crystallization, *Polymer, Volume 33, Issue 11, 1992*, 2312-2324, [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(92\)90522-X](https://doi.org/10.1016/0032-3861(92)90522-X).
- [93] **Chung, J. S. & Cebe, P.** (1992). Melting Behaviour of Poly (phenylene sulphide): 2. Multiple Stage Melt Crystallization, *Polymer, Volume 33, Issue 11, 1992*, 2325-2333, [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(92\)90523-Y](https://doi.org/10.1016/0032-3861(92)90523-Y).
- [94] **Chung, J. S. & Cebe, P.** (1992). Morphology of Poly(phenylene sulphide) Single Crystals Grown by a Two-stage Self-seeding Technique, *Polymer, Volume 33, Issue 8, 1992*, 1594-1605, [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(92\)91055-7](https://doi.org/10.1016/0032-3861(92)91055-7).
- [95] **Chung, J. S. & Cebe, P.** (1992), Crystallization and Melting of Cold-crystallized Poly(phenylene sulfide). *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, 30: 163-176. doi:10.1002/polb.1992.090300205

- [96] **Geng, P., Zhao, J., Wu, W., Wang, Y., Wang, B., Wang, S. & Li, G.** (2018). Effect of Thermal Processing and Heat Treatment Condition on 3D Printing PPS Properties. *Polymers*. 10. 875. 10.3390/polym10080875.
- [97] **Huo, P. & Cebe, P.** (1992). Effects of Thermal History on the Rigid Amorphous Phase in Poly(phenylene sulfide). *Colloid and Polymer Science*. 270. 840-852. 10.1007/BF00657728.
- [98] **Zhang, R.-C., Xu, Y., Lu, A., Cheng, K., Huang, Y. & Li, Z.-M.** (2008). Shear-induced Crystallization of Poly(phenylene sulfide). *Polymer*, 49(10), 2604–2613. doi:10.1016/j.polymer.2008.03.041
- [99] **Brady, D. G.** (1976), The Crystallinity of Poly(phenylene sulfide) and Its Effect on Polymer Properties. *J. Appl. Polym. Sci.*, 20: 2541-2551. doi:10.1002/app.1976.070200921.

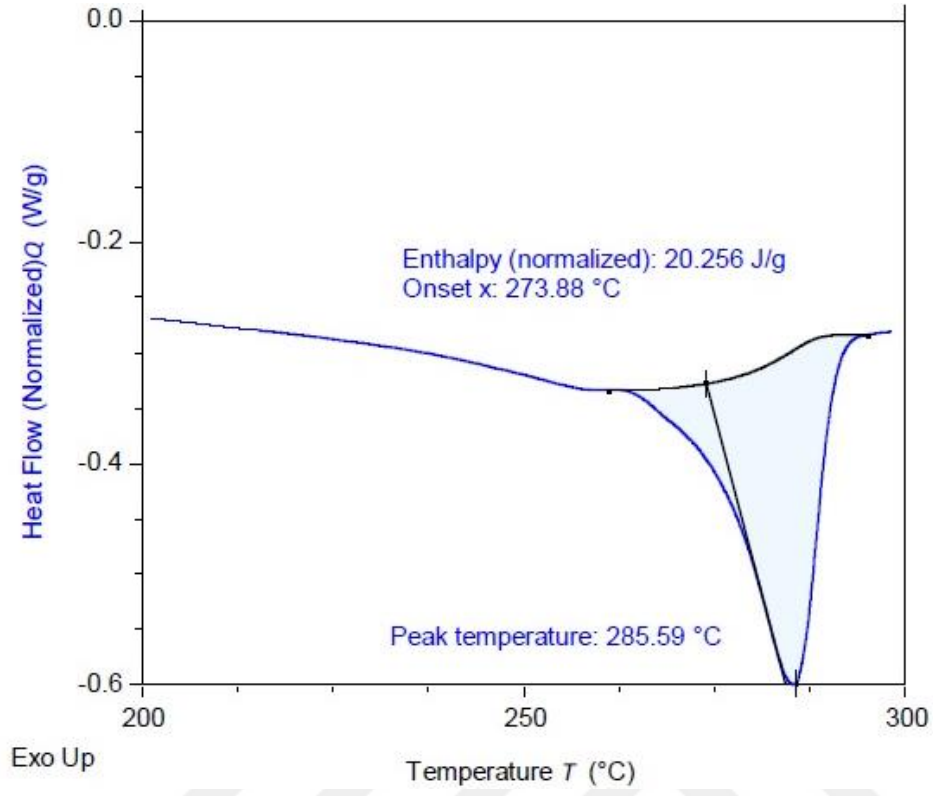


EKLER

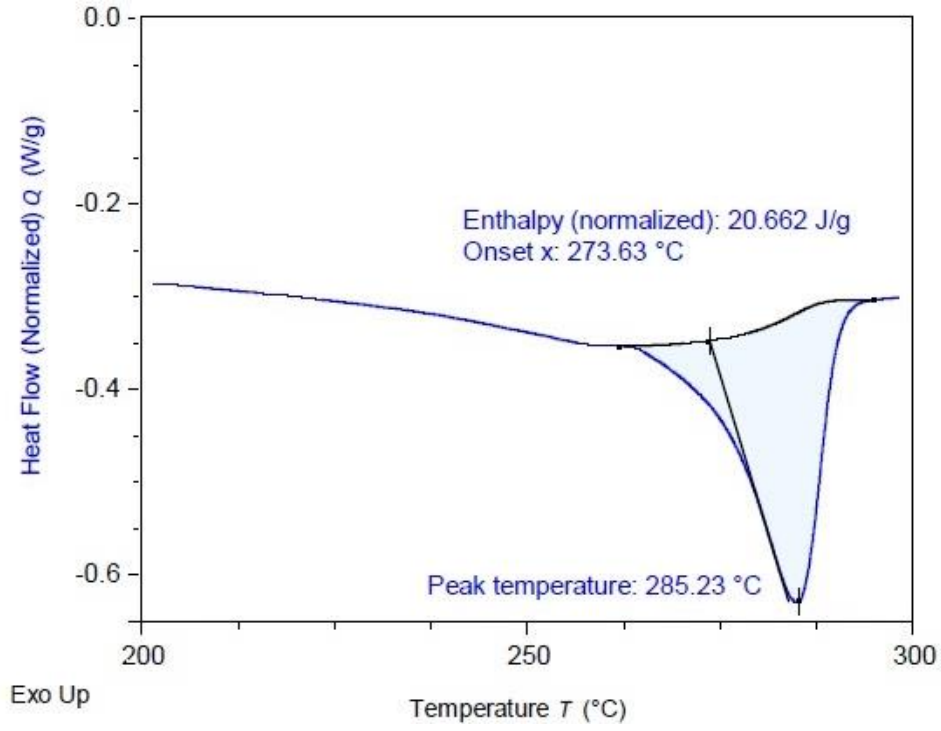
EK A: Numunelerin DSC Analiz Sonuçları



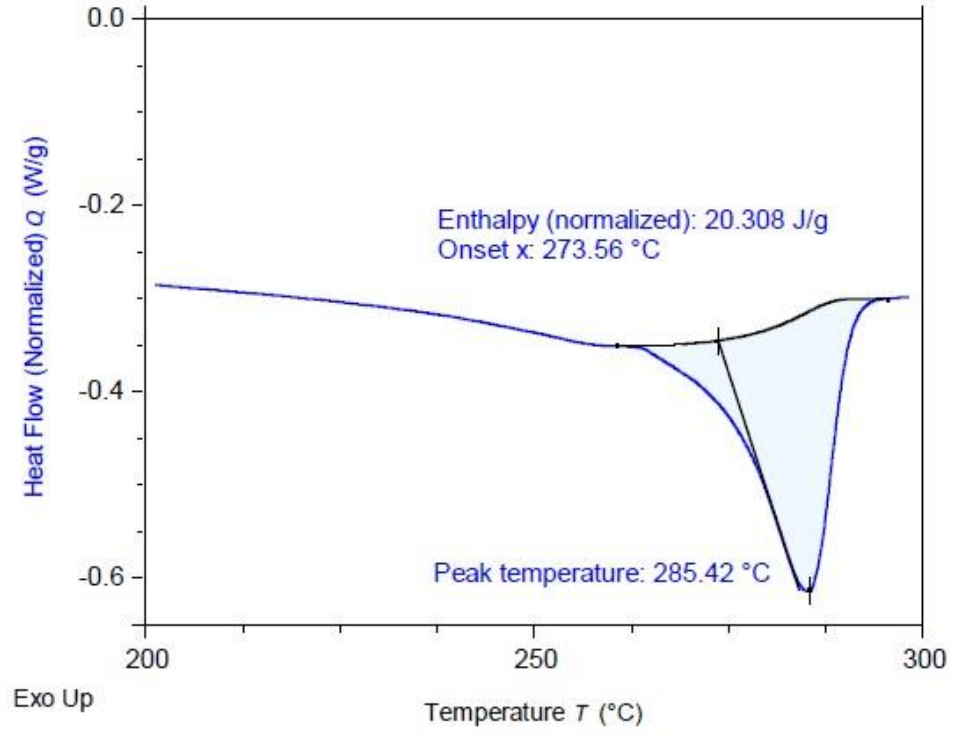
EK A



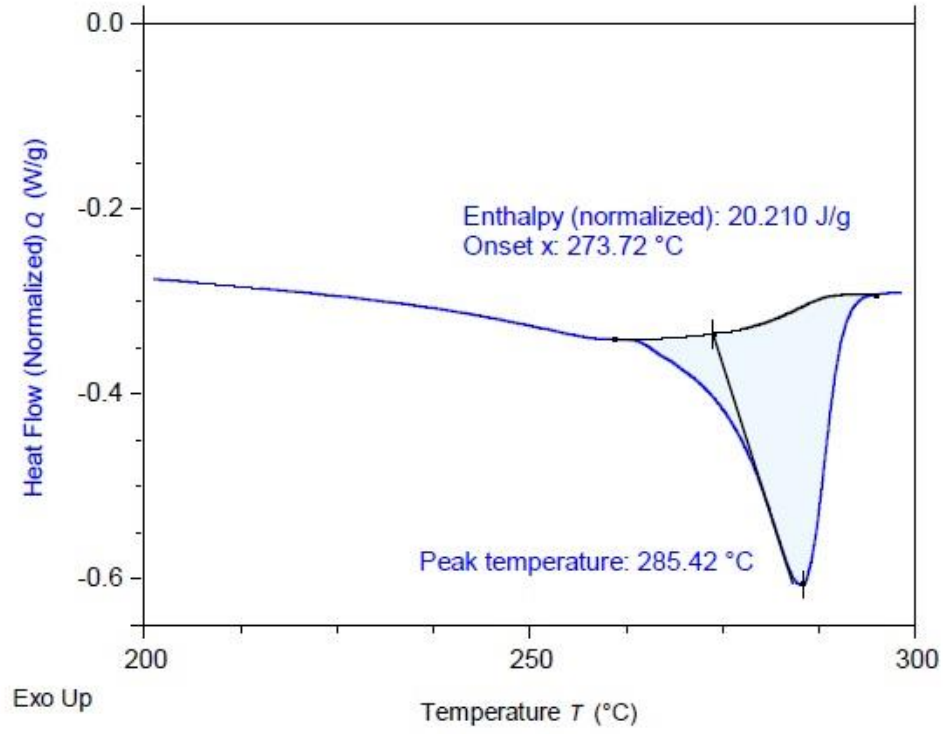
Şekil A.1 : A numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



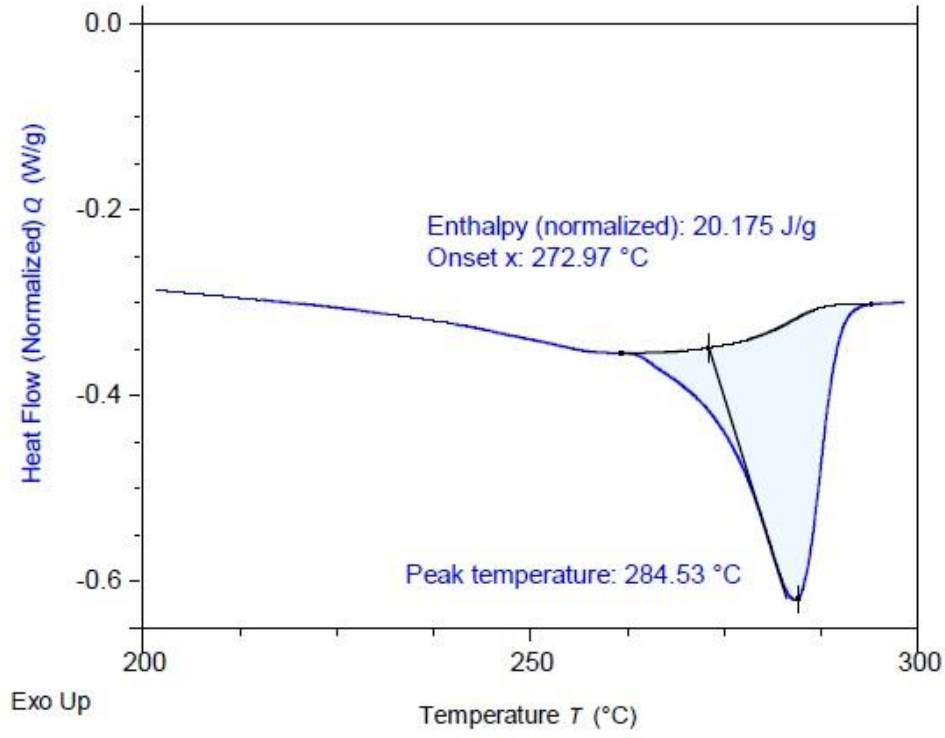
Şekil A.2 : B numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



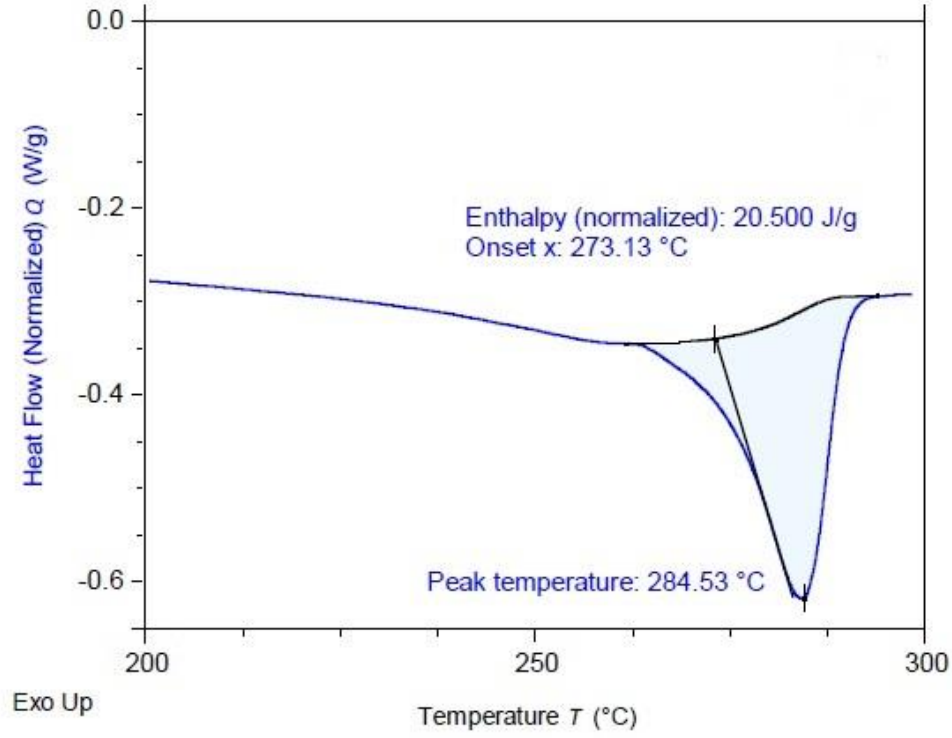
Şekil A.3 : C numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



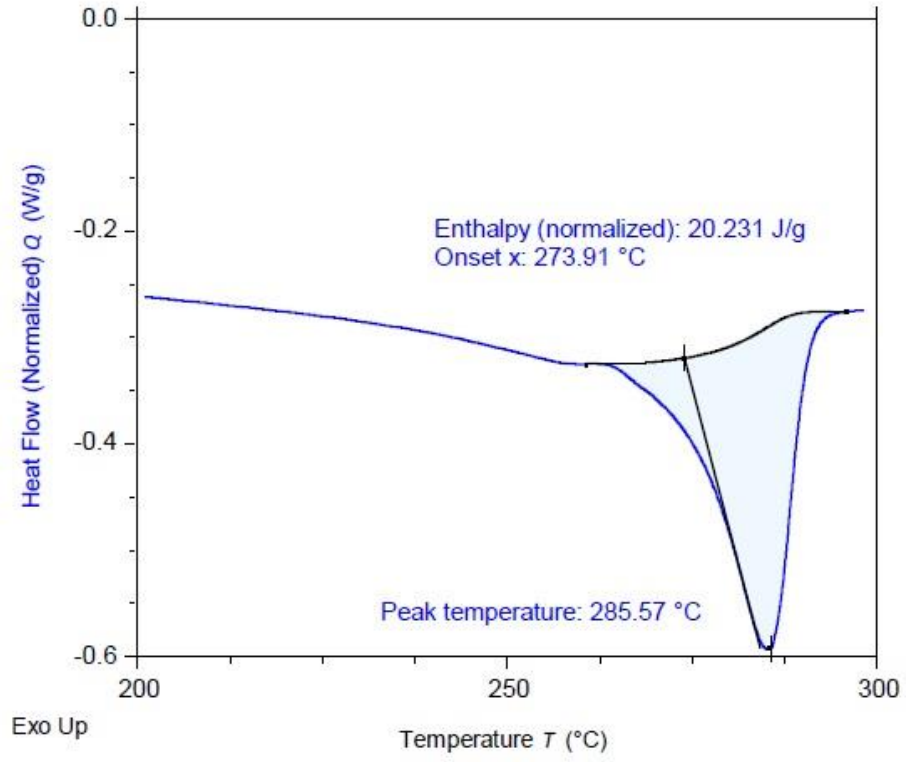
Şekil A.4 : D numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



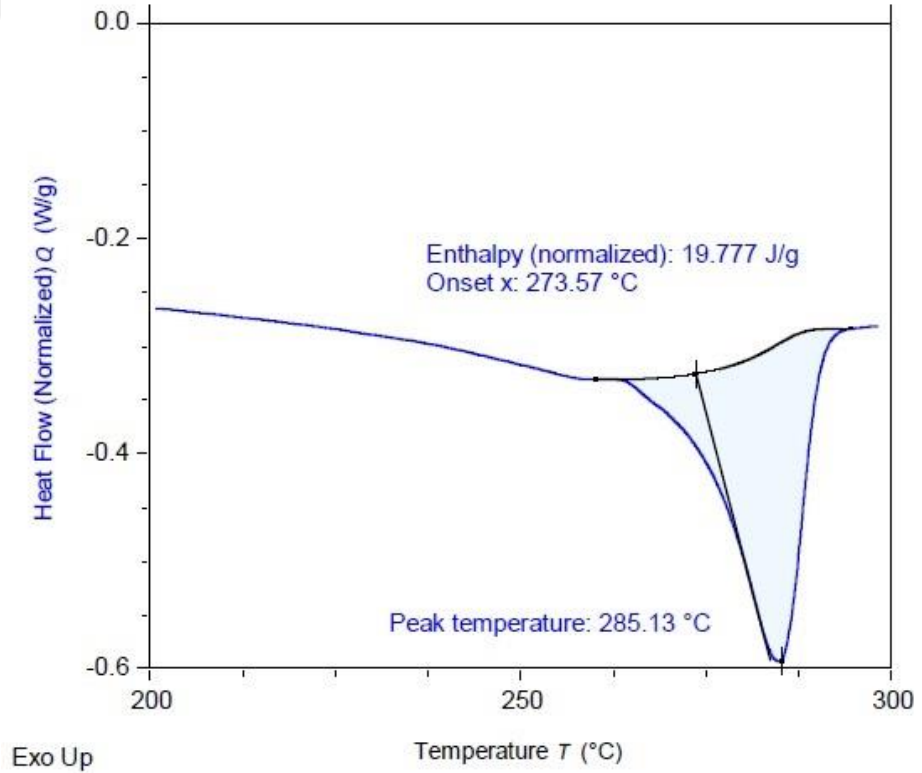
Şekil A.5 : E numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



Şekil A.6 : F numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



Şekil A.7 : G numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



Şekil A.8 : H numunesine ait ikinci dinamik DSC grafiği.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mustafa SEVDAROĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.07.1994, İSTANBUL
E-posta : mustafasevdar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği