

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

POLYAMİD BORULARDA KALIPLI
ŞEKİLLENDİRME SONUCU OLUŞAN
ÇEKME PROBLEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Mehmet YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

GEBZE

2010

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

POLYAMİD BORULARDA KALIPLI
ŞEKİLLENDİRME SONUCU OLUŞAN
ÇEKME PROBLEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Mehmet YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

GEBZE
2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .. / .. / 2010 tarih ve 2010/.. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/06/2010 tarihinde tez savunma sınavı yapılan **Mehmet YILMAZ**'ın tez çalışması **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

ÜYE

: Doç. Dr. Metin USTA

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI : POLYAMİD BORULARDA
KALIPLI ŞEKİLLENDİRME SONUCU OLUŞAN
ÇEKME PROBLEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YAZARIN ADI : MEHMET YILMAZ

Gündelik hayatımızın hemen her anında çevremizde polimerden yapılmış en az bir malzeme görebiliriz. Otomotiv sektörü plastik malzemelerin en sık kullanıldığı alanlardan biridir. Mümkün olan alanlarda metal parçaların yerine plastik kullanılarak giderek daha hafif ve daha ucuz otomotiv üretimi sağlanmaktadır. Özellikle Türkiye’de otomotiv yan sanayisinin gelişimi ve yan sanayi parça üretiminin arttığı düşünülürse, otomotiv plastikleri sektörünün ülkemizde önemli bir sanayi dalı olduğu söylenebilir.

Tez çalışmalarının yürütüldüğü firmada üretimi yapılan hava, yakıt gibi akışkanların iletilmesinde kullanılmakta olan plastik esaslı polyamid boruların basınçlı buhar altında, kalıplı şekillendirme esnasında form ve ölçüsel boyutlarda çekmeden kaynaklanan problemlerle karşılaşmaktadır. Bu çalışmada; çekme problemine etkisi olabilecek faktörler, problem çözme yöntemleri kullanılarak ve deneysel çalışmalar yapılarak araştırılmıştır.

SUMMARY

THESIS NAME: EXAMINING THE RESULTS OF SHRINKING PROBLEMS ON MOULD-SHAPING POLYAMIDE TUBES

AUTHOR NAME : MEHMET YILMAZ

In any moment of your daily life you can see at least one item around you made by polymer. Automotive sector is one of the field that these type of materials are used widely. By using plastic pieces instead of metals in possible fields both lighter and cheaper automotive production is possible. When development and production of sub-industry automotive is considered, it can be said that automotive plastic sector is an important branch in our country.

During shaping under pressure of stream on plastic based polyamide tubes, which are used for transmitting fluid such as air and fuel, some problems are faced based on form and measuring size because of shrinking. This project examines the factors that effects shrinking problems by using problem solving method and doing experimental studies.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında değerli görüş ve önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarımı yürüttüğüm ve aynı zamanda görev yaptığım KROS OTOMOTİV A.Ş.'de çalışan başta Onur GÜL ve tüm mesai arkadaşlarıma, destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca tüm eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman her konuda yanımda olan, beni destekleyen, teşvik eden, anlayış ve sabır gösteren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASINDA POLİMERİN YERİ	3
2.1. Polimer Teknolojisinin Tarihçesi	7
2.2. Polimer	8
2.3. Polimerlerin Sınıflandırılması	11
2.3.1. Termoset Plastikler	15
2.3.2. Termoplastikler	15
2.4. Polimerlerin Zincir Yapısı ve Dallanma	20
3. POLYAMİD MALZEMELER	22
3.1. Polyamidin Tanımı	22
3.2. Polyamidin Genel Özellikleri	23
3.3. Polyamid Çeşitleri	24
3.3.1. PA6	25
3.3.2. PA6.6	27
3.3.3. PA6.12	29
3.4. Polyamidin Kullanım Alanları	30
3.5. Otomotiv Sektöründe Polyamidin Yeri	31

4. PLASTİK MALZEMELERİN ÜRETİMİ	33
4.1. Katılma Polimerizasyonu	33
4.2. Yoğuşma Polimerizasyonu	34
4.3. Temel Polimer Prosesleri	34
4.4. Ekstrüzyon ile Şekillendirme	36
4.5. Enjeksiyonla Döküm	45
4.6. Hava Üfleli Döküm	48
4.7. Isıl Şekillendirme	50
4.8. Geri Dönüşüm	53
5. POLYAMİD BORULARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN BİR FİRMADA ELE ALINMASI	55
5.1. Firma Hakkında	56
5.2. Polyamid Boruların Şekillendirilmesi	57
5.2.1. Polyamid borulara boğum şişirilmesi	58
5.2.2. Kalıba yerleştirme öncesi ön ısıtma	61
5.2.3. PA boruların şekillendirme kalıplarına yerleştirilmesi	62
5.2.4. Otoklav işlemine tabii tutulması	64
5.2.5. Otoklav sonrası şoklama ve boruların kalıptan çıkartılması	65
5.3. Polyamid Boruların Şekillendirilmesinde Karşılaşılan Problemler	67
5.3.1. Sebep – sonuç diyagramı	67
5.3.1.a. Sebep – sonuç diyagramının hazırlanması	68
5.3.2. Polyamid borularda kalıplı şekillendirme sonucu oluşan çekme probleminin sebep – sonuç diyagramında incelenmesi	69
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	72
6.1. Deneysel Çalışmanın Amacı	72
6.2. Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar	72
6.3. Deneyin Yapılışı	73

6.4. Deney Sonrası Elde Edilen Sonuçlar Ve İncelenmesi	73
6.5. Polyamid Borunun Otoklav Prosesinde Simülasyonu	78
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	92
EK – 1 CATIA ANALİZ SONUÇ RAPORLARI	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Akrilonitril-butadien-stiren
C	Karbon
°C	Sıcaklık birimi
Cl	Klorür
EP	Epoksiler
Ge	Germanyum
g/cm³	Yogunluk birimi
H	Hidrojen
MF	Melamin-formaldehid
N	Azot
O	Oksijen
P	Fosfor
PA	Polyamid
PA 6	Polyamid 6
PA 6.6	Polyamid 6.6
PA 6.10	Polyamid 6.10
PA 6.12	Polyamid 6.12
PA6-% 30 GF	% 30 cam elyaflı poliamid 6
PA 11	Polyamid 6.11
PA 12	Polyamid 12
PAN	Poliakro-nitrile
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polyester
PMMA	Polimet metha akrilik
POM	Metilen
PP	Polipropilen
PS	Polistreyne
PTFE	Polytetrafluoroethylene
PUR	Poliüretan
PVC	Polivinilklorür

Se	Selenyum
SI	Silikon
Si	Silisyum
UP	Polyester

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Polimerlerin tarihsel gelişimi	8
2.2. Polimerlerin yapısı	9
2.3. Yumuşak bir metalde tipik gerilme/uzama eğrisi (a), dört tip polimer için tipik bir gerilme/uzama eğrisi (b)	11
2.4. Organik – İnorganik Polimerlere örnekler	14
2.5. İnorganik Polimerlere örnekler	14
2.6. Polimerlerin zincir yapıları	21
3.1. Polyamid teriminin açıklaması	25
4.1. Katılma polimerizasyonunun şematik gösterimi	33
4.2. Yoğuşma polimerizasyonunun şematik gösterimi	34
4.3. Termoset ve termoplastik kompozitlerin işleme tekniklerinin sınıflandırılması	35
4.4. Üretim yöntemlerinin % olarak dağılımı	36
4.5. Ekstrüderin şematik yapısı	38
4.6. Çeşitli ekstrüzyon vidaları	40
4.7. Ekstrüder hattının şematik yapısı	41
4.8. Ekstrüderin genel görünümü	42
4.9. Ekstrüder çıkışı soğutma hattı genel görünümü	42
4.10. Ekstrüder hattının şematik gösterimi	43
4.11. Yaş ergitme yönteminin şematik gösterimi	44
4.12. Eriterek eğirme yöntemi	44
4.13. Enjeksiyonla döküm yöntemi	46
4.14. Enjeksiyon ve baskıya döküm	47
4.15. Enjeksiyon ile döküm makinesi	47
4.16. Hava üfleli döküm yöntemi	48
4.17. Hava üfleli döküm yöntemi ile üretilen ürünlere örnekler	49
4.18. Hava üfleli döküm yöntemi ile üretilen ürünlere örnekler	49
4.19. Hava üfleli döküm yönteminde kullanılan şekillendirme kalıbı	50
4.20. Vakum altında ısıll şekillendirme yöntemi	51

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.21. Basınçlı hava ile ısıtıl şekillendirme yöntemi	52
4.22. Mekanik sistem uygulayarak şekil verme	53
4.23. Geri dönüşün hattı	54
5.1. Boğum şişirilmiş bir PA boru	58
5.2. PA borunun montaj şekli	59
5.3. PA borunun montaj şekline diğer bir örnek	60
5.4. PA boğum şişirme makinesi	61
5.5. Tavlama işlemi için kullanılan etüv cihazı	62
5.6. PA boru şekillendirme kalıbı	63
5.7. PA borunun şekillendirme kalıbına yerleştirilmesi	63
5.8. Şekillendirilmenin yapıldığı otoklav	64
5.9. Şoklama işleminin yapıldığı su havuzları	65
5.10. Chiller grubu	66
5.11. Sebep – sonuç (balık kılçığı) diyagramı	69
5.12. Polyamid borularda kalıplı şekillendirme sonucu oluşan çekme problemi için sebep – sonuç diyagramı	71
6.1. PA 6.12 granül malzemenin 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	74
6.2. PA 6.12 granül malzemenin 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	75
6.3. Ekstrüder sonrası elde edilen PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	75
6.4. Ekstrüder sonrası elde edilen PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	76
6.5. Şoklama prosesi uygulanarak şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	76
6.6. Şoklama prosesi uygulanarak şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	77
6.7. Şoklama prosesi uygulanmadan şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	77
6.8. Şoklama prosesi uygulanmadan şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü	78

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.9. Deney çalışmasında kullanılan polyamid borunun cad datası	79
6.10. Deney çalışmasında kullanılan polyamid şekillendirme kalıbının CAD datası	80
6.11. Şekillendirme kalıbı ve polyamid boruya “mesh” uygulaması	81
6.12. Basınç değerlerinin girilerek yüklerin tanımlanması	82
6.13. Sıcaklık değerinin girilmesi	82
6.14. Basınç ve sıcaklık değerlerinin girilerek yüklemeleri tanımlanmış mesh’li parça	83
6.15. Hazırlanan modelin analiz öncesi “check” edilmesi	84
6.16. Analizin başlatılması	84
6.17. Sonuçların alınması	85
6.18. Analiz sonuçları (Von-Mises)	86
6.19. Analiz sonuçları (strain full tensor component)	86
6.20. Analiz sonuçları (stress full tensor component)	87
6.21. Analiz sonuçları (translational displacement magnitude)	87

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Metal, Seramik ve Plastik Malzemelerin Bazı Özelliklerinin Karşılaştırılması	3
2.2. Termoplastik polimerik malzemelerin sınıflandırılması	4
2.3. Yeni, ileri polimerik malzemeler ve uygulama alanları	5
2.4. Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması	12
2.5. Polimerlerin elde edildikleri yere göre sınıflandırılması	13
2.6. Termoplastiklerin bazı tipik özellikleri	17
2.7. Seçilen bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel Özellikleri	20
3.1. PA6.12'nin fiziksel özellikleri [DEGUSSA]	30

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, insanların ihtiyaçları teknolojinin gelişimi ile paralel olarak artmakta ve hatta teknolojik gelişmelere zemin hazırlamaktadır. Bu ihtiyaçlardan biri de sanayinin temel girdisi olan malzeme üretimidir. Malzeme bilimindeki gelişme hızla devam etmektedir. Ancak yeryüzünde sınırlı sayıda bulunan ana malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri nedeniyle teknolojinin gelişmesine ayak uyduramayıp, zaman zaman yeterli olmadığı dönemler olmuştur [1].

Bilindiği gibi insanoğlu yaradılışından bu yana sürekli olarak gelişen, arayışlarına paralel bir şekilde ihtiyaç duyduğu gereçlerin üretimi için yeni malzemeler geliştirmiştir. Bunlardan biri de insan hayatının vazgeçilmez temel maddelerinin ana yapı taşlarından olan polimerlerdir. İpek, yün ve selüloz gibi doğal polimerlerin yanı sıra polyester, naylon, teflon ve sentetik kauçuk gibi sayısız türde yapay polimer bilinmektedir. Bugün dünyada 30.000 civarında farklı polimer türü bulunmaktadır. Bu yüzden polimer kimyası elektronikten tekstile, tıptan uzay malzemelerine, otomotivden ev ürünlerine kadar insan refahı için önemli rol oynayan bir bilim dalıdır [1].

Plastik artık bugün, insan düşünün gerçeğe uzanan bir yansıması olarak biçimlenmekte ve her geçen gün yaşamımızda yeni boyutlar kazanmaktadır. Plastiğin bu hızlı gelişiminin nedeni, PP, PVC, PE gibi ana maddelerin içine katılan özel katkılarla, kullanılacağı yere göre istenilen biçim verilerek üretilebilmesi, kolay şekil alması, her çeşit izolasyon gücünün yüksekliği, temizliğinin kolaylığı, defalarca kullanılabilmesi ve uzun ömürlü olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikleriyle plastik, ekonomiye artı değer kazandırarak, kullanıcıların sorunlarını rahatlıkla çözümleyebilmektedir [1].

Polimer üretimi ve yeni polimerlerin aileye katılması ile gözlenen bu gelişmelere diğer hiçbir endüstri dalı ile kıyaslanamayacak ölçüde hızlı olmuştur. Bu hızlı gelişmenin zorunlu bir sonucu olarak kimyacıların ve kimya mühendislerinin önemli bir kısmı polimerlerle ilgili dallarda ya da laboratuvarlarında çalışmaktadır. Tüketilen

polimerlerin çevre kirliliği oluşturacak düzeye erişmesi bu hızlı gelişimin bir göstergesidir.

Yapılan tez çalışmasında konun daha iyi anlatılabilmesi ve problemin kök nedeninin araştırılması için; 2. bölümde malzemelerin genel sınıflandırılması içinde polimerlerin yeri başlığı altında, polimer teknolojisini tarihsel gelişimi, polimer malzemeler, polimerlerin sınıflandırılması ve polimer malzemelerin zincir yapıları hakkında bilgiler verilmiştir.

3. bölümde tez konusunda ele alınan ana malzeme olan polyamid malzemenin tanımı, genel özellikleri, çeşitleri, kullanım alanları ve otomotiv sektöründeki yeri konularına değinilmiştir. Akabinde 4. bölümde plastik malzemelerin üretim şekli ve yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Tezin devamındaki bölümlerde, tez konusu olan polyamid borularda kalıplı şekillendirme sonucu oluşan çekme problemlerin araştırılması için bir firmada yürütülen çalışmalar, yapılan deneyler ve bu çalışmalar sonucu elde edilen bilgilerin sonuç kısmında değerlendirilmelerine yer verilmiştir.

.

2. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASINDA POLİMERLERİN YERİ

Malzemeler genel olarak metal ve metal dışı mühendislik malzemeleri olarak ayrılmaktadır. Metal dışı malzemeler, organik ve seramik malzemelerdir. Organik malzemeler; polimer, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan H, O, Cl, N gibi elementlerle meydana getirdiği büyük moleküllü malzemelerdir. Bu doğrultuda 3 ana grup olan metal, seramik ve plastikler arasında karşılaştırma yapılacak olursa birbirlerine göre Tablo 2.1’de belirtilen farklar görülmektedir. Ancak ayrıca kompozit malzemelerde ayrı bir grup oluşturmakta ve metalik veya metal dışı malzeme olabilmektedir.

Tablo 2.1. Metal, seramik ve plastik malzemelerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Malzeme Grubu	Yoğunluk	Dayanım	Tokluk	Isıl Kararlılık	Şekillendirme	Birleştirme
Metaller	Orta/Yüksek	Orta	İyi	Orta	Orta	Orta
Seramikler	Düşük/Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Kötü	Kötü
Plastikler	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	İyi	İyi

Dünya petrokimya sektörünün imkân ve kapasitelerine dayalı olarak plastik sanayii içerisinde gelişen ileri plastik ve polimerik malzemeler çağdaş teknolojilerde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Tüketim plastikleri olarak bilinen ve yaygın olarak 1930’lu yıllardan beri kullanılan polietilen, polistiren ve polivinil klorür (PVC) gibi malzemelerin yanı sıra "Mühendislik Plastikleri" olarak tanımlanan asetaller (polioksimetilen), ABS (akrilonitril-butadien-stiren), polikarbonatlar, polifenilen eterler ve oksitler, polyamidler, termoplastik poliyesterler gibi malzemeler bulunmaktadır. Ayrıca polipropilen gibi plastikler de elektronik, ısı, medikal ve kimyasal ortamlardaki yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılmaktadır. "Yüksek Performans Mühendislik Polimerleri" olarak polifenilen

sülfidler, polieterketonlar, polisulfonlar, sıvı kristal polimerleri ve poliimidler bulunmaktadır [2]. Bu malzemelerin genel olarak sınıflandırılması Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2. Termoplastik polimerik malzemelerin sınıflandırılması [2]

Kategori	Süreç	Maksimum kullanım sıcaklığı	Fiyat	Üretim hacmi	Örnekler
Yaygın kullanılan polimerler Yüksek miktarda üretilen, düşük maliyet ve kolay süreçler	Çok yüksek sıcaklık gerektirmez, esnek üretim şartları	70°C-110-120 °C	Düşük	> 1 milyon ton (bölge başına)	PVC, düşük yoğun polietilen, yüksek yoğun polietilen, polipropilen
Mühendislik Polimerleri Üstün ısı dayanım, mukavemet, dayanıklılık, üstün korozyon dayanımı,elektriksel özellikler	Yüksek sıcaklık ekipmanı gerekli, sınırlı proses teknolojisi	130-140°C-200 °C	Orta ölçekte	40-100 bin ton (bölge başına)	Polyamidler, Poliasetaller, modifiye polifenilen oksit, polikarbonat, polietilen tereftalat, polibutilen tereftalat, ABS
Yüksek Performans Polimerleri Süper ısı dayanım, çok üstün mukavemet, optik özellikler, elektriksel özellikler	Çok yüksek sıcaklık ekipmanı gerekli; Hassa proses teçhizatı; Polimerizasyon süreci kompleks	>200 °C	Yüksek Çok yüksek	0.1-10 bin ton (bölge başına)	Polifenilen sülfid, polisulfon, polieterimid, polyamid-imid, polietereterketon, sıvı kristal polimerleri

Bu gruptaki malzemeler arasında ayrıca termosetler, fluoroplastikler ve üstün performans elastomerleri de gösterilebilir. Bu malzemeler grubunda hedef, otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanları bulabilmektir. Tablo 2.3’de ise bu malzeme grubu ile ilgili uygulama örnekleri gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Yeni, ileri polimerik malzemeler ve uygulama alanları [2]

İşlev	Örnek	Uygulama
Mekanik işlevler Yüksek dayanım ve dayanıklılık elastiklik şok ve ses sönümleme yüzey koruma yapışma	polyester, polyamid sentetik lastik köpük plastikler kaplama filmler polikloropren	Yapısal elemanlar yapısal elemanlar yapısal elemanlar kaplama elemanları,boya yapışkanlar
Isıl işlevler ısı dayanım düşük ısı dayanımı ısı yalıtım	poliimid,silikon reçine silikon lastik köpük plastik	ısı dayanımlı eleman düşük sıcaklık uygulamaları izolasyon
Elektriksel işlevler iletkenlik yalıtkanlık enerji dönüşüm	poliasetilen poliimid, polietilen tereftalat poliviniliden florit, doplanmış poliasetilen	pil, tel devre kartı, kondenser sensör, elektro akustik transdüser
Optik işlevler ışık geçirgenlik fotoaktiflik çift kırınım	polimetil metakrilat polikarbonat foto- set plastik sıvı kristal	optik fiber,plastik lens kopyalama ekran
Biyolojik işlevler Kan uyumu doku uyumu	polietilen tereftalat silikon polimer	sunı kan taşıyıcı, suni kalp sunı deri, organ ve kemik
Araştırma işlevleri iyon değiştirici ayırıştırıcı	stiren ve akril grupları selüloz asetat grubu	iyon değiştirici reçine ters osmosis membran
Kimyasal işlevler korozyon kimyasal dayanım	polibütan-1, polyamid, neopren polikloropren, butadien akrilonitril	çatı kaplama, deniz inşaat depo,tank

Polimer malzemeler, içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli malzemelerinden biri olup, günümüzde günlük hayattan en özel bilimsel uygulamalara kadar hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni, polimer malzemelerin hafif, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına sahip olmalarıdır. Polimer malzemelerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının diğer bir nedeni de, farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda farklı türe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [1].

Polimerik malzemeler seramiklerden, metallere ve küçük organik moleküllerden birçok açıdan farklıdır. Polimer biliminden bahsedilirken sıkça kullanılacak olan terimler kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Monomer; küçük mol kütleli kimyasal maddelere verilen isimdir. Monomerler birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak kendilerinden daha büyük moleküller oluştururlar. Orta büyüklükte oluşan moleküllere oligomer adı verilirken, yüzlerce monomerin birleşmesinden oluşan çok daha büyük makro-moleküllere ise polimer adı verilir [9].

Çok sayıda monomerin oluşturduğu uzun polimer molekülü bir zincire benzediği için, polimer zinciri olarak da adlandırılır. Hatta, polimer molekülü yerine polimer zinciri terimini kullanmak çok yaygındır [9].

Polimer zincirinin konformasyonu, bir polimer molekülünün ana zincirindeki atomların, bu atomlar arasında bulunan bağlar etrafında dönme hareketleriyle alabileceği farklı geometrik düzenleri tanımlamak için kullanılır. Polimerin bulunduğu sıcaklık, basınç ve çözelti gibi koşullara göre konformasyonu değişik şekiller alabilir. Tam uzamış polimer zinciri konformasyonu (çubuk gibi) ve tam büzülmüş polimer zinciri konformasyonu (yumak gibi) olmak üzere iki ana konformasyon bulunmaktadır. Bu iki ana konformasyon iki ayrı uçta bulunan geometrik düzendir ve yüksek enerji seviyesinde bulunurlar. Bu sebeple polimer zincirleri bulundukları koşula göre iki ucun arasında herhangi bir konformasyonda bulunabilirler. Hatta, genellikle bu iki ucun arasındaki geometriyi tercih ederler ve rastgele büzülmüş konformasyonda bulunurlar.

Polimer molekülü boyunca peş peşe bağlanarak zincirin ana iskeletini oluşturan kısma ana zincir denir. Ana zincir genellikle karbon-karbon bağlarından oluşan bir iskelet oluştursa da oksijen gibi başka atomlar içeren ana zincirler de mevcuttur. Polimer ana zinciri yerine kullanılan polimer omurgası terimi de oldukça yaygındır.

Polimerin zincirinin sadece düz bir ana zincirden oluşmadığı durumlar da vardır. Ana zincirdeki atomlara bağlanan ve zincirden ayrı başka bir kısa yan molekül oluşturan kısımlara yan gruplar adı verilir. Birçok polimer farklı yan gruplara sahip monomerlerden sentezlenir. Polimer zincirinin üzerindeki yan gruplar, gruptaki molekülün büyüklüğüne, esnekliğine ve fiziksel kuvvet etkileşimlerine göre

polimerin fiziksel hali ve mekanik özellikleri başta olmak üzere, bütün fiziksel özelliklerini etkiler [9].

2.1. Polimer Teknolojisinin Tarihçesi

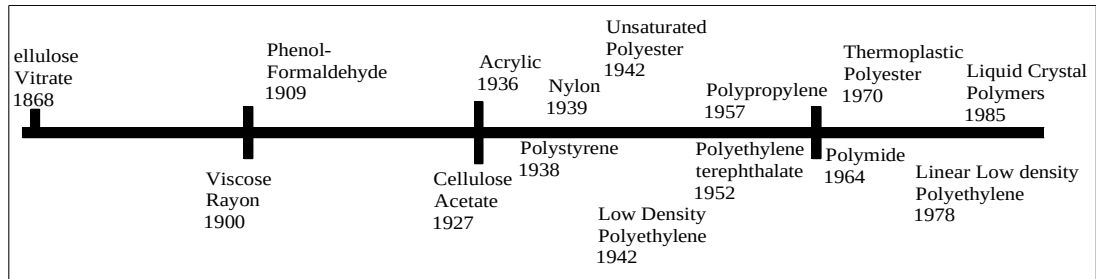
Kimyasal reaksiyonlarda bir yan ürün olarak oluşan polimerler istenmeyen bir ürün olarak çoğunlukla lavaboya dökülmüştür. Deneysel tekniklerin gelişimiyle birlikte 1920'li yıllarda polimerlerin yapıları daha iyi anlaşılmaya başlamıştır. Yapay polimerler geçen yüzyılın başlarında sentezlenmiş ve bulunduğumuz yüzyılda endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmıştır [3].

Polimer teknolojisindeki tarihi gelişmeler aşağıdaki gibi olmuştur:

- 1838 Regnault'un vinilden klorürü güneş ışığı kullanarak polimerleştirilmesi
- 1839 Goodyear, Mc Instosh, Hancock tarafından doğal kauçukta vulkanizasyon gerçekleştirilmesi
- 1868 Hyatt tarafından selüloidin bulunması
- 1884 Emill Fisher tarafından şeker ve protein formüllerinin belirlenmesi
- 1907 Baekland tarafından fenol formaldehid reçinesinin bulunması
- 1913 Almanya'da metil kauçuğun üretilmesi
- 1920 Staudinger'in makromolekül hipotezini önermesi
- 1928 Mayer ve Mark'ın kauçukta kristal boyutlarını ölçmesi
- 1929 Carother'ın kondenzasyon polimerizasyonunu gerçekleştirilmesi. Thiakol ve üre-formaldehidin bulunması
- 1930 Kloropren'in bulunması
- 1937 Polistiren, stiren-Bütadien, Akrilonitril Bütadien kauçukların üretilmesi
- 1938 Naylon 6.6 elyafının üretilmesi
- 1940 Butil kauçuğun üretilmesi
- 1941 Polietilenin üretilmesi
- 1947 Epoksi türü bileşiklerin bulunması
- 1950 Polyester elyaf üretilmesi

- 1957 Polipropilen ve polikarbonatın üretilmesi
- 1959 Sentetik cis-poliisopren ve cis-polibütadienin üretilmesi
- 1960 Etilen – Propilen kauçuğun üretilmesi

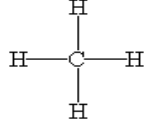
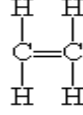
Bu gelişmelerden en önemlisi, Staudinger isimli kimyacının “küçük moleküller kovalent bağlarla bağlanarak büyük molekülleri (makro molekülleri) oluştururlar” tezidir. Bu görüşle 1953 yılında Nobel ödülü kazanmış ve modern polimer kimyasının kurucusu olmuştur. Polimerlerin tarihsel gelişimini basit bir şekilde şekil 2.1.’deki gibi özetleyebiliriz.



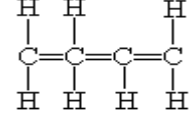
Şekil 2.1. Polimerlerin tarihsel gelişimi.

2.2. Polimer

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturdukları çok büyük moleküller olup, yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Dünyamızda uzun yıllar kullanılan metal, odun ve seramik gibi malzeme cinsleri yanında polimerler ancak 20’inci yüzyıl başlarında tanınmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. Polimerlerin yapısına Şekil 2.2.’deki örnekler verilebilir.

Metan (CH₄)

Etilen (monomer)



Polietilen (polimer)

Şekil 2.2. Polimerlerin yapısı

Polimer kelimesinin kökünü incelendiğinde, “poly” çok anlamına gelir ve “meros” küçük parça demektir. Monomerlerin birbirleriyle bağlanarak polimer oluşturduğu kimyasal reaksiyona polimerizasyon adı verilir.

$$\text{Monomer} + \text{Monomer} = \text{Dimer}$$

$$\text{Monomer} + \text{Dimer} = \text{Trimer}$$

$$\text{Monomer} + \text{Trimer} = \text{Tetramer} \dots\dots$$

.....

$$n \text{ tane (Monomer)} = \text{Polimer}$$

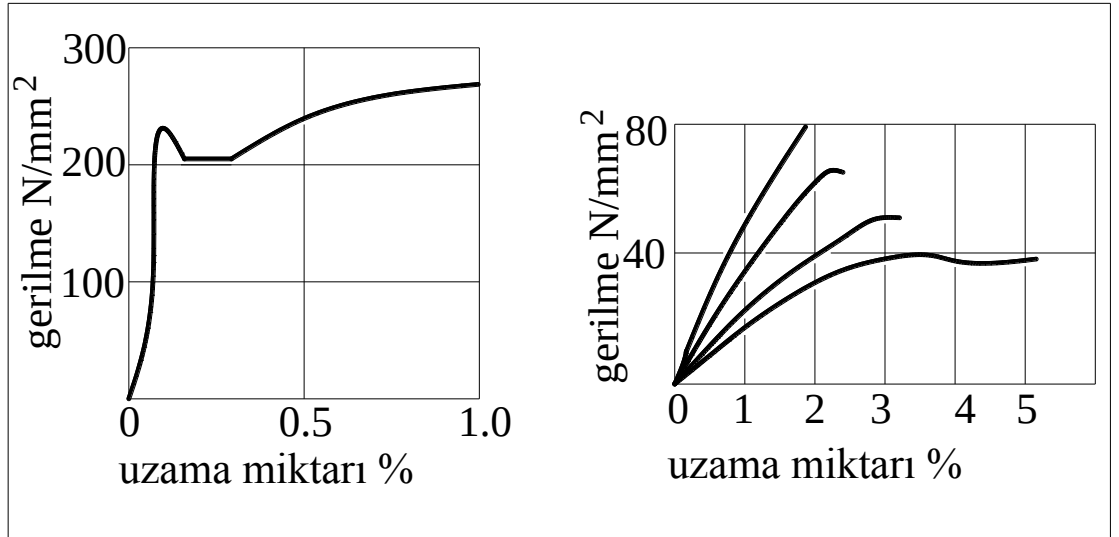
Polimerler yapıları gereği çelik ve diğer konvansiyonel malzemelerden farklıdır ve onların avantajlı yanları ön plana çıkartılarak kullanım alanları giderek genişlemektedir. Polimer ve polimer kompozitlerin başlıca hedefleri en az çelik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklıklarına dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimidir. Günümüzde ileri mühendislik malzemelerinin kullanımında hiç şüphesiz otomotiv sektörü en büyük payı almaktadır. Otomobillerde çeşitli plastik malzemelerin kullanımı % 10 civarında ise de tamponlar gibi bazı özel uygulamalarda plastik kompozitler rakipsizdir.

Polimer kompozitlere neden gereksinim vardır? Bu soruyu cevaplamak için kullanılan malzemede ne gibi özellikler istendiğinin bilinmesi gerekir. Malzemede yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ısınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı ve sertlik gibi günlük yaşamda kullanılan terimlerle

ifade edilen özellikler yanında daha bilimsel bir dille ısısal genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri değerlerin uygunluğu aranır. Bütün istenen özellikleri tek bir metal, seramik veya polimer malzemede bulmak son derece ender rastlanan bir olaydır. Metallerden ve seramiklerden daha hafif olan polimerlerin özgül ağırlıkları 0.8 g/cm^3 ile 2.2 g/cm^3 arasında değişir. Bu hafifliklerine karşın yüksek mekanik mukavemete sahip polimerler, en çok tercih edilen hafif malzeme sınıfı haline gelmiştir. 1950'lerden beri polimer kompozitler çok önemli bir boşluğu doldurmuştur. Bugün yaygın olarak uçak, roket, füze gövdeleri, yüksek kalitede spor malzemeleri, yapay kemik gibi maliyetin yüksekliğinin pek önemli olmadığı alanlarda kullanıldığı gibi lastik, otomotiv sanayii, beyaz eşya, basınç dayanımlı boru, ve deniz araç gövdeleri gibi geniş bir spektrumda işlev görmektedirler.

Polimer malzemelerin özellikleri çok farklıdır. Çünkü bunların mekanik davranışları visko-elastiktir. Bunun sonucu olarak da rijitlik ve dayanım özellikleri, frekans ve yükleme miktarı bunların hepsi zamana bağlıdır. Kompozit malzeme içindeki elyaf bileşeninin mekanik özellikler üzerine etkisi mevcut ancak yine zamana bağlıdır. Fakat bu bağımlılık; elyaf hacim oranı ve elyaf doğrultusuna göre değişir. Dört tip polimerin tipik gerilme/uzama eğrisi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

Bu grafikten de, kırılma gerilmelerinin metallerden çok değişik olduğu gözlenmektedir. Bununla beraber, polimerlerin davranışları anizotropiktir. Bu anizotropiklik malzemenin üretimi sırasında polimer molekülleri yönlendiği zaman ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemede elyaf düzenlenmesi rastgele değilse elyaflar düzenli yönlenmişse malzeme anizotropik özellikler verecektir.



Şekil 2.3. Yumuşak bir metalde tipik gerilme/uzama eğrisi (a), dört tip polimer için tipik bir gerilme/uzama eğrisi (b)

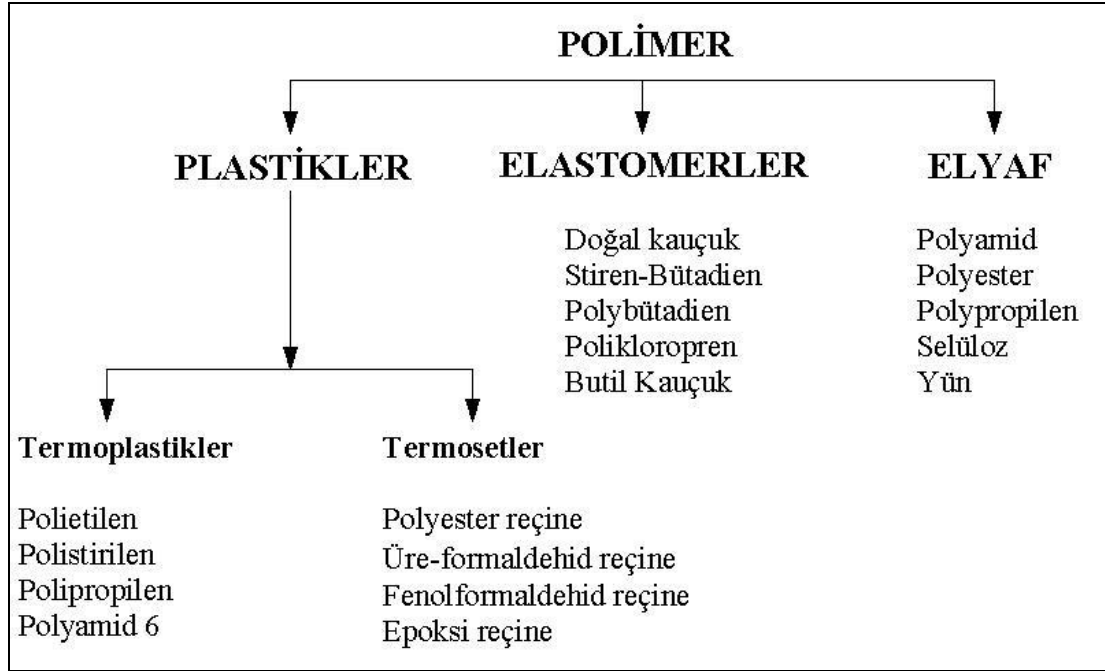
2.3. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerik maddeler çok değişik yapı ve özelliktedirler. Bazı polimerlerin yararlılığı bu maddelerin elektriksel özellikleri ile ilgilidir. Bu tür polimerler, yalıtkanlık di elektrik kapasitörü ya da mikro-dalga aygıtlarının parçalarında kullanılırlar. Bazı polimerlerin üstün optik özellikleri önem taşır. Bu polimerlerden uçak camları, güvenlik camlarının iç katmanları üretilir. Bazı plastikler ve elastomerler, operasyonla insan vücudunun çalışmayan organlarının yerine konur. Bu tür maddelerin biyokimyasal davranışları bu amacı karşılamalıdır. Örneğin organizma ile reaksiyon vermemeleri, gerektiğinde denetlenen koşullarda ayrıştırılarak vücuttan atılmaları sağlanabilmelidir.

Polimerleri kimyasal yapılarına, menşelerine ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmada, sınıflandırma kesin çizgilerle ayrılmayabilir [5]. Şöyle ki; aynı polimer hem elyaf hem termoplastik sınıfı içinde yer alabilir. Örneğin polyesterden hem elyaf hem de

plastik malzeme yapmak mümkündür. Tablo 2.4.'te polimerleri fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

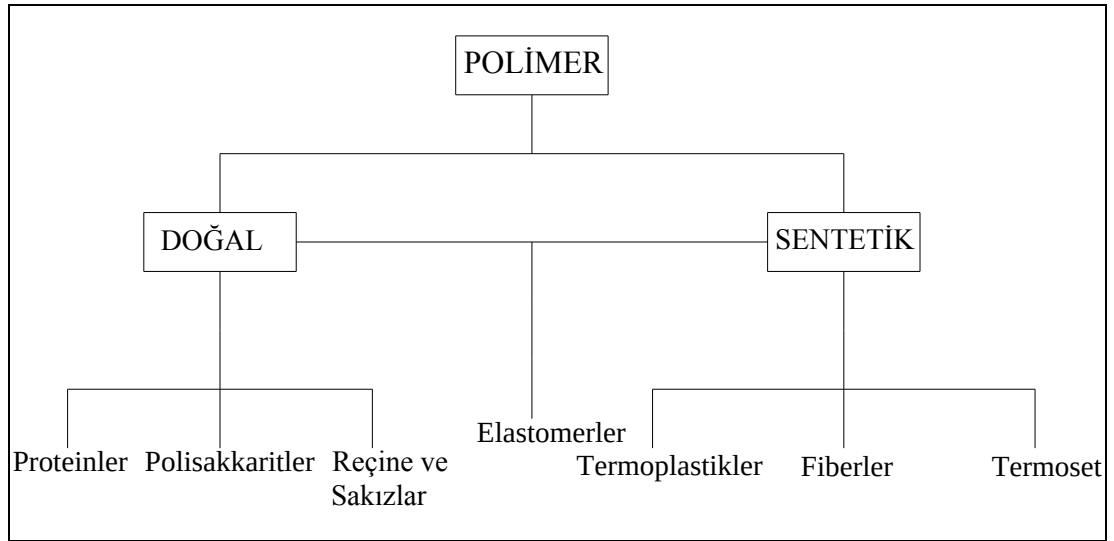
Tablo 2.4. Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması



Yüksek moleküllü birleşmeler elde edildiği yere göre doğal ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır.

- Doğal polimerler: Bunlar doğada var olan polimerlerdir. Doğal kauçuk, pamuk, ipek, yün, amiant birer doğal polimerdir.
- Sentetik polimerler: Monomerlerden çeşitli metotlarla sentezlenen polimerlerdir. Bunlar monomerlerden başlayarak endüstride sentez edilen polietilen, polipropilen, poliesterler, polyamidler gibi polimerlerdir [12].

Tablo 2.5. Polimerlerin elde edildikleri yere göre sınıflandırılması



Polimer zincirinin yapısında bulunan atomların tabiatına bağlı olarak polimerler 3'e ayrılırlar.

a) Organik Polimerler: Organik moleküllerden oluşmuş polimerlerdir. Onların yapısında karbon atomundan başka, hidrojen, oksijen, kükürt, azot atomları bulunabilir. Organik polimerler karbon zincirli ve hetero zincirli olabilirler [12].

Karbon zincirli polimerlere örnekler:

Polietilen: $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$

Polipropilen: $(-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n$,

Polibütadien: $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$

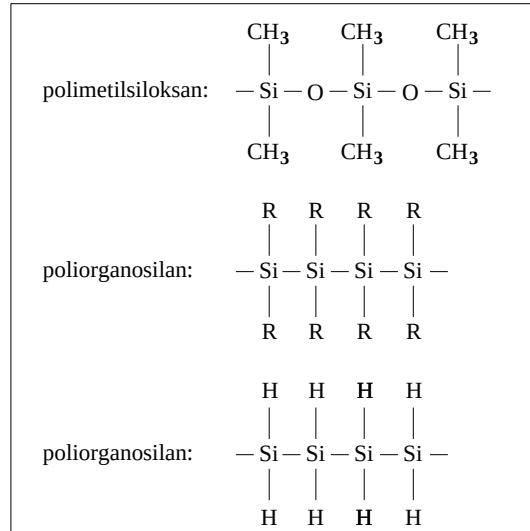
Poliakrilonitril: $(-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n$

Hetero zincirli polimerlere örnekler:

Poliformaldehit: $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$

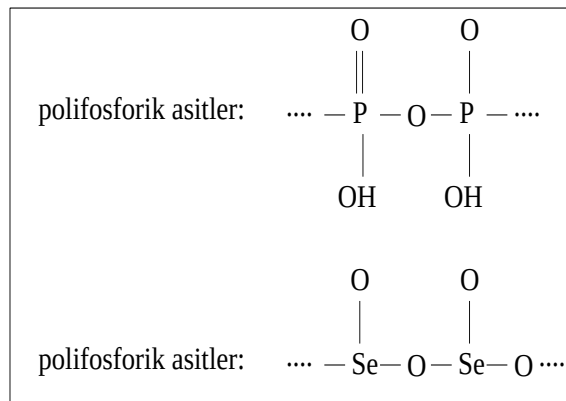
Polikarbonat: $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-$

- b) Organik – İnorganik Polimerler: Bunların yapısında karbon, azot, kükürt ve oksijen atomlarının yanında Si, Se, P, Ge gibi elementlerde bulunur [12].



Şekil 2.4. Organik – İnorganik Polimerlere örnekler [12].

- c) İnorganik Polimerler: Bu polimerlerin yapısında karbon atomu bulunmaz. Onun yerine Si, Ge, S, As vs. elementler olabilir [12].



Şekil 2.5. İnorganik Polimerlere örnekler [12].

Polimer malzemeler ısı davranışlarına göre termoplastik ve termoset plastikler olarak iki kısma ayrılır.

2.3.1 Termoset plastikler

Termoset polimerler, çapraz bağlı polimerlerdir. Polimerizasyon işlemi tamamlanınca sertleşirler, tekrar yumuşama olmaz. Isıtıldıklarında şekil değiştirmezler, yumuşamazlar, kalıplanamazlar. Daha fazla ısıtıldıklarında yanarlar. Bir defaya mahsus olmak üzere ısıtıldığında istenilen biçimlendirmeyi elde ettikten sonra, yeniden ısıtıldığında eski biçimine dönüştürülemeyen polimer grubudur. Bu polimer türüne, epoksiler (EP), polyester (UP), Melamin-formaldehid (MF), fenolikler, poliüretan (PUR) ve silikon (SI) örnek verilebilir.

Bazı lineer polimerler molekül zincirleri arasında çapraz kovalent bağ oluşumu sonucu uzay ağı polimerlerine dönüşürler. Plastiklerin bu farklı davranış biçimleri moleküllerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Bu da molekülün büyüklüğüne (mer sayısına), moleküllerin diziliş şekline ve moleküller arası oluşan kuvvetli bağlara bağlı değişir. Termoset plastikler gevrek olup plastik şekil değiştirme olmadan kırılırlar. Sıcaklık arttıkça mukavemet azalır. Termosetlerde moleküller dallanmış, komşu moleküller arasında bağ köprüleri oluşmuştur. Mekanik dayanımları yükselir. Dallanma da makro molekülün yerine başka bir makro molekül eklenerek oluşur. Köprüleşme ise polimerlerin korozyonuna sebep olurlar [19].

2.3.2 Termoplastikler

Termoplastikler, düz zincirli polimerlerdir. Oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Isıtıldıklarında önce yumuşarlar, sonra erirler. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf metaller arasında Van der Waals bağları ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildir. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Bu şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Genelde polimerizasyon denilen kimyasal işlemle

elde edilirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda vizkozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafla küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı keza hassastırlar. Ancak polyamid veya PEEK/karbon elyaflı kompozit 95°C'de suya karşı koyma dayanımında azalma olmamaktadır. Tutuşma direnci keza daha iyidir [28].

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

- a) Çok düşük rijitlik,
- b) Çok düşük çekme dayanımı ve düşük sertliğe sahip olduklarından aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler.
- c) Daha büyük süneklik, yaklaşık % 1 ila 500 arasında değişir.
- d) Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur [19, 28].

Fiziksel özellikleri de şöyle özetlenebilir:

- a) Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları 1.2 g/cm³ iken seramiklerin yoğunlukları 2.5 g/cm³ ve metallerin yoğunlukları ise 7 g/cm³ civarındadır.
- b) Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak bu metallerin yaklaşık 5 katı seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.
- c) Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- d) Özgül ısıları metallerin 2 katı yüksek olup seramiklerin 4 katıdır.
- e) Termal iletkenlikleri metallerden yaklaşık 3 kat daha düşüktür.
- f) Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler.

Tablo 2.6. Termoplastiklerin bazı tipik özellikleri

Özellikleri	Akrilik	ABS	PTFE	PA
Elastik modülü (MPa)	2800	2100	425	700
Çekme dayanımı (MPa)	55	50	20	70
Uzama miktarı (%)	5	10-30	100-300	300
Özgül ağırlığı (g/cm ³)	1.2	1.6	2.2	1.14
Ergime derecesi (°C)	200	-	327	260

Termoplastikler, üretilen bütün sentetik polimerlerin yaklaşık % 70'ni meydana getirir ve üç tipten ticari olarak en önemlisidir. Termosetler ve elastomerler ise yaklaşık % 30'nu oluşturur. Tipik olarak kullanılan termoplastikler Acetal, Acrylonitrile - Butadiene-Styren (ABS), Selüloz, Poli-tetra-floretilene= Fluoropolymers (PTFE), Polyamid (PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistiren (PS) ve Polipropilen (PP)'dir. Ancak bu üç tür olan polimerler bazen birbiri içerisine girebilir. Termoplastik olan belli polimerlerden termosetler de yapılabilir.

Termoplastik olan belli polimerlerden termosetler de yapılabilir. Önemli ticari termoplastikler:

Acetal: Formaldehitten hazırlanır. Ticari ismi poli-methelene metilen (POM)'dir. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında ergime noktası yüksek (180°C) olup, nem alma kapasitesi düşüktür. Uzun süre yüksek sıcaklıklarda kararlı kalırlar. Bu özelliklerinden dolayı çinko ve pirinç ile yarış halindedir. Bazı otomotiv parçaları, kapı kolları, pompalar ve benzer parçaların yapımında kullanılır [15].

Arkilik: Polimet metha arkilik (PMMA) ile sembolize edilir. Lineer polimer olduğu için şekilsizdir. Kristal gibi parlak görünen, açık havada yıpranmaya karşı dayanıklı, ağırlığı cam ağırlığının yarısı kadar olan bu plastiğin darbe mukavemeti de yüksektir.

Bu önemli özelliği saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış halinde olmasını sağlar. Örneğin, otomobil kuyruk ışığı lensleri ve uçak camlarında kullanılır. Camla karşılaştırıldığında dezavantajı ise çok düşük çizme direncine sahip olmasıdır. Arkiliğin diğer önemli bir özelliği de tekstil için elyaflarda kullanılmasıdır. Buna Poliakro-nitrile (PAN) örnek olup ticari ismi de Du Pont'dur.

Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS): ABS sert, rijit ve tok bir malzemedir. Yüksek darbelere dayanıklıdır. Darbe sonu kırılması sünektir. Yüksek ısıya ve aleve dayanıklıdır. Uzun süre güneş etkisinde kalırsa rengi, darbe mukavemeti, sünekliği azalır. Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. ABS iki fazlı olup 1 fazı sert kopolimeri (Streyn-acrylonitrile) iken diğer fazı ise Streynbutadiene kopolimer olup kauçuktur. Üç farklı başlama maddeleri değişik oranlarda karıştırılır [5, 15].

Politetra fluorethylene (PTFE): Teflon olarak bilinir ve çevresel ve kimyasal etkilere karşı aşırı dirençlidir. Sudan etkilenmez. Elektrik ve ısıl direnci iyi ve çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Yağlanması gerekip de yağlanma imkanı olmayan parçaların yapımı için uygundur. Kimyasal aygıtlar ile gıda sanayinde uygulama alanı bulmuştur.

Polyamid (PA): En önemli PA ailesi naylon olup naylon 6 ve naylon 6.6 olarak iki kalitesi vardır. Bunlar Du Pont Şirketi tarafından geliştirilmektedir. Naylon dayanıklı olup elastik modülü yüksek ve abrasiv aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. 125°C civarında mekanik özelliğini muhafaza eder. Önemli bir dezavantajı ise suyu emmesidir. Tüm naylon çeşitleri elyaf ile takviye edilirler. Naylon kristalin yapıya sahiptir. Naylon 6, döküme gelen bir yapıdadır. Diğerleri zor aktığından yüksek basınç gerektiren enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemlerini kullanırlar. Dişli, yatak vb. parçaların yapımında dayanım ve düşük sürtünmenin gerekli olduğu yerlerde metal yerine kullanılmaktadır. İkinci grup poliamidler Aramidler'dir. Ticari ismi Kevlar olup elyaf takviyeli kompozitler için önem kazanmaktadır. Kevlar'a olan, ilginin sebebi ise dayanımı çelikten aynı olmasına rağmen ağırlıkça % 20 daha düşük olmasındandır [15].

İkinci grup polimerler olarak da; polyester, polipropilene, polivinil klorür, polietilen ve polikarbonat açıklanmıştır.

Polyesterler (PET): Bunlar bağ durumuna göre termoplastik ve termoset de olabilirler. Bu yapı ya şekilsiz ya da yaklaşık %30 kristalleşmiş olabilir. Hızlı soğutma ile şekilsiz yapı oldukça saydamdır. Şişirme türü küçük kaplar, fotoğrafik filmler ve manyetik bantlar bunların uygulama alanlarıdır.

Polietilen (PE): Piyasada en çok kullanılan plastiklerden birisidir. Düşük nem emme kapasitesine sahiptir ve deformasyon direnci iyidir. Düşük maliyet, kimyasal kararlılık ve kolay işlem görmesi PE'i cazip yapar. Düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere 2 türü vardır. Tabaka, film, tel yalıtkanı alanında uygulama alanı bulunmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) daha yüksek kristallik ve linerliğe sahip olup 0.96 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Bu onları daha rijit ve dayanıklı yapar. Şişeler, borular vb. parçaların yapımında kullanılır [15].

Polipropilene (PP): Enjeksiyon kalıplarında önemli en hafif plastiktir. Dayanım/ağırlık oranı yüksek olup YYPE ile karşılaştırılabilir. Yüksek ergime derecesine sahip olması, belli uygulama alanında kullanılmasına müsaade eder.

Polivinil klorür (PVC): Bu plastik süt beyaz rengindedir. Çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Cam geçiş sıcaklığını azaltır. Rijit borular, su boruları, tel ve kablo yalıtımı, film, kaplar, yiyecek paketlenme, oyuncaklar ve döşeme malzemeleri PVC ısı ve ışığa karşı kararsızdır [6, 15, 29].

Tablo 2.7. Seçilen bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzeme özellikleri	Polietilen	Politetratken	PA 6.6	Polipropilen
Yoğunluk (g/cm ³)	0.95	0.92	1.14	0.90
Elastik modülü (MPa)	1000	22	700	1400
Çekme dayanımı (MPa)	30	14-34	70	35
Kopma uzaması (%)	10-1200	100-650	300	10-500
Termal iletkenlik	0.48	0.33	0.25	0.12
Isıl genleşme katsayısı	60-110	100-220	70-120	80-100
Ergime sıcaklığı (°C)	-	-	260	175

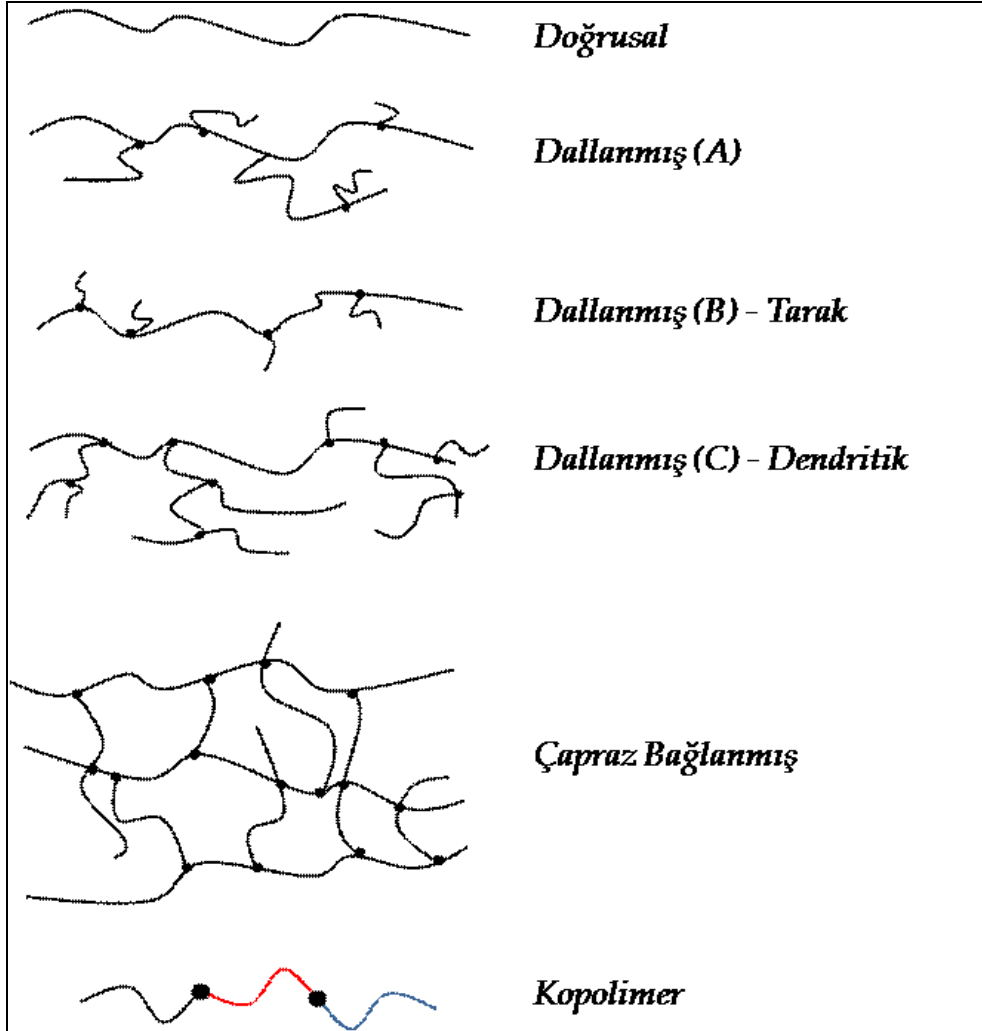
2.4. Polimerlerin Zincir Yapısı ve Dallanma

Polimer zinciri çok sayıda monomer molekülünün birbirine bağlanarak oluşturduğu büyük moleküller zincire benzetilmiştir. Atomların tipine bağlı olarak polimer zincirinin belli bir hareket kabiliyeti vardır. Polimer molekülü meydana getirmek üzere kullanılan monomerlerin iki veya daha fazla fonksiyona sahip olması gerekir. Aşağıdaki moleküller iki fonksiyona sahip birer monomerdür.



İki fonksiyonlu monomerler düz zincirli bir yapı oluştururlar. Bir R• radikali vinil klorür monomerinden düz zincirli PVS (Polivinil klorür) oluşturur. Eğer monomer molekülü üç veya daha fazla fonksiyona sahip ise dallanma (branching) veya çapraz bağlanmaya (cross-linking) sebep olur. Örneğin gliserin molekülü üç fonksiyona sahiptir.

Polimer zincirleri değişik şekillerde olabilir. Şekil 2.6.'da değişik zincir yapıları gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Polimerlerin zincir yapıları [9]

3. POLYAMİD MALZEMELER

3.1. Polyamidin Tanımı

Naylon olarak da isimlendirilen polyamidler yüksek kristal yapıya sahip bünyesinde amid grubu bulunduran, molekül ağırlığı yüksek olan lineer polimerlerdir. Polyamidler mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini oluşturur.

Polyamid ailesi oldukça geniş olup, bu tür termoplastiklerin molekül yapısında. CO-NH şeklinde kimyasal olarak gösterilen amid bağları mevcuttur. Polyamidlerin sanayideki diğer adı naylondur. Polyamiddeki amid bağlarının aynısı protein moleküllerinde de mevcut olup, bu bağlar su gibi polar moleküllere karşı belli bir çekiciliğe sahiptir.

Genel olarak polyamidin kimyasal formülü aşağıdaki gibidir.



Molekül yapısındaki R1 ve R2 grupları bu geniş polyamid ailesinin cinsini tayin eder. Günümüzde bu yapıyı sağlayan değişik polyamid türleri laboratuvarlarda sentezlenmekte ve sanayinin kullanımına sunulmaktadır.

3.2. Polyamidin Genel Özellikleri

Termoplast bir ürün olan polyamid sertlik, yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip; hafif ve birçok türleri olan bir sınıfı tanımlar. Polyamidin özellikleri çeşitlerine bağlı olarak çok geniştir. Naylon 6, naylon 6.6, naylon 610, naylon 11 ve naylon 12 yaygın olarak kullanılanlarındandır. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır. Petrol yağları, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, keton ve esterlere karşı direnci iyidir [21].

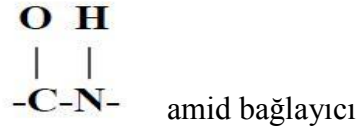
Bükülmeye ve aşınmaya dayanıklıdır. Yük altında uzun süre çalışabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle makine endüstrisinde tercih edilen bir malzemedir.

Bileşiminin, polyamidin özellikleri üzerine önemli etkisi vardır. Polyamidler higroskopik karakterde olup, özellikle nem alma konusunda çok fazla etkilenir. Bu özelliğinin hem iyi ve hem de kötü yanları vardır. İyi yönü parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilmesine olanak sağlar. Kötü yönü ise; nem emme oranı %8.5'e ulaştığında malzemenin mekanik özellikleri kayba uğrar. Malzemede ölçü stabilizesine ulaşmak güçleşir. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenecek ölçü değişikliklerine uğrar, bu nedenle parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir. Her CONH- grubunda ne kadar çok CH₂- grubu varsa, su alma o kadar azdır ve ölçü tamlığı da o kadar iyidir. (%1 nem alma, %0,3 boy uzamasına karşılık gelir.) Nemli atmosferde ölçü tamlığı aranan parçalar, yalnızca %1.5 su ile doymaya ulaştıklarından, tercihen polyamid 11'den yapılırlar. (Karşılaştırma için, bu değer PA6'da %10 dur.) PA6.10, PA6.11, PA6.12 ise az nem aldıklarından teknik ve ticari değerleri yüksektir [18, 20, 23].

Çentiğe duyarlı olup, düşük sıcaklıklarda; darbe mukavemeti, UV mukavemeti, kuvvetli asitlere mukavemet ve yapımsa güçlüğü gibi dezavantajları da vardır. Kolay akan bir maddedir. 280°C'de viskozite 45'den 300 Nsm⁻² ye kadar cinse bağlı olarak değişir.

3.3. Polyamid Çeşitleri

Zincir yapısında tekrar eden amin grupları içerir. Erimiş halde şekillendirilir. Yüksek sıcaklıklarda üstün yük taşıma yetenekleri, iyi toklukları, düşük sürtünme özellikleri ve iyi kimyasal dirençleri ile ayırt edilirler.



Bazı türler bir dibazik organik asitle bir diaminin basamaklı polimerizasyonu ile üretilir. Naylon6,6 en bilinen türdür. Hekzametilen diamin ile adipik asidin polimerleşmesi ile ortaya çıkar. Adipik asit yerine, azelaik (6.9); sebakik (6.10) ya da dodekanedioik (6.12) asit kullanılırsa, (6.9), (6.10) ya da (6.12) türü naylonlar elde edilir.

Polyamid malzemeler; ISO 1043/1-4, DIN 7728-1, DIN ISO 1043-2 ve DIN 7723 normlarına göre, “>” ve “<” sembolleri arasında kısa harf ve numaraların kullanıldığı kodlama sistemiyle isimlendirilmişlerdir [13]. Örneğin;



Bazı polyamid malzemelerin, malzeme tanımlarını kısaca açıklanacak olursa;

Homopolimerler; örneğin polikarbonat $\rightarrow >\text{PC}<$

Copolimerler; örneğin polyamid 6.12 $\rightarrow >\text{PA6/12}<$

Polimer karışımları (alaşımlar); örneğin polikarbonat + ABS karışımı $\rightarrow >\text{PC}+\text{ABS}<$

Değişik yapıda malzeme takviye edilmiş polimerler;

örneğin %30 cam elyaf takviyeli polyamid 6 $\rightarrow >\text{PA6} - \text{GF30}<$



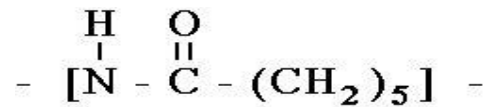
Şekil 3.1. Polyamid teriminin açıklaması [13]

Yanmaya dayanıklı polimerler; **>PC+ABS-FR(40)<**

PA 6, PA 6.6, PA6.12, PA 11, PA 12 en çok kullanılan polyamid türleridir.

3.3.1. PA 6

Molekül ağırlığı 80.000-10.000 arasında değişen yüksek kristallliğe sahip, nem aktivitesi düşük, döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olup, naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır. Darbe dayanımı yüksektir. PA 6'nın yoğunluğu $1.12-1.14 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişirken, erime noktası 220°C ve camsı geçiş sıcaklığı ise 50°C 'dir. PA 6'ya, PTFE, MoS_2 ve grafit ilavesiyle iyi kayma özellikleri sağlanır ve iyi aşınma özelliklerine sahip PA 6 çeşidi elde edilir. Kimyasal gösterimi aşağıdaki gibidir [11], [22, 23].



Polyamid 6'nın özellikleri [17];

- Mükemmel sertlik ve sağlamlık,
- Yüksek kimyasal direnç,
- Yüksek ısı ve mekanik dayanıklılık,
- İyi boyutsal kararlılık,
- İyi yüzey kalitesi,
- Gerilmeye karşı dayanım,
- Çok iyi elektriksel özellikler,
- Kolay işlenebilirlik,
- Düşük su emiciliği

Polyamid 6'nın kullanım alanları [16];

- Otomotiv Endüstrisi
- Makine endüstrisi
- Tekstil yan endüstrisi
- Elektrik ve elektronik endüstrisi
- Spor ürünleri endüstrisi
- Telekomünikasyon endüstrisi
- Gıda endüstrisi
- Gemi imalatı
- Tıbbi cihazlar
- Beyaz eşya sanayi

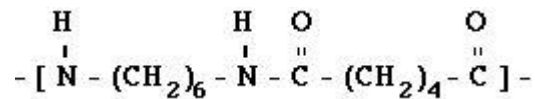
- İnşaat sanayi
- Büro mobilya aksesuarları
- Paketleme ve Doldurma Üniteleri

3.3.2. PA 6.6

Ticari olarak bulunabilen tüm polyamid plastikler içinde en dayanıklısı olarak bilinen PA 6.6, en yüksek erime noktasına sahip olanıdır. 264°C’de eriyen PA 6.6’nın sürekli kullanım sıcaklığı 120°C’ dir.Yarı kristal bir yapıya sahip olması nedeni ile PA 6.6’dan yapılan parçaların bazı bölümleri kristal bir yapı arz ederken diğer bölümlerinde amorf bir yapı gözlenmektedir. İmalat şartları değiştirilerek kristal miktarı artırılıp azaltılabilir, böylece mekanik özellikleri değiştirilebilir [16], [22].

PA 6.6 çok yüksek eğilme ve çekme dayanımına ve yüksek darbe dayanımına, düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve yük altında çalışmaya en uygun malzemelerden biridir. Alkalilere ve birçok organik solvante dayanıklı olan PA 6.6 özellikle yüksek sıcaklıklarda kuvvetli asitlere dayanıklı değildir [16].

PA 6.6, su buharı haricinde, birçok gaza karşı çok düşük geçirgenliğe sahip olduğu için zaman zaman gaz geçişini engelleme amacıyla da kullanılmaktadır. Kimyasal gösterimi aşağıdaki gibidir [16], [22].



Polyamid 6.6'nın özellikleri;

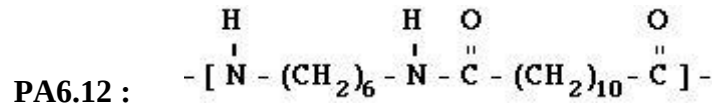
- Yüksek sertlik ve darbe dayanımı,
- Yüksek yüzey kalitesi
- Aşınmaya karşı büyük direnç,
- Isı ve boyutsal kararlılık,
- Düşük yoğunluk,
- Kimyasal direnç,
- Kolay işlenebilirlik
- Yüksek dinamik dayanıklılık

Polyamid 6.6'nın kullanım alanları [16];

- Otomotiv Endüstrisi
- Makine Yan Endüstrisi
- Elektrik ve Elektronik Endüstrisi
- Endüstriyel Parçalar
- Beyaz Eşya Sanayi
- İnşaat Sanayi
- Büro Mobilya Aksesuarları

3.3.3. PA 6.12

PA 6.12, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren, daha çok boru sistemlerinde kullanılan bir polyamid çeşididir. PA 6.12'nin erime noktası PA11 ve PA12'ye göre 35°C kadar daha yüksektir. Dolayısıyla daha yüksek pik sıcaklıklarda kullanımını sağlar. PA 6.12'nin bu özellikleri yüksek basınç ve yüksek servis sıcaklığı istenen yerler için ekstrüzyon ile boru üretimini uygun kılar. Örneğin hidrolik debriyaj hatları gibi yerlerde kullanılır. Kimyasal gösterimi aşağıdaki gibidir [22, 23].



PA6.12 diğer polyamid ürünlere göre daha az nem emme özelliğine sahiptir. Bu yüzden ölçüsel boyutlar ve parça özellikleri, ortam koşullarından neredeyse hiç etkilenmez. PA6.12 için proses sıcaklığı 240 – 270°C arasında olmalıdır. Bu malzeme türü için bazı fiziksel özellikler Tablo 3.1'de özet verilmiştir [23].

Tablo 3.1. PA6.12'nin fiziksel özellikleri [24].

ÖZELLİK	TEST METHODU	BİRİM	VESTAMİD DX9304 sw	
YOĞUNLUK	ISO 1183	cm³/g	1,04	
ERİME NOKTASI	ISO 11357	°C	214	
Enjeksiyon ile kalıplanmış test numunesi				
ÇEKME TESTİ	ISO 527-2/1A/50			
AKMA GERİLİM		MPa	51	
AKMA GERİNİMİ		%	5	
KOPMA MUKAVEMETİ		%	>200	
ÇEKME MODÜLÜ	ISO 527-2/1A/1	MPa	1700	
CHARPY DARBE DAYANIMI	23°C 30°C	ISO 179/1eU	kJ/m² kJ/m²	N¹ N¹
CHARPY ÇENTİKLİ DARBE DAYANIMI	23°C 30°C	ISO 179/1eA	kJ/m² kJ/m²	74 P¹ 30 C¹
8x1 mm Boru test numunesi				
DARBE TESTİ	-40°C 23°C 72h / 150°C -40°C -40°C	ISO 7628-2/ DIN 73378 SAE J2260 SAE J844	J J	N¹ N¹ N¹ N¹
	24h / 110°C 2h kaynar su içerisinde			N¹ N¹
PATLAMA TESTİ	23°C 60°C 100°C 120°C 130°C 150°C	DIN 53578	MPa MPa MPa MPa MPa MPa	46,0 25,7 18,5 15,0 13,8 11,5

¹ C : Tam kırılma
P: Kısmi kırılma
N: Kırılma yok

3.4. Polyamidin Kullanım Alanları

Polyamid, konstrüksiyon malzemesi olarak, örneğin dişli çark, çubuk, cıvata gibi mekanik yüklenen ve ölçü tamlığı aranan yerlerde tercih edilir. Polyamid 6 ve 6.6 mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini oluşturur [18].

Polyamidlerin kullanım yerleri arasında; otomotiv endüstrisi, makine endüstrisi, tekstil yan endüstrisi, elektrik ve elektronik endüstrisi, spor ürünleri endüstrisi, telekomünikasyon endüstrisi, gıda endüstrisi, gemi imalatı, tıbbi cihazlar, beyaz eşya

sanayi, inşaat sanayi, büro mobilya aksesuarları, paketleme ve doldurma üniteleri örnek verilebilir.

3.5. Otomotiv Sektöründe Polyamid'in Yeri

Plastik ve plastik bazlı kompozitlerden elde edilen hafif parçalar otomotiv sektöründe metallere alternatif olarak sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Var olduklarından bu yana otomotiv sektöründe kullanım alanı bulan plastiklerin otomobil uygulamalarındaki önemi ağırlıktan tasarruf, yakıttan tasarruf ve üretim maliyeti tasarrufu gibi avantajları ile her geçen gün daha da artmaktadır. Başlangıçta plastikler, mükemmel görüntüleri ve iyi mekanik özellikleri için kullanılmaktaydı. Otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan çeliğin fiyatının sürekli artmasıyla yükselen maliyetler plastiklerin geometrik olarak karmaşık bileşenler şeklinde kalıplanabilme ve kolay montaj olma özellikleri sayesinde karşılanır hale geldi [10].

Bugünün otomobillerinde kullanılan plastik oranı %15 civarında iken bu oranın önümüzdeki 5 sene içinde %20'ye çıkması beklenmektedir. Amerikan Kimya Kurulu Plastik Bölümünün hazırladığı rapora göre plastiklerin otomotiv sektöründe kullanımlarının artması ile 2020 yılında otomobiller bugünkünden %50 daha hafif olacaktır [10].

Herhangi bir otomobilin yolcu bolumu incelendiğinde plastiklerin yoğun olarak kullanıldığı görülebilir. Bunun yanında plastikler ısıtma, havalandırma ve klima kontrol sistemlerinde, kontrol panellerinde, ışıklandırmada, tampon sistemlerinde, yakıt depolama ve temin sistemlerinde, ayna ve kapı aksamlarında, çamurluklarda, motor bölmesinde veya kaputun altındaki diğer parçalarda da kullanılmaktadır [10].

Son yıllarda plastikler kaput-altı bölgesini gerçekten işgal etmiş ve hava manifoldları için yaygın şekilde büyük kalıplar kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar sadece metal mukabillerinin yarı ağırlığında olmakla kalmamakta, aynı zamanda mühendislerin motora giren hava akısını en iyi şekilde düzenlemesi sayesinde

motorun daha verimli hale getirilmesine yardımcı olmakta ve ayrıca gürültü seviyelerinin azaltılmasında da önemli bir rol oynamaktadırlar. Cam elyafı takviyeli naylondan kalıplanmış bu parçalar son derece sofistikedir ve plastiklerin mühendislik malzemeleri olarak gerçekten kullanıldığı bir çağın açıldığını göstermektedirler.

İyi mekanik özelliklerinin yanında yüksek sıcaklıklara ve kimyasallara dayanım gösteren mühendislik termoplastiklerine olan talep her geçen gün artmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan ana plastik maddeleri baslıca polipropilen, poliüretan, polivinilklorur, polikarbonat, polibutilen tereftalat, polietilen tereftalat ve polyamid olarak sıralanabilirler [10].

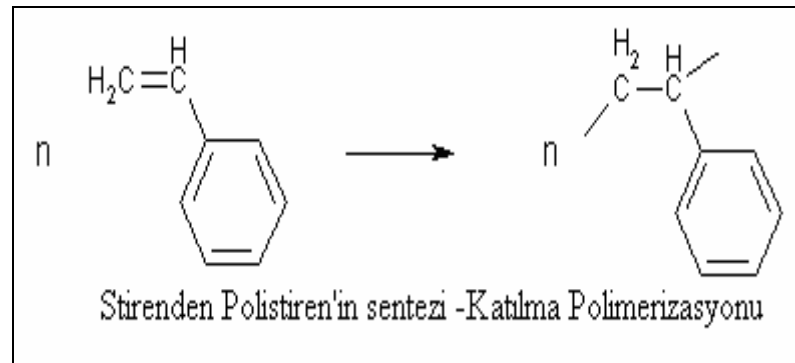
Uluslararası pazarda söz sahibi olan büyük firmalar otomotiv sektörüne büyük önem vermekte ve sürekli yeni ürünler geliştirmektedirler. Ülkemizde otomotiv ve otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren firmalar önceleri plastik hammadde ve kalıp ihtiyaçlarını dış pazardan temin etme eğilimindeyken son zamanlarda ülkemizde bu alanda yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri bu eğilimi iç pazara da yönlendirmiştir [10].

4. PLASTİK MALZEMELERİN ÜRETİMİ

Her plastiği oluşturan polimer malzemenin, bir monomeri bulunmaktadır. Grup halindeki monomerler bir tepkime ile polimer zincirini oluştururlar. Polimeri oluşturan monomerler ana grup haline geçerken çift bağların açılması gibi bazı yapısal değişikliklere uğrarlar. Polimerizasyon süreçleri, tarafından iki ana grupta toplanmıştır. Bunlar “**KATILMA**” (Addition) ve “**YOĞUŞMA**” (Condensation) polimerizasyonlarıdır [4].

4.1. Katılma Polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonu, monomer çift bağlarının belirli sıcaklık, basınç ve katalitik etki koşullarında açılarak ürünün mol kütlesine bağlı miktarlarda birleşmesiyle meydana gelmektedir. Bu tür polimerizasyonda genelde yan ürünler oluşmaz. Bu yolla elde edilen termoplastikler, tek bir tür monomer kullanılması halinde homopolimer, birden fazla türde monomer kullanılması halinde ise, kopolimer olarak adlandırılır.

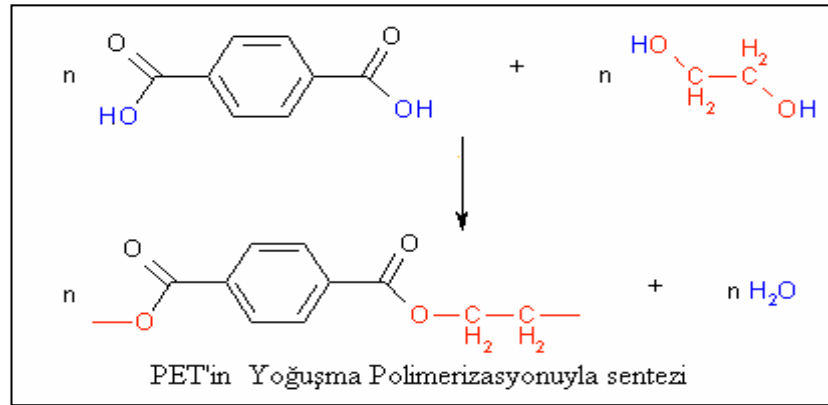


Şekil 4.1. Katılma polimerizasyonunun şematik gösterimi

Katılma polimerizasyonu ile elde edilen, önemli termoplastikler PA, PC, PE, PMMA, PP, PS, ABS'dir [4].

4.2. Yoğuşma Polimerizasyonu

İki veya daha fazla tür monomerin özel koşullarda bir kimyasal tepkimeye girerek belirli sayılarda birleşmeleri ve ortamdan bazen su bazen de amonyak ve başka küçük bir molekül ayrılarak bir polimer oluşturmalarıdır.



Şekil 4.2. Yoğuşma polimerizasyonunun şematik gösterimi

Termosetler Yoğuşma polimerizasyonu ile elde edilebilir. Bunlar ısı ile yumuşamazlar. Ancak basınç ve ısı uygulanmasıyla bir kalıpta biçimlendirilebilirler [4].

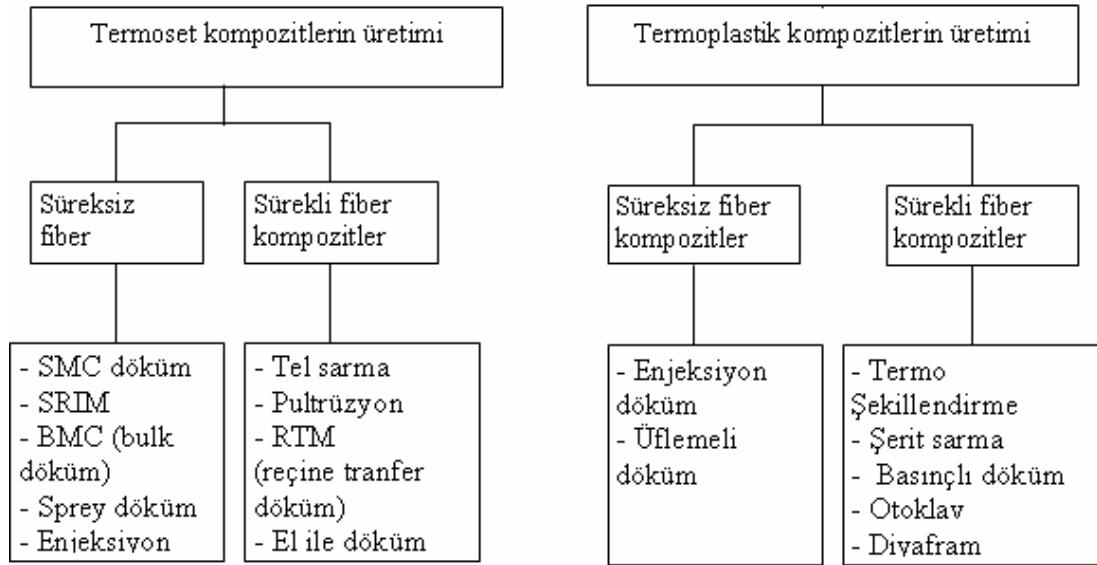
4.3. Temel Polimer Prosesleri

Polimer malzemelerin üretiminde, üretimi yapılacak ürünün özelliklerine göre birkaç farklı yöntem kullanılır. Genel olarak bu yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Çekme (Extrusion)
- Enjeksiyonla döküm (Injection Molding)
- Hava üfleyerek döküm (Blow Molding)

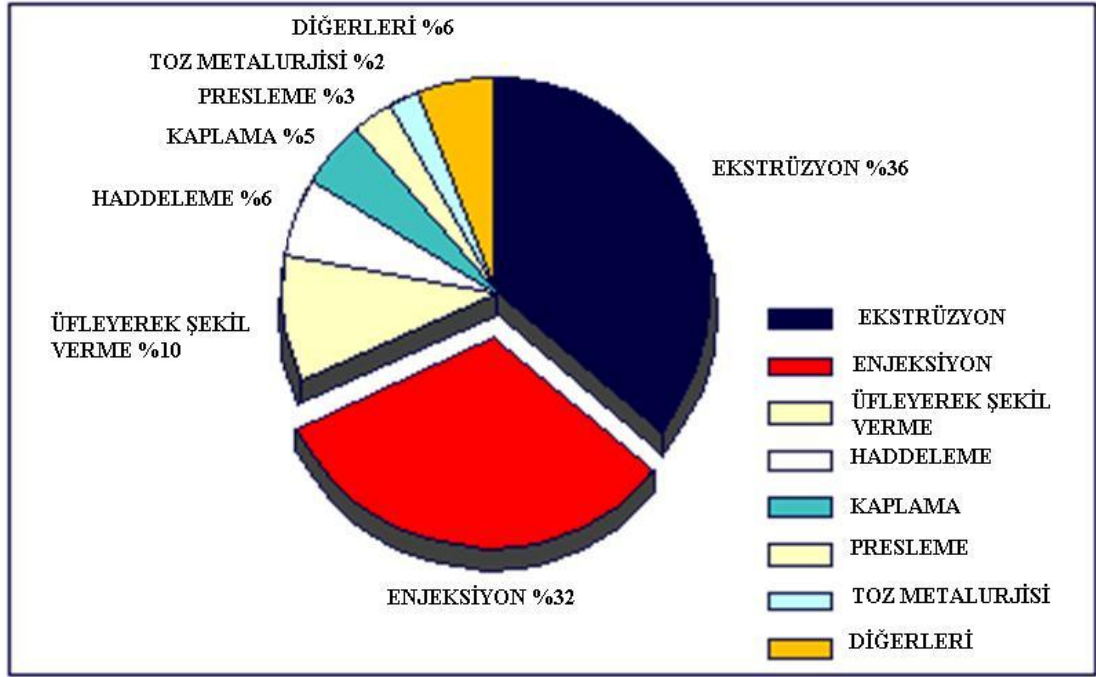
- Isıl şekillendirme (Thermoforming)
- Geri dönüşüm (Recycling)

Bu şekillendirme yöntemlerini termoset ve termoplastik matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerine göre sınıflandırılacak olursa Şekil 4.3.'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 4.3. Termoset ve termoplastik kompozitlerin işleme tekniklerinin sınıflandırılması

Üretim yöntemlerinin % olarak kullanım oranı Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Üretim yöntemlerinin % olarak dağılımı

Temel polimer prosesleri kısaca açıklanacak olursa;

4.4. Ekstrüzyon ile Şekillendirme

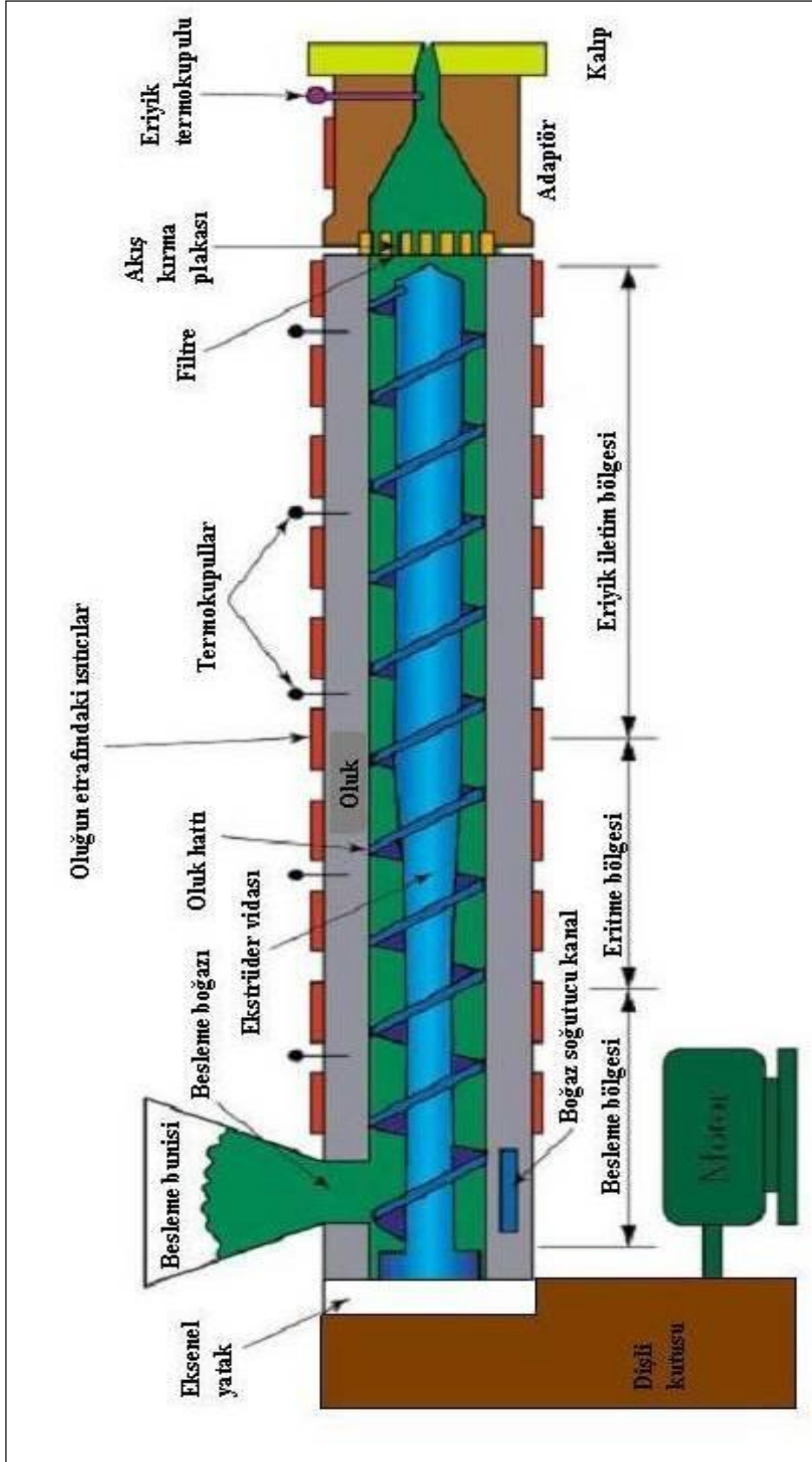
Ekstrüzyon (çekme) tezgahları diğer proseslerde kullanılan tezgahların temelini oluşturur. Polimer taneciklerinin eritilmesi ve iki yönlü bir kalıp içinde çekilmesi temeline dayanır. Uzun ve ince parçaların üretilmesinde kullanılır. Elektrik kablolarının kaplanması, boru ve tüplerin yapımı örnek olarak verilebilir.

Ekstrüzyon yöntemi en çok kullanılan üretim yöntemidir. Kalıpların basit oluşu ve sadece ekstrüderin kafasında bulunan form kalıpların değişimiyle farklı profillerde ürünlerin üretiminde cihazın kullanılabilmesine imkan sağlar [3, 26].

Bu üretim prosesini diğer üretim yöntemlerinden farklı kılan başka bir yönü ise plastik ekstrüzyon üretim yönteminin sürekli bir proses olmasıdır. Ekstrüzyon üretim yöntemi kullanılarak boru, profil, levha, film ve kapalı tel örgü (covered wire fence)

yapıdaki ürünlerin elde edilmesi mümkündür [26]. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemiyle üretilen ürünlerde genellikle termoplastikler kullanılmaktadır. Kullanılan termoplastiklere örnek olarak;

- Polietilen (PE)
- Polipropilen (PP)
- Polivinilklorür (PVC)
- Polistiren (PS)
- Polimetilmetakrilat (PMMA)
- Naylon (PA) verilebilir.



Şekil 4.5. Ekstrüderin şematik yapısı

Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde kullanılan sistem çoğunlukla bir üretim hattı olmasına rağmen, ekstrüzyon işlemini gerçekleştiren ekstrüder, sistem içerisinde önemli bir yer tutar. Şekil 4.5.'de görüldüğü üzere bir ekstruder aşağıdaki kısımlardan oluşur.

Besleme hunisi; katı granüller halinde ekstrüdere yapılacak olan besleme işlemi için gereklidir. Plastik ekstrüzyon üretim yöntemi dahilinde iki türlü besleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

1. Doğrudan besleme
2. Dolaylı besleme

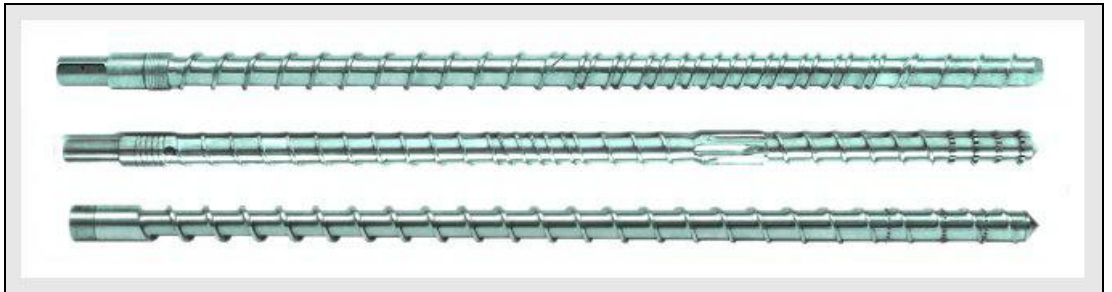
Doğrudan besleme işlemi, ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye elemanlarının ayrı ayrı besleme hunisinden ilave edilmesiyle gerçekleşir. Dolaylı besleme işlemi ise ekstrüzyon işleminde kullanılacak olan matris ve takviye malzemesi “in-stu” yöntemiyle üretilmiş granüllerden ibarettir. Bunların besleme hunisinden boşaltılmasıyla işlem gerçekleştirilmiş olur. Besleme işlemi elde edilmesi istenen malzemenin mukavemeti içinde büyük rol oynar. Bundan dolayı besleme yöntemi iyi belirlenmelidir. Doğrudan besleme yönteminde katı haldeki matris ve takviye malzemesi besleme hunisinden içeriye girdiği anda, sıcaklık matris malzemesinin ergime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda olsa da ergime olayı belirli bir zaman alır. Ergime için geçen süre zarfında takviye malzemesi, kovan, matris malzemesi ve vida arasında çeşitli zorlanmalara maruz kalır (eğilme vb).

Bu zorlanmalar içerisinde takviye malzemesinin karşılaştığı zorlanmalardan eğilme zorlanması yüksek değerlere ulaşır. Sonrasında takviye malzemesi eğilme zorlanmasına karşılık, ulaşabileceği maksimum eğrilik yarıçapına ulaşır ve devamında hasara uğrayarak kırılabilir. Takviye malzemesinin boyunun kısalması, elde edilmesi istenen ürünün dayanımını azaltıcı yönde etki eder. Dolaylı yoldan besleme işleminde ise; in-stu granüller besleme bölgesinde takviye malzemesinin maruz kalacağı mekanik zorlanmalar karşısında takviye malzemesinin boyundaki deformasyon miktarını en aza indirger. Takviye malzemesinin etrafındaki matris malzemesi ergiyene kadar takviye malzemesini maruz kalacağı etkilerden korur.

Kovan; içerisinde vida mekanizmasını barındırır. Boş bir silindir geometrisine sahiptir. Ergime olayı kovanın içerisinde meydana gelir. Vidanın kovan içerisindeki malzemeyi, dönerek ileri doğrultuda yönlendirmesi, artan sıcaklıkla beraber basıncında artmasına neden olur. Bundan dolayı kovan malzemesi yüksek sıcaklığa ve yüksek basınca dayanıklı bir yapıya sahip olmalıdır. Aynı zamanda ergiyen matris malzemesi bir plastik olduğundan dolayı, kovan malzemesiyle ergiyen matris malzemesi arasındaki sürtünme koşulları dikkate alınmalıdır.

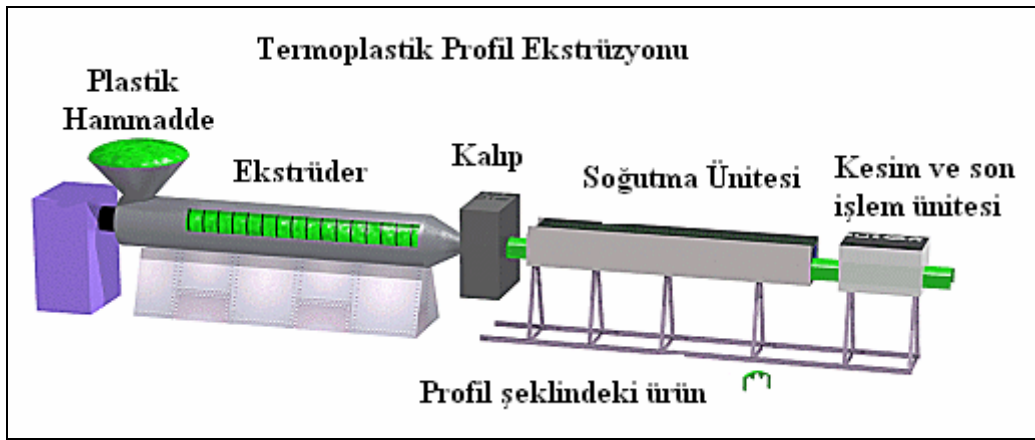
Kovanın iç yüzeyi sürtünmenin en aza indirgenmesi dolayısıyla özel malzemelerle kaplanabilir. Aynı zamanda kovan dış yüzeyinde besleme hunisi, ısıtıcılar, soğutma kanalları gibi elemanları da barındırır.

Vida mekanizması, kovan içerisinde yer alır. Bir tahrik sistemi dâhilinde yataklanmış olduğu düzlem dâhilinde kovanla eşmerkezli olarak dönme hareketi yapmaktadır. Vida yüzeyi oldukça pürüzsüz olmalıdır. Dolayısıyla vida üzerine üretilmesi istenen malzemenin karakteristiklerini karşılayan kaplama işlemleri yapılabilir. Dönme hareketi yapan vida aynı zamanda mesnetli bir yapıya sahiptir. Kovan içerisinde artan sıcaklık ve basıncın da etkisiyle vida mekanizması çeşitli zorlamalara maruz kalır. Bunlardan en önemlileri eğilme ve burulma etkisidir. Böylelikle anlaşılmaktadır ki; vida mekanizması dayanımı yüksek çelik malzemeden imal edilmelidir.



Şekil 4.6. Çeşitli ekstrüzyon vidaları

Plastik ekstrüzyon üretim sisteminde kullanılan ekstrüder bir vida mekanizmasına sahiptir. Bu vidanın proses itibarıyla belirli bir devirde dönmesi gerekmektedir. Bu da genellikle bir elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Vidanın devir sayısı malzemeden malzemeye değişeceği gibi, üretilen mamülün geometrisine ve hacmine göre değişmektedir. Bundan dolayı vidanın döndürülmesinde kullanılan elektrik motorunun devri ayarlanabilir niteliktedir.



Şekil 4.7. Ekstrüder hattının şematik yapısı



Şekil 4.8. Ekstrüderin genel görünümü

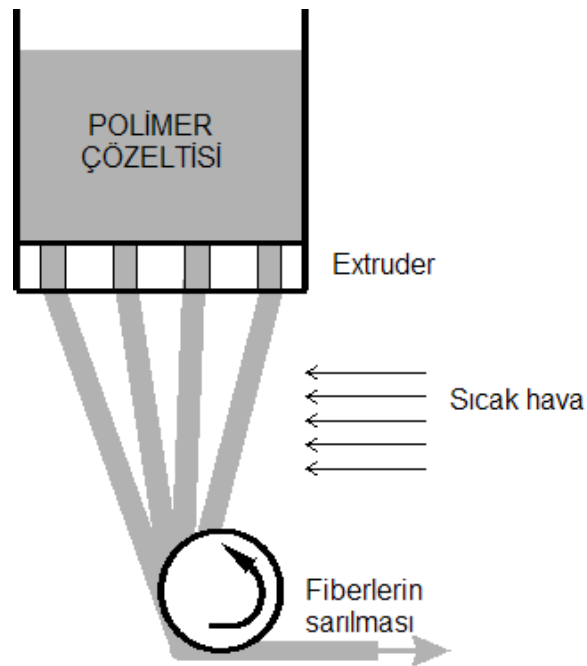


Şekil 4.9. Ekstrüder çıkışı soğutma hattı genel görünümü

Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde hammadde olarak hazır plastik granüller (prepreg granules) kullanılmaktadır. Bununla birlikte içerisinde takviye malzemesi içeren “in-stu” granüllerde kullanılmaktadır.

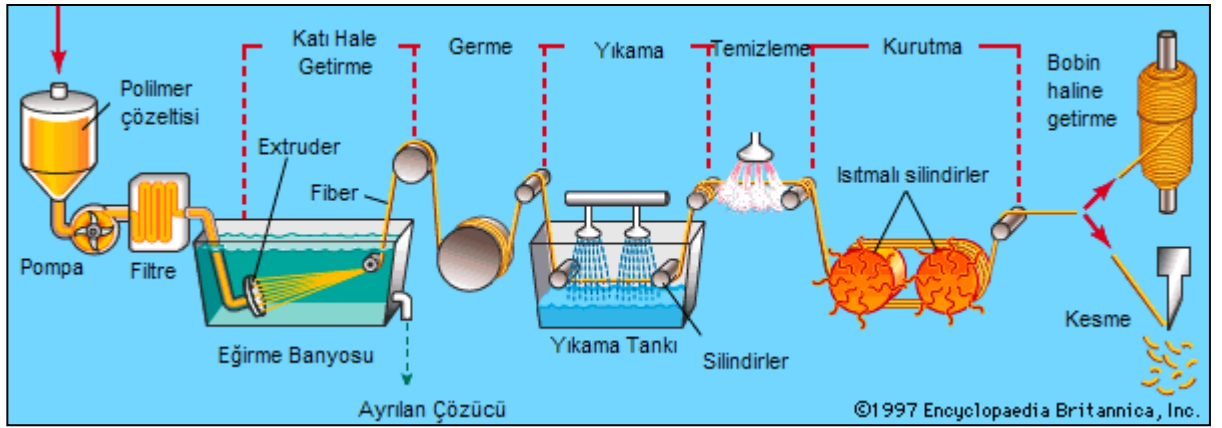
Polimerik maddelerden fiber hazırlamakta kullanılan 3 yöntem vardır. Bunlar ıslak, kuru ve eriterek yapılan fiber üretim işlemleridir. Islak ve kuru eğirme yöntemlerinde fiber haline getirilecek madde çözelti halindedir.

Eğer eğirme işlemi kuru olarak yapılıyorsa, polimer çözeltisinin viskozitesinin yüksek olması istenir. Extruder'den çıkan fiberler hava, azot, karbondioksit gibi ön ısıtması yapılmış gazlarla temas ettirilerek çözücünün uzaklaşması sağlanır.



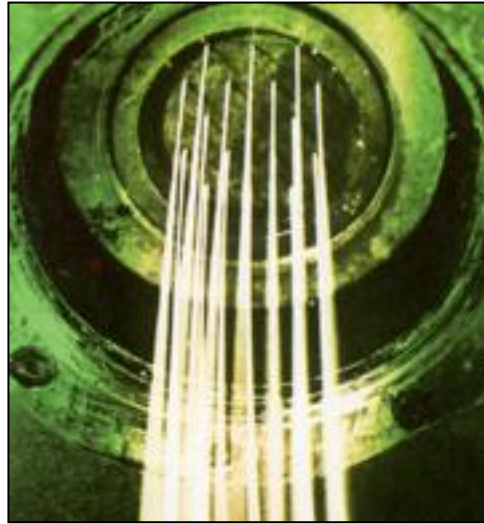
Şekil 4.10. Ekstrüder hattının şematik gösterimi

Yaş eğirme yönteminde ise daha seyreltik olan polimer çözeltisi extruder'i terk ettikten sonra onun katı haline gelmesine yardımcı olacak bir çözeltinin içine gönderilir. Bu yöntem fiber elde etmekte kullanılan en zor yöntemdir, sıcaklık, süre, çöktürücü sıvı gibi birçok parametrenin kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 4.11. Yaş ertirme yönteminin şematik gösterimi [7]

Eriterek eğirme yöntemi diğer iki yöntemden farklı olarak çözelti fazında gerçekleşmez. Fiber haline getirilmek istenen polimer eritilerek ince delikli bir filtreden geçirilerek fiber haline getirilir.



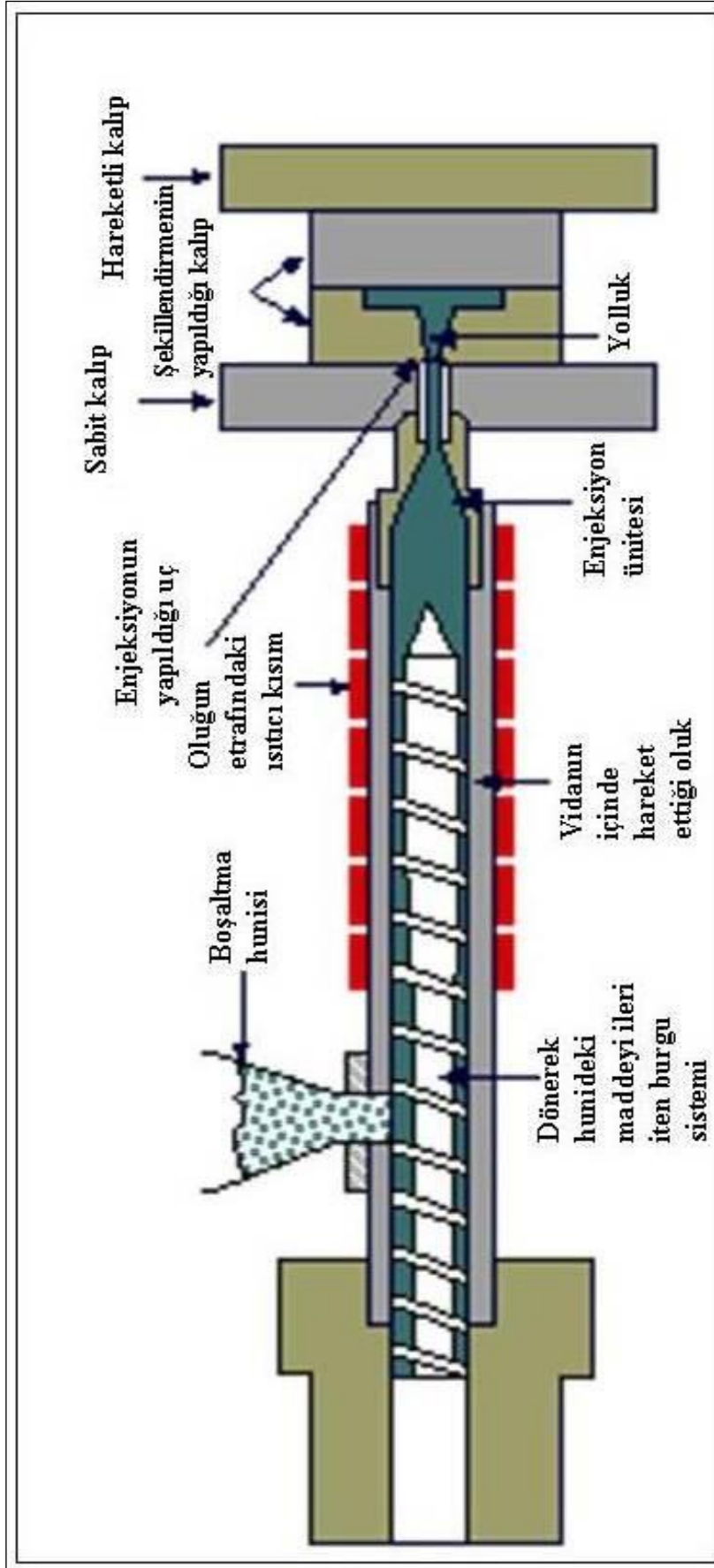
Şekil 4.12. Eriterek eğirme yöntemi

4.5. Enjeksiyonla Döküm

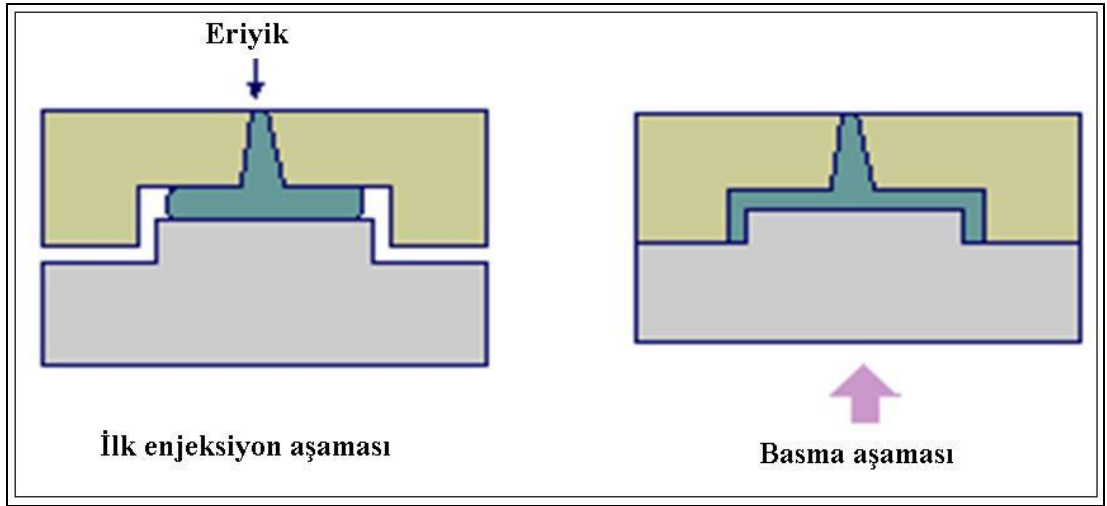
Enjeksiyonla döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları sağdaki gibi özetlenebilir.

- Küçük kompleks parçaların çok küçük tekrar elden geçirilmeye ihtiyaç duyulmaksızın üretilmende kullanılır.
- Eğer üretimde kullanılan hammadde termoplastik ise atıkların tekrar kullanılması mümkündür.
- Bu yöntem otomasyona bağlanabilir ve belirli bir sürede çok sayıda ürünü üretmek mümkündür. Ancak cihaz pahalıdır ve az sayıda ürünün kısa bir süre için üretimi için ekonomik değildir.
- Çok ince detayların önemli olduğu üretimler için uygun değildir.
- Üretimde kullanılan hammadde kayıpları oldukça azdır.
- Kalıp sıcaklığı polimerin kalıba iyi yayılmasını sağlayacak şekilde ayarlanır.
- Kalıp içine konulan polimer burada çapraz bağlanma reaksiyonuna uğrar.
- Bu yöntem genelde “Reaksiyon Enjeksiyon Döküm” (RIM) olarak bilinir [3, 27].

Enjeksiyonla döküm cihazının temel parçalarını şematik olarak Şekil 4.12'deki gibi açıklanabilir.



Şekil 4.13. Enjeksiyonla döküm yöntemi



Şekil 4.14. Enjeksiyon ve baskıya döküm

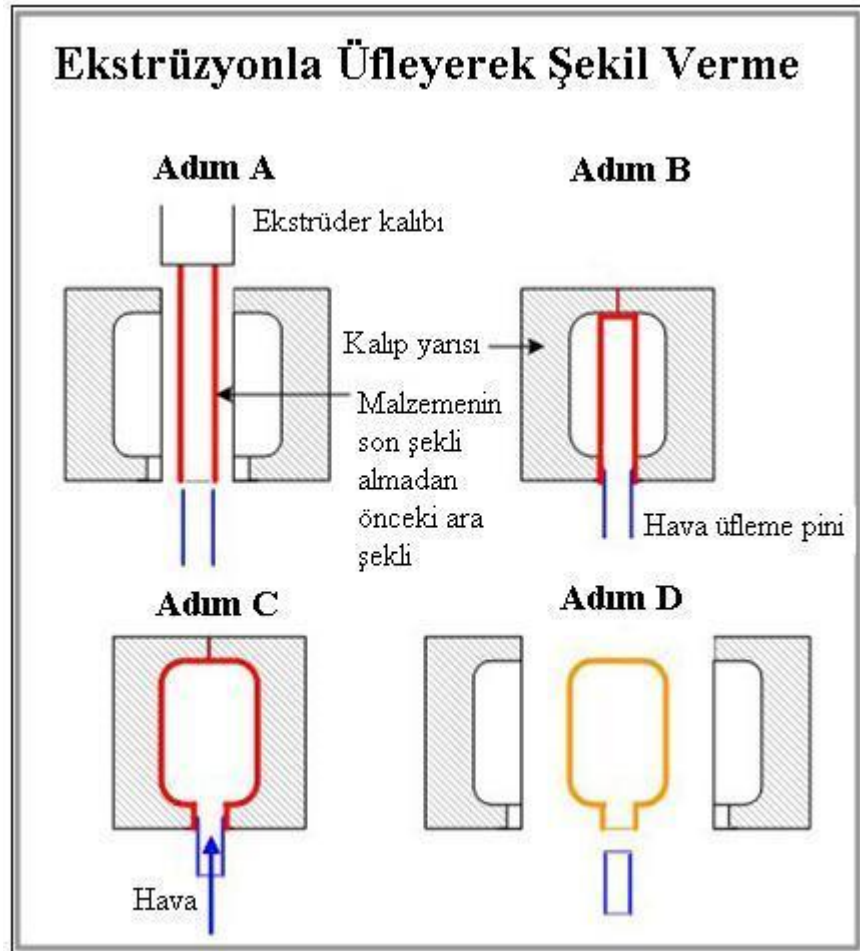
Şekil 4.15.'de enjeksiyonla döküm yönteminde kullanılan bir makinenin görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.15. Enjeksiyon ile döküm makinesi

4.6. Hava Üflemleri Döküm

Hava üflemleri döküm yönteminde daha önce çekilmiş olan bir tüp kalıp arasına sıkıştırılarak içine hava üflenir. Sıcak kalıp içinde şişen polimerik madde kalıbın şeklini alır.



Şekil 4.16. Hava üflemleri döküm yöntemi [14].

Hava üflemleri döküm işlemi genellikle pet şişe türünde ürünlerin üretiminde tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 4.17. Hava üflemeli döküm yöntemi ile üretilen ürünlere örnekler



Şekil 4.18. Hava üflemeli döküm yöntemi ile üretilen ürünlere örnekler

Şekil 4.19.'de hava üflemeli döküm yönteminde kullanılan şekil verme kalıbına örnek resim bulunmaktadır.



Şekil 4.19. Hava üflemeli döküm yönteminde kullanılan şekillendirme kalıbı [14].

4.7. Isıl Şekillendirme

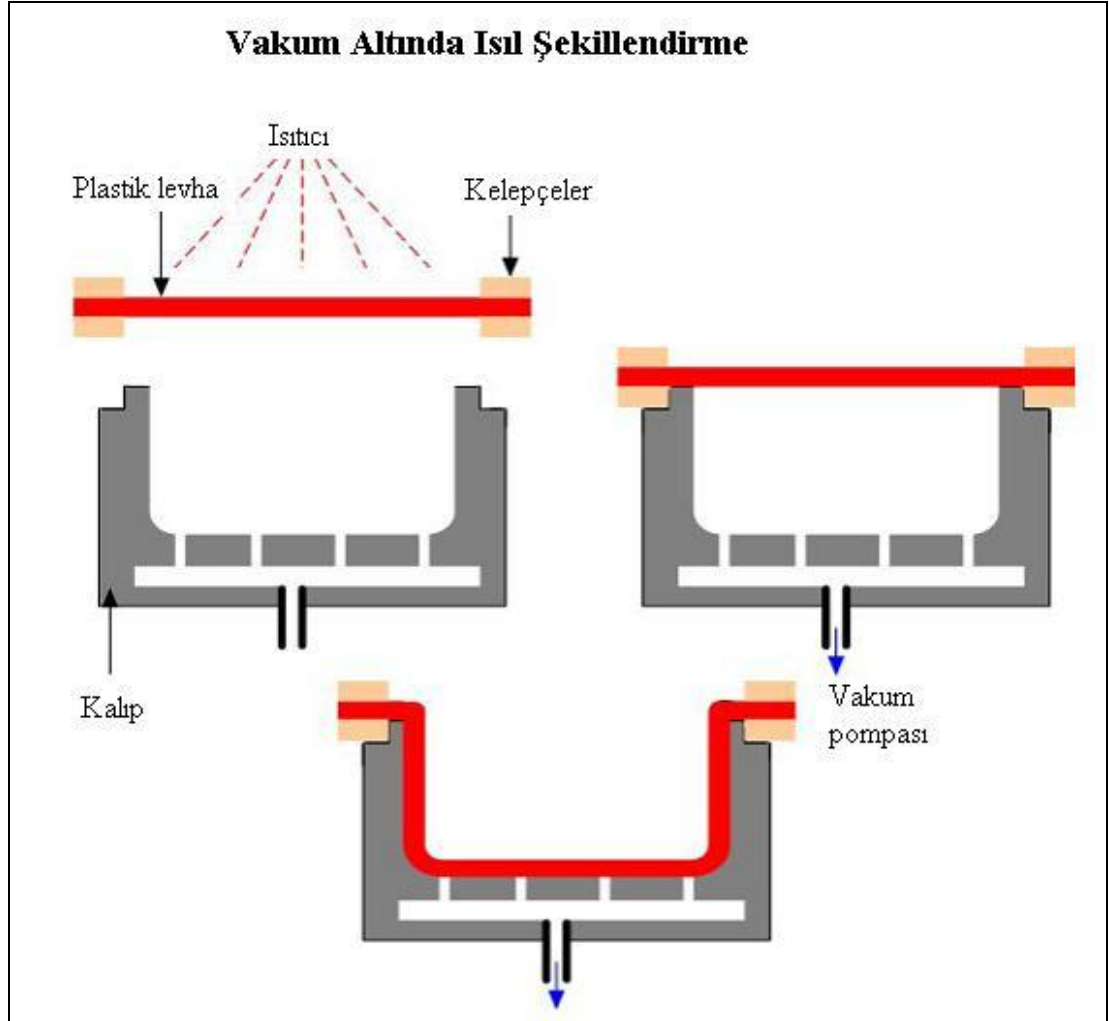
Bu yöntemde şekil verme işlemi vakum ve basınçlı hava altında yapılmaktadır. Bu yöntemde “**plastik levha**” kullanılır. Levhalar ısıtılır, yumuşatılır, sonra da;

1. Vakum uygulayarak
2. Basınçlı hava uygulayarak
3. Mekanik bir sistem uygulayarak şekillendirme yapılır.

Vakum uygulayarak ısıl şekil verme işleminin iş akışını kısaca özetlenecek olursa [14],

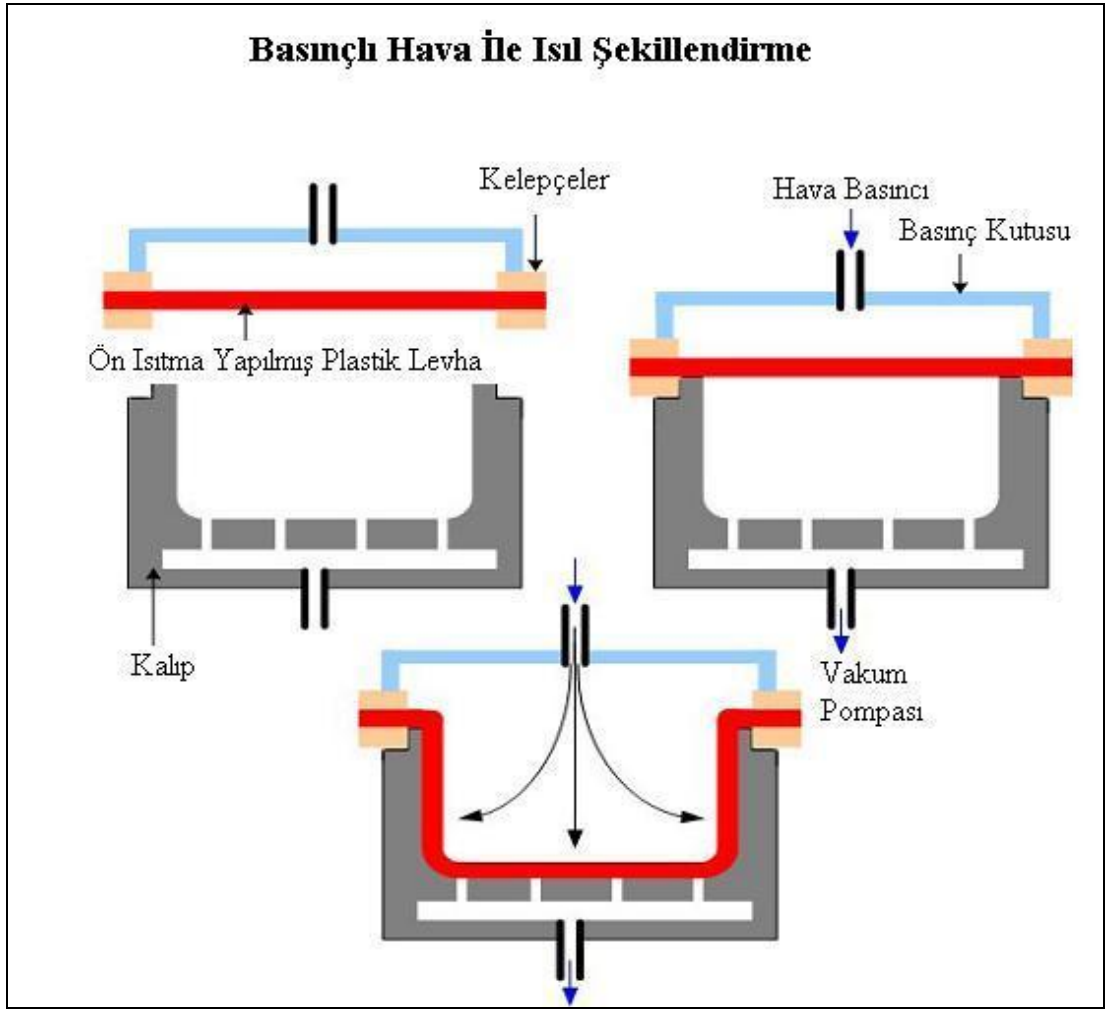
- Önce plastik levha 135 – 200°C rezistansla veya infrarujla ısıtılır.
- Isınmış plastik, kalıp üzerine konup vakum oluşturulur.
- Levha kalıbın içinin şeklini alır, soğutulur ve kalıptan dışarı alınır. Fazlalıklar kesilir.
- Şekil değiştiren levhanın kalınlığı her yerde aynı değildir. Köşeler inceler.
- Derinlik fazla olursa yırtılma da görülür.

- Sürekli şekillendirme yapabilen vakumla şekillendirme tesisi de vardır.



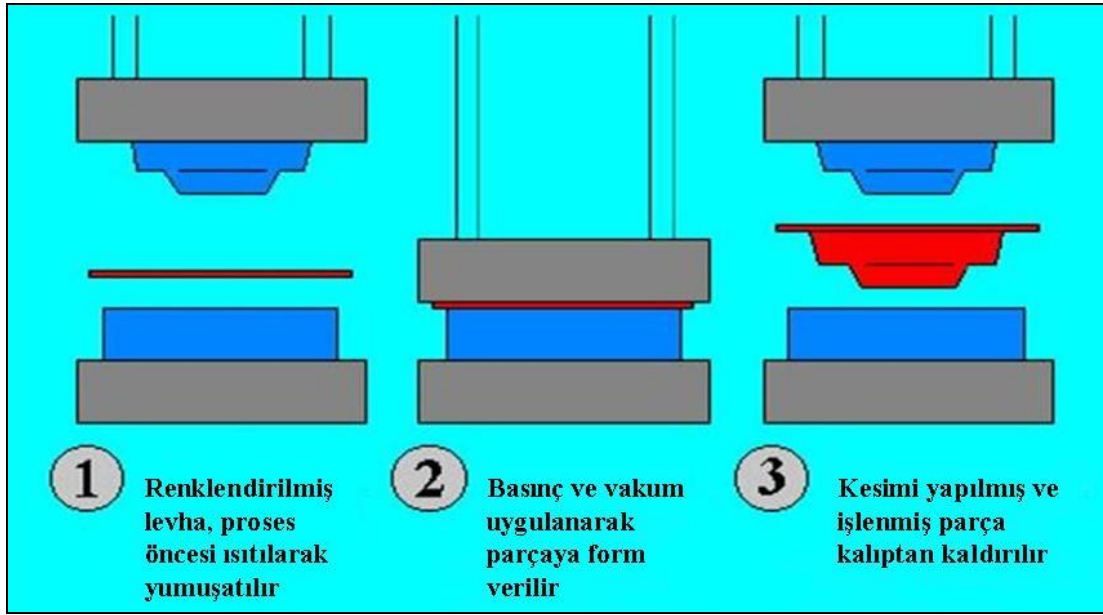
Şekil 4.20. Vakum altında ısıl şekillendirme yöntemi [14].

Basınçlı hava ile şekillendirme prosesi de; vakumla şekillendirmenin tam tersidir. Isıtılan levha basınçlı hava (4-6 atm) ile kalıp üzerine basılır. Levha ile alt kalıp arasında kalan hava, havalandırma deliklerinden dışarı çıkar.



Şekil 4.21. Basınçlı hava ile ısıtıl şekillendirme yöntemi [14].

Mekanik sistem uygulayarak şekil verme (erkek kalıp - dişi kalıp uygulayarak) yönteminde vakum veya basınçlı hava yoktur. Sadece üst kalıp ve alt kalıp vardır veya derin çekme işleminde olduğu gibi zımba vardır. Bu işlemde levha ısıtılır. Levha alt kalıba konur, üst kalıp aşağı doğru bastırılır. Ürün hem üst kalıp hem de alt kalıbın şeklini alarak şekillenir [14].



Şekil 4.22. Mekanik sistem uygulayarak şekil verme [14].

4.8. Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır [25].

Tüketilen maddelerin yeniden geri dönüşüm halkası içine katılabilmesi ile öncelikle hammadde ihtiyacı azalır. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak artan tüketimin doğal dengeyi bozması ve doğaya verilen zarar engellenmiş olur. Bununla birlikte yeniden dönüştürülebilir maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar. Atık malzemelerin hammadde olarak kullanılması çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da önemlidir.

Plastik atıklar öncelikle cinslerine göre ayrılarak geri dönüşüm işlemine tabi tutulur. Cinslerine göre ayrılan geri dönüşebilir plastik atıklar, kırma makinelerinde

kırılıp küçük parçalara ayrılır. İşletmeler bu parçaları direkt olarak belli oranlarda, orijinal hammadde ile karıştırarak üretim işleminde kullanabildiği gibi; tekrar eritip katkı maddeleri katarak ikinci sınıf hammadde olarak da kullanabilir.

Kırma makinesi ve yıkama havuzlarıyla başlayan plastik geri dönüşüm hatları granül makinesine kadar gider. Komple geri dönüşüm hattı Şekil 4.23.'deki şemadan görülebilir.



Şekil 4.23. Geri dönüşüm hattı

5. POLYAMİD BORULARA ŞEKİL VERİLMESİ VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN BİR FİRMADA ELE ALINMASI

Tezin özet kısmında da belirtildiği üzere gündelik hayatımızın hemen her anında polimerden yapılmış en az bir malzeme görülebilir. Otomotiv sektörü de plastik malzemelerin en sık kullanıldığı alanlardan biridir. Otomotiv firmaları müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek için çevresel şartların da baskısı altında mümkün olan alanlarda metal parçaların yerine plastik kullanılarak giderek daha hafif ve daha ucuz otomobil üretimi sağlanmaktadır. Hafif otomobiller daha kısa zamanda hızlanabilen, daha çabuk durabilen, ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az yakıta ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir.

Bu sebeptendir ki otomobil üzerindeki; cam sileceği, filtre kutusu, dikiz aynası, far gövdesi, gösterge panelleri, tampon, hava, yakıt, yağ transferlerinin sağlandığı ekipmanlarda plastik ve plastik esaslı kompozit malzemelerin kullanımı artmıştır.

Tez konusu olan plastik esaslı polyamid boruların basınçlı buhar altında, kalıplı şekillendirme esnasında form ve ölçüsel boyutlarda çekmeden kaynaklanan problemlerinin araştırma çalışmaları, konuyla ilgili otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yürütülmüştür. Bölüm 5’de konu ile ilgili çalışmalar ele alınacaktır.

5.1. Firma Hakkında

REPKA Kauçuk A.Ş., Sn. Nejat Özgür tarafından; 1990 yılında Avrupa otomotiv sektörünün ve yedek parça pazarının ihtiyacı olan sentetik kauçuk esaslı yakıt, yağ, hava ve su hortumu üretimindeki eksiklik tespit edilerek Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesinde fabrika binasında kurulmuştur.

1993 yılında yine aynı organize sanayi bölgesinde 16.000 m²' lik arazi üzerinde 5900 m² kapalı alana sahip fabrika binasını satın alarak, kendi mülkiyeti üzerinde üretime geçmiştir.

2005 yılında, kalkınmada öncelikli bölgelerdeki yatırımların desteklenmesi için verilen teşvikler ile Kütahya Organize Sanayi Bölgesinde KROS Otomotiv A.Ş. ile üretim faaliyetleri hakkında stratejik iş birliği anlaşması yapılarak, 2006 yılının Haziran ayından itibaren bu firmanın REPKA KAUÇUK A.Ş. adına üretim yapması sağlanmıştır.

Yine aynı dönemde her iki firmanın yönetimi ile birlikte ticari faaliyetlerini (ithalat, ihracat, yurt içi satın alma vb), mali işlerini (muhasabe ve finansman) yürütmek için İstanbul Anadolu Yakasında bir ofis açılmıştır.

Firma toplam 320 kişilik bir ekip ile üretim ve yönetim faaliyetlerini sürdürmektedir.

5084 sayılı Yatırımların ve İstihdamın Teşviki Kanunu kapsamında Kütahya bölgesine verilen desteklerden faydalanmak ve bölge ekonomisine ve iş hayatına katkıda bulunmak için kurulan firma bölgede kurulan ilk otomotiv yan sanayi firması olması açısından da önem taşımaktadır.

Haziran 2006 ayında ilk seri üretimlerine başlayan firma, 3 ay gibi kısa bir süre içinde Alman Otomotiv Sanayi firmalarından VOLKSWAGEN Grup tarafından onaylı tedarikçi olarak onaylanmıştır. Aynı hızla çalışmalarına devam eden firma

ISO 9001:2000 ve ISO/TS 16949:2002 standartları gereklerine göre kurduğu kalite yönetim sistemi Kasım 2006 ayında TÜV-NORD tarafından belgelendirilmiştir.

İhracatta en büyük 1000 firma arasında olan firma, üretiminin %99'luk kısmını ihraç etmektedir. Almanya'da konuşlu Repka-Donflex GmbH firması KROS Otomotiv için de lojistik merkezi görevini yapmaktadır.

5.2. Polyamid Boruların Şekillendirilmesi

Tez çalışmalarının yürütülmüş olduğu firmada polyamid boruları şekillendirme işlemi 5 farklı aşama sonunda şekillendirilmektedir. Sırası ile bu 5 aşama açıklanacak olursa;

- a) Polyamid borulara boğum şişirilmesi,
- b) Kalıba yerleştirme öncesi ön ısıtma (Tavlama),
- c) PA boruların şekillendirme kalıplarına yerleştirilmesi,
- d) Otoklav işlemine tabii tutulması,
- e) Otoklav sonrası şoklama ve boruların kalıptan çıkartılması, işlemlerinden oluşmaktadır.

Gruplama yapıldığı takdirde bu beş aşamayı 3 farklı proses olarak tanımlanabilir. Bu prosesleri;

- a) Boğum şişirme prosesi,
- b) Otoklav prosesi,
- c) Şoklama prosesi, olarak değerlendirebiliriz.

Sınıflandırılan bu 5 aşama içerisinde olan otoklav işlemi, polyamid borunun malzeme karakteristikleri ve türüne göre farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin bazı polyamid türleri otoklav işlemi için uygun değildir. Böyle durumlarda polyamid boruya şekil verme için elektrikli fırın veya ısı tünelleri tercih edilmektedir.

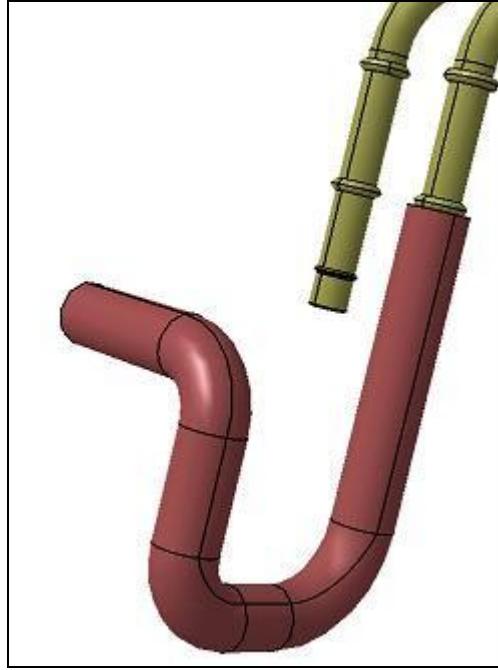
Bu çalışmada; çekme problemlerinin en çok yaşandığı polyamid türünün şekillendirme işlemi otoklavlarda yapıldığı için süreçlerin anlatılması kısmında otoklav prosesi ele alınmış olup diğer şekillendirme türlerine yer verilmemiştir.

5.2.1. Polyamid borulara boğum şişirilmesi

Polyamid borular montaj esnasında uygun çaplarda hortumlarla birleştirilmektedir. Bu sebeple son montajda veya araç üzerinde monte edildikleri yerlerde diğer komponentlerle bağlantılarının sağlanabilmesi ve montaj yapılmış hortumların sıkı geçmesini sağlayarak sızdırmazlığı önlemesi gerekmektedir. Bu kriteri sağlayabilmek amacıyla polyamid boru üzerinde bir set (boğum) oluşturulur.

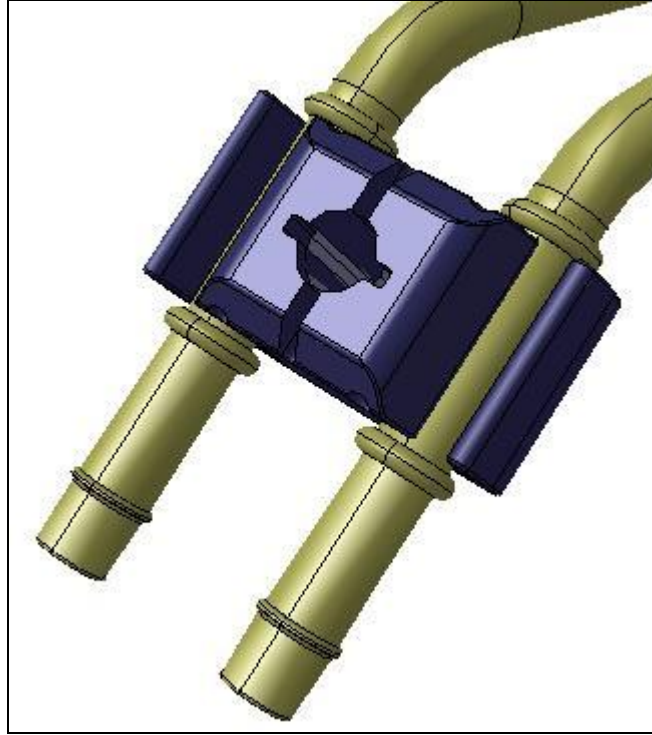


Şekil 5.1. Boğum şişirilmiş bir PA boru



Şekil 5.2. PA borunun montaj şekli

Bu boğumların diğer bir kullanım amacı da; boruların diğer montajlı setler ile bağlanma esnasında veya araç üzerinde yerleştirileceği konum gereği yerini klipslerle sabitlemek gerekmektedir. Bu noktada klipslerin konumlarını belirlemek için de zaman zaman bu boğumlardan faydalanılmaktadır.



Şekil 5.3. PA borunun montaj şekline diğer bir örnek

Boğum ölçüleri, kullanılan polyamid borunun dış çap – et (cidar) kalınlığı ile montajı yapılacak olan hortumun iç çap ölçüleri göz önünde tutularak tasarlanmaktadır.

Tasarımcı tarafından ölçüleri ve boru üzerinde yeri belirlenen boğumların şişirilmesi prosesi; belirli bir sıcaklıkta çalışan ve istenen formu vermek üzere tasarlanan hareketli kalıpların pnömatik olarak çalışması ile yapılmaktadır. Bu proseste değişken parametreler, borunun malzemesi, sıcaklık ve süredir.



Şekil 5.4. PA boğum şişirme makinesi

5.2.2. Kalıba yerleştirme öncesi ön ısıtma

Boğumları şişirilen PA borular bir sonraki prosese geçmeden önce 2 ara aşamadan ilki olan ön ısıtma (tavlama) işlemine tabii tutulur. Bu işlem; PA boruların şekillendirme kalıplarına yerleştirilmesi sırasında kolaylık sağlaması ve olası kırılmaları önlemek amacıyla yapılmaktadır.

Tavlama işlemi; elektrikle çalışan ve sıcaklığı belirli derecelerde sabit tutulabilen etüvlerde gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.5.'de bu amaç için kullanılan bir etüv cihazının görüntüsü yer almaktadır.



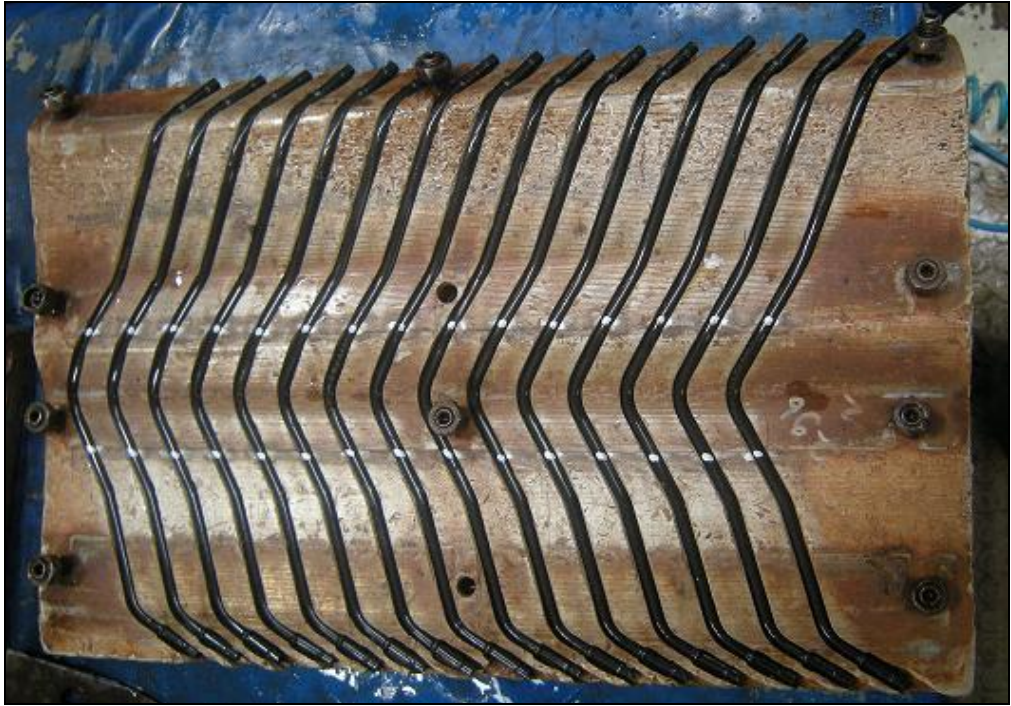
Şekil 5.5. Tavlama işlemi için kullanılan etüv cihazı

5.2.3. PA boruların şekillendirme kalıplarına yerleştirilmesi

Bu aşamada etüvde tavlama işlemi tamamlanan polyamid boruların şekillendirme kalıplarına yerleştirilmesi işi gerçekleştirilir. Şekillendirme kalıbı olarak genelde alüminyum kalıplar kullanılmaktadır. İstenilen formu vermek için alüminyum malzeme üzerine borunun yerleştirileceği kanallar açılmaktadır. Bir kalıptan tek seferde kaç ürün alınacağı konusunda, verilecek formun zorluk derecesi ve boru boyunun önemli etkisi söz konusudur. Polyamid borular bu kanallara takılarak sabitlenir ve bir sonraki proses olan otoklav süreci başlar.



Şekil 5.6. PA boru şekillendirme kalıbı



Şekil 5.7. PA borunun şekillendirme kalıbına yerleştirilmesi

5.2.4. Otoklav işlemine tabii tutulması

Otoklav; kauçuğu yüksek basınç ve sıcaklık altında vulkanize etmek amacıyla kullanılan kazan ve benzeri cihazlardır. Aynı zamanda bazı tür PA boruların şekillendirilmesi de otoklavlarda yapılabilmektedir. PA borunun otoklavda şekillendirilmesi tamamen malzeme özelliklerine bağlıdır.

Form verilmek üzere kalıplara yerleştirilen PA borular, önceden belirlenen basınç, sıcaklık ve süre altında otoklavda şekillendirme işlemine tabii tutulur.



Şekil 5.8. Şekillendirilmenin yapıldığı otoklav

5.2.5. Otoklav sonrası şoklama ve boruların kalıptan çıkartılması

Otoklavda şekillendirilme işlemi tamamlanan ürünler bir sonraki aşama olan şoklama işlemine tabi tutulmaktadır. Buradaki amaç; kalıpları ve PA boruları soğutmak, kazandırılan şeklin korunmasını sağlamaktır.

Şoklamanın yapıldığı su havuzları bir chiller grubuna bağlı olup, soğutma suyunun sıcaklığı belirli derecelerde sabit tutulmaktadır. Yine kalıpların su içerisinde kalma süreleri kalıp büyüklüğüne de bağlı olarak standart hale getirilmiştir.



Şekil 5.9. Şoklama işleminin yapıldığı su havuzları



Şekil 5.10. Chiller grubu

Şoklama işlemi tamamlanan PA borular kalıplardan sökülerek diğer komponentlerle montajı yapılmak üzere montaj hatlarına sevk edilmektedir.

5.3. Polyamid Boruların Şekillendirilmesinde Karşılaşılan Problemler

Otoklav ile şekillendirme prosesinde karşılaşılan en büyük problem polyamid boruların boylarında şekillendirme sonrası kısalma olmasıdır ve bu da nihai montaj yapılacağı yerde ürünün yerine oturmaması gibi problemler doğurmaktadır. Bu tez çalışmasında sorun, çekme problemi olarak ele alınmıştır.

Bu bölümden itibaren polyamid borunun şekillendirilmesinde karşılaşılan çekme problemi sebeplerinin neler olabileceği konusunda araştırmalar ve çalışmalara yer verilecektir.

Problemi doğru analiz edebilmek ve sorunun kaynağına ulaşmak veya bu probleme etkisi olan diğer faktörleri bulma noktasında problem analiz tekniklerinden sebep – sonuç diyagramı modelini ele alınmıştır. Sebep – sonuç diyagramı (balık kılıcı metodu) bölüm 5.3.1.’de anlatılacaktır.

5.3.1. Sebep – Sonuç Diyagramı

Problem çözümünde problemin sebeplerinin sistematik olarak analizi amacıyla kullanılan araçtır. Belirli bir problemin veya durumun olası nedenlerini belirlemek, ortaya çıkarmak için kullanılır.

Bu teknik; grubun problemin içeriğine odaklanmasını ve problem hakkındaki grup bilgisinin ortaya çıkmasını sağlar.

Detaylı bir sebep-sonuç diyagramı balık kılıcı şeklindedir, bu yüzden balık kılıcı diyagramı olarak da adlandırılır.

Her sebep incelenirken, normlardan, yöntemlerden oluşabilecek sapmalar, değişiklikler düşünülmelidir.

Sebep – sonuç diyagramı yoluyla; problem çözme sürecinin daha düzenli hale getirilmesi, problem hakkında bütün bilinenlerin ortaya konması, bilinenlerden bilinmeyenlere doğru sistematik bir yaklaşım, problemle doğrudan deneyimi olan kişilerin uzmanlığından yararlanma mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda sebep – sonuç diyagramları eğitici, tartışmalarda yol gösterir, konunun dağılmasını önler, her türlü analizi için kullanılabilir.

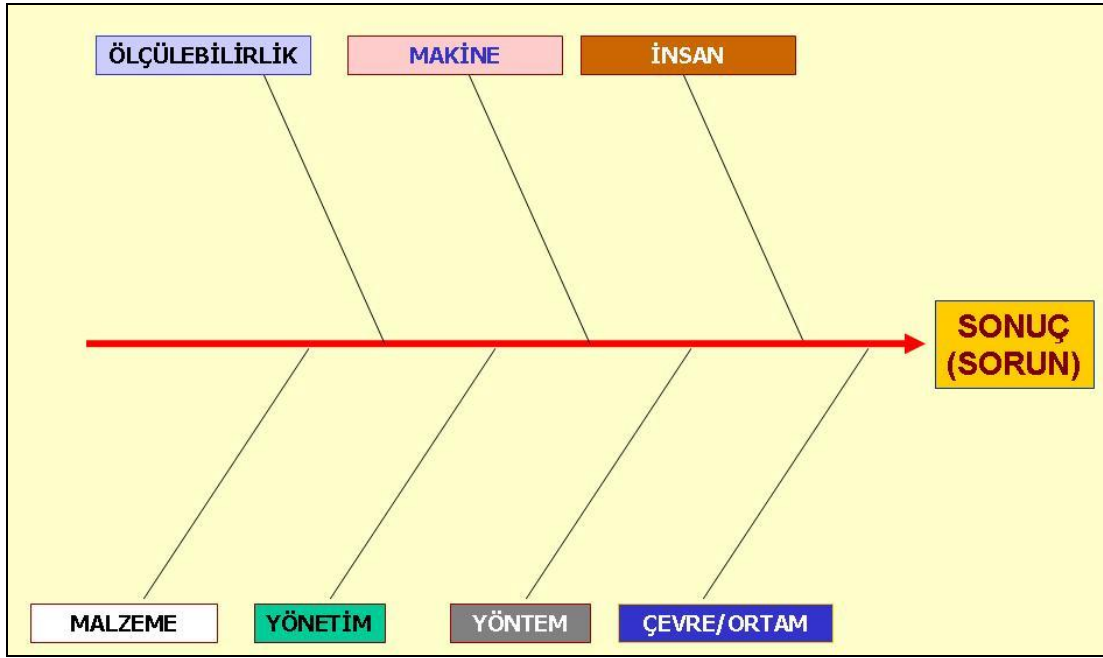
5.3.1.a. Sebep – sonuç diyagramının hazırlanması

Bu süreç adım adım anlatılacak olursa;

1. adım: Sorun tespit edilir başlık olarak yazılır,
2. adım: Tespit edilecek muhtemel nedenler için temel gruplamalar belirlenir, (İhtiyaca göre gruplar belirlenir, Grup başlıkları ve sayısı standart değildir)

Ana nedenleri genel olarak gruplayacak olursak “7M” olarak tanımlanabilir. Bunlar;

Man	= insan
Machine	= makine
Medium	= çevre / ortam
Material	= malzeme
Method	= yöntem
Management	= yönetim
Measurability	= ölçülebilirlik



Şekil 5.11. Sebep – sonuç (balık kılıcı) diyagramı

3. adım: Bütün üyeler beyin fırtınası oturumuna katılır, sırayla tüm üyelerin düşünceleri alınır,

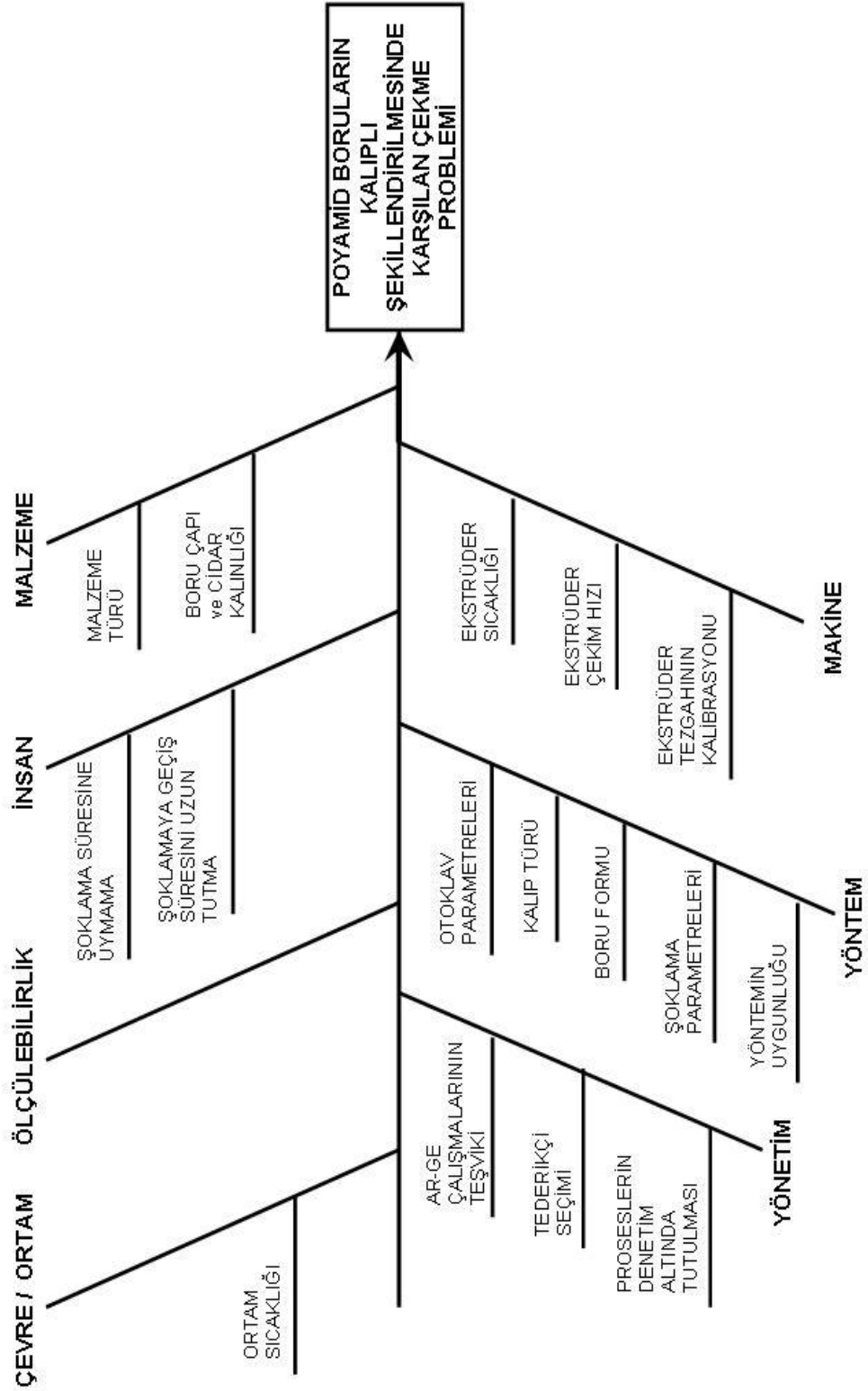
4. adım: Her üye düşüncesinin hangi temel gruba girdiğini belirtmelidir bir neden bazen başka bir nedenin dalı olarak eklenir.

Daha sonra en önemli nedenleri tespit etmek için oylama yapılır, en fazla oyu alan nedenler daire içine alınır. Sorunun çözümüne öncelikle buradan başlanır ve kılçık yavaş yavaş kırılır.

5.3.2. Polyamid borularda kalıplı şekillendirme sonucu oluşan çekme probleminin sebep – sonuç diyagramında incelenmesi

Tez çalışmasının yürütüldüğü firmada, karşılaşılan problemin çözümü için kök nedenlerin araştırılması kısmında bölüm 5.3.1.'de anlatılan sebep - sonuç diyagramı durum için uyarlanmış ve ana başlıkların altında probleme etkisi olabilecek sebepler ilgili kısımlara yazılmıştır. Bu öngörüler 4. bölümde ele alınan plastiklere şekil verme methodları ve şekil verme sırasında etkisi olan parametre, malzeme türü ve

yöntemler göz önünde tutularak ve aynı zamanda tecrübelerden faydalanılarak çıkartılmıştır. Problemin sebeplerine ulaşmak için hazırlanan bu diyagram Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Polyamid borularda kalıplı şekillendirme sonucu oluşan çekme problemi için sebep – sonuç diyagramı

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Deneysel Çalışmanın Amacı

Polyamid boruların kalıplı şekillendirilmesi sonrasında karşılaşılan problemler 5. bölümde anlatılmıştır. Hazırlanan sebep – sonuç diyagramında bahsi geçen ve şekillendirme üzerinde etkilerinin olabileceği düşünülen şekillendirme şartlarının deneysel olarak incelenmesi bu bölüm içerisinde anlatılacaktır.

Polyamid boruların çekmesinde önemli bir etkinin otoklav sonrası şoklama prosesinin olacağı öngörülmüştür. Bu sebeple diğer parametreler sabit tutulmuş, şoklama prosesi uygulanarak ve uygulanmayarak şekillendirmeler yapılmış ve sonuçları gözlemlenmiştir. Şoklama prosesinin malzeme üzerindeki etkilerinin incelenmesi için deney sonrası elde edilen numunelerin elektron mikroskobu ile görüntüleri alınarak, malzeme yapısındaki değişiklik olup olmadığına bakılmıştır.

6.2. Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Yapılan deney çalışmasında kullanılan ekipman, malzeme ve deney şartları aşağıdaki gibidir.

- a) Etüv cihazı: Nüve marka, FN500 modeli
- b) Otoklav: 8,5m³ hacimli Kartal Bombe yapımı
- c) Alüminyum kalıp: Polyamid boruya form verme kalıbı
- d) PA 6.12, ø12x1,25x630mm boru
- e) Şoklama havuzu
- f) Elektron mikroskobu; ZEISS EVO 55

6.3. Deneyin Yapılışı

Deneyde kullanılacak numuneler etüv cihazında 150°C’de 5dk. süreyle tavlama işlemine tabii tutulmuştur.

Akabinde tavlama işlemi tamamlanan numuneler şekillendirme kalıplarına takılarak otoklav prosesine başlanılmıştır.

Deneyin otoklav prosesinde numuneler 175°C sıcaklık, 8,4 bar basınç altında 8dk. süreyle işleme tabii tutulmuştur.

Deney esnasında sabit tutulan parametler, üzerinde denemelerin yapıldığı PA6.12 malzemenin şekillendirilmesi için gerekli olan optimum değerlerdir.

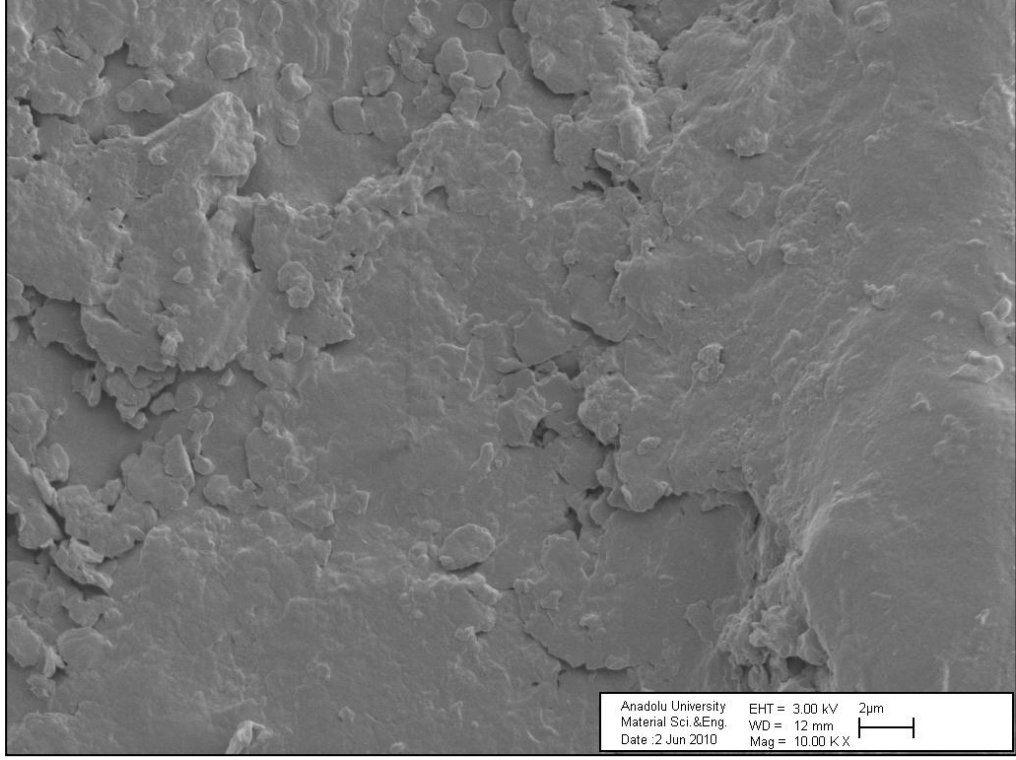
Deneyin devamında otoklavdan çıkan numunelerden bir tanesine şoklama prosesi uygulanmış, diğer numuneye şoklama prosesi uygulanmayarak ortam şartlarında kalıp üzerinde soğumaya bırakılmıştır.

6.4. Deney Sonrası Elde Edilen Sonuçlar Ve İncelenmesi

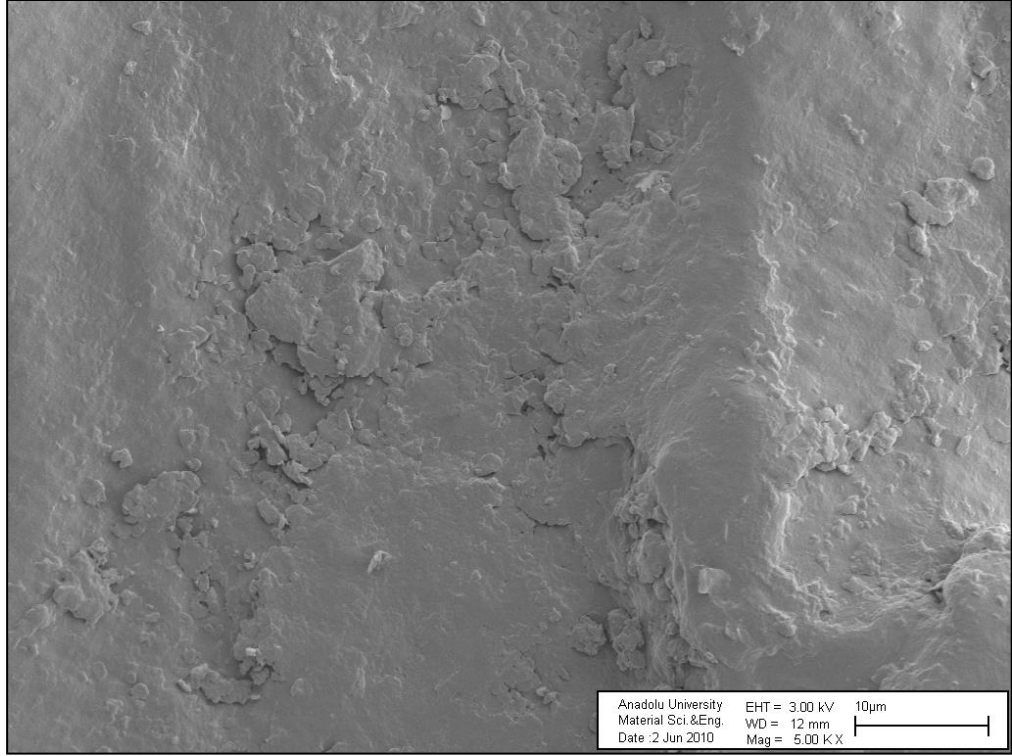
Bölüm 6.1.’de içeriği anlatılan deneyin sonunda, polyamid boruların kalıplı şekillendirilmesi sırasında çekme problemindeki sebeplerinin araştırılması aşamasında fikir edinmek maksadıyla 4 farklı numunenin elektron mikroskobu ile alınan görüntüleri incelenmiştir. Bu numuneler;

- a. PA 6.12 polyamid boru imalinde kullanılan hammadde granül (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2)
- b. Ekstrüder sonrası elde edilen PA 6.12 polyamid boru (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4)
- c. Şoklama prosesi uygulanarak şekillendirilmiş PA 6.12 boru (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6)

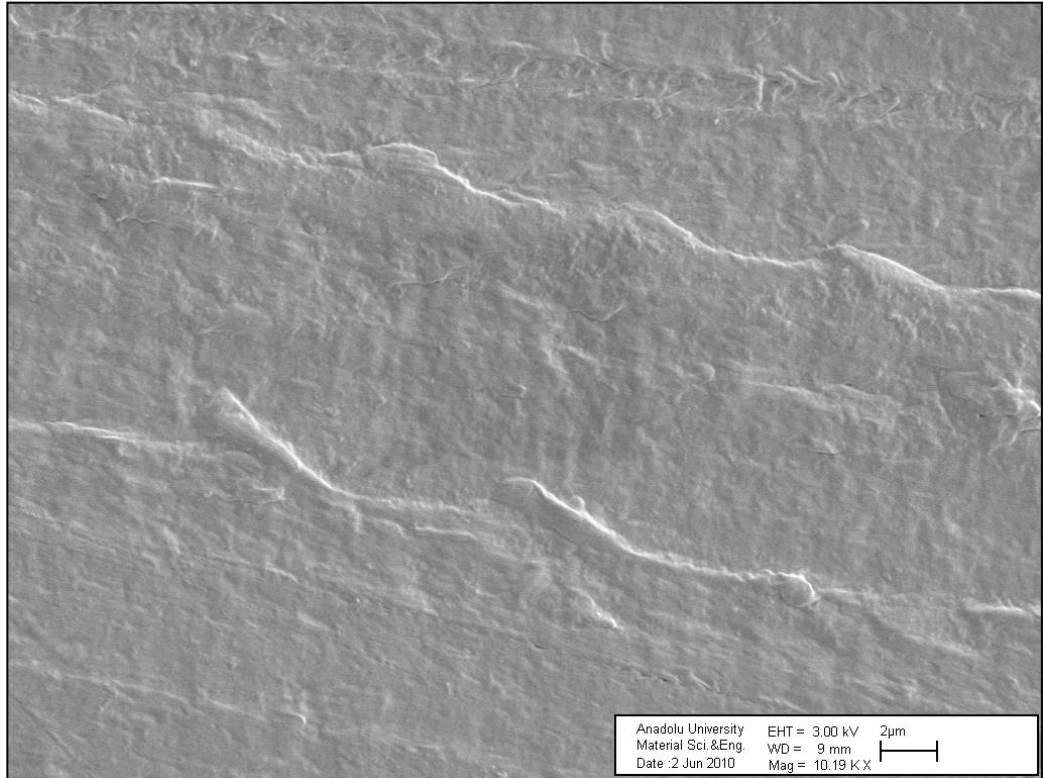
- d. Şoklama prosesi uygulanmamış, şekillendirilmiş PA 6.12 boru (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8)



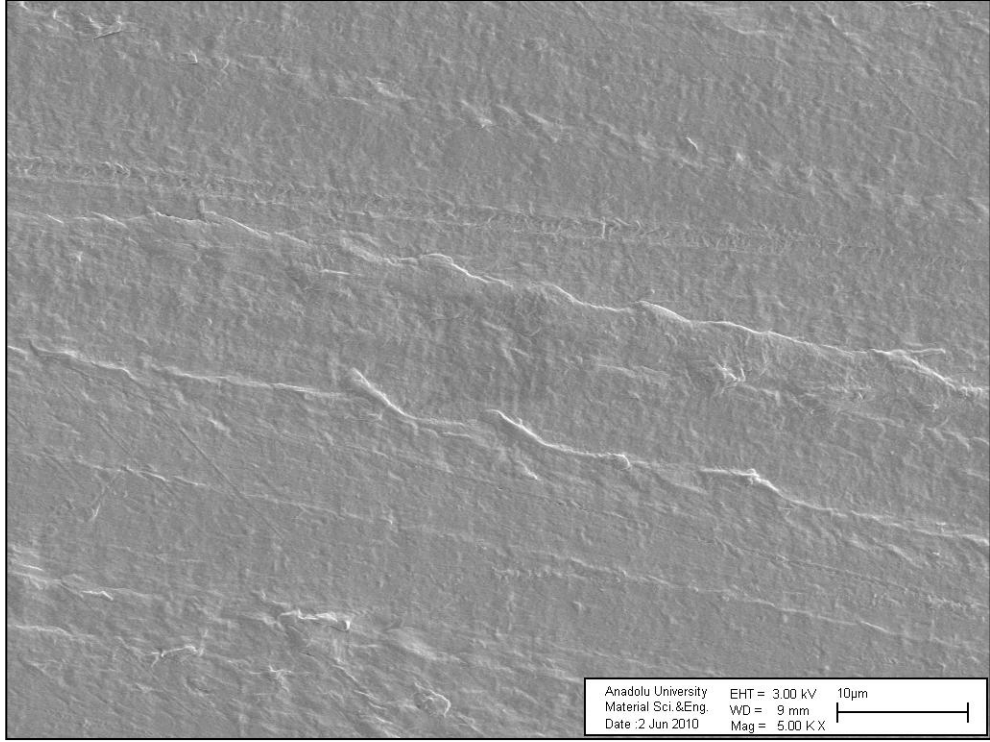
Şekil 6.1. PA 6.12 granül malzemenin 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



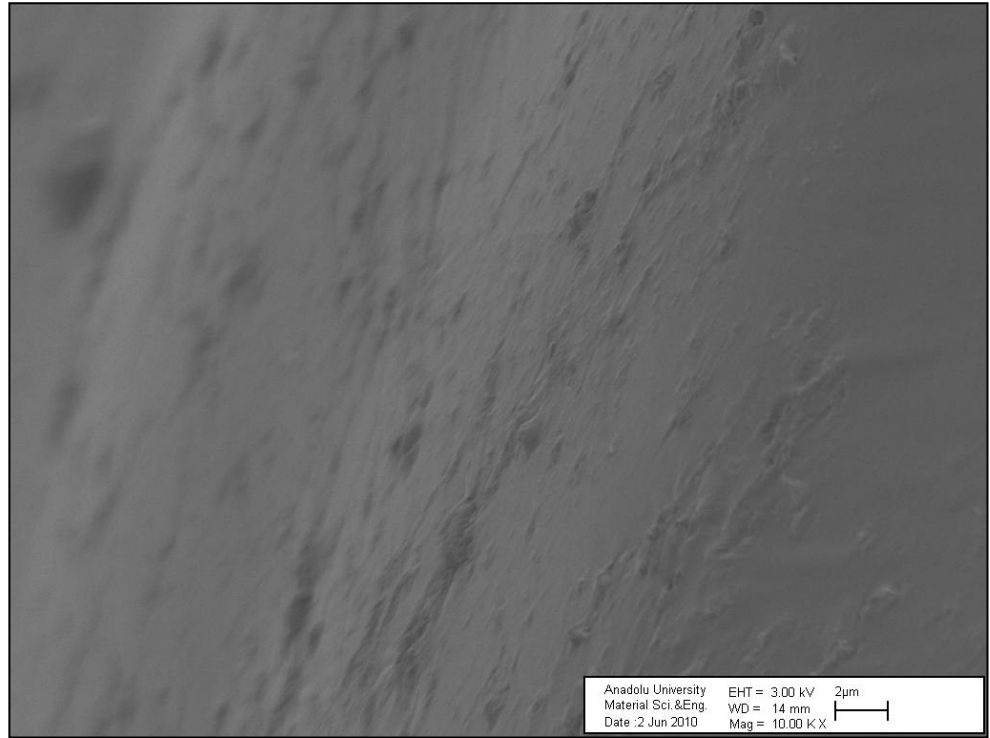
Şekil 6.2. PA 6.12 granül malzemenin 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



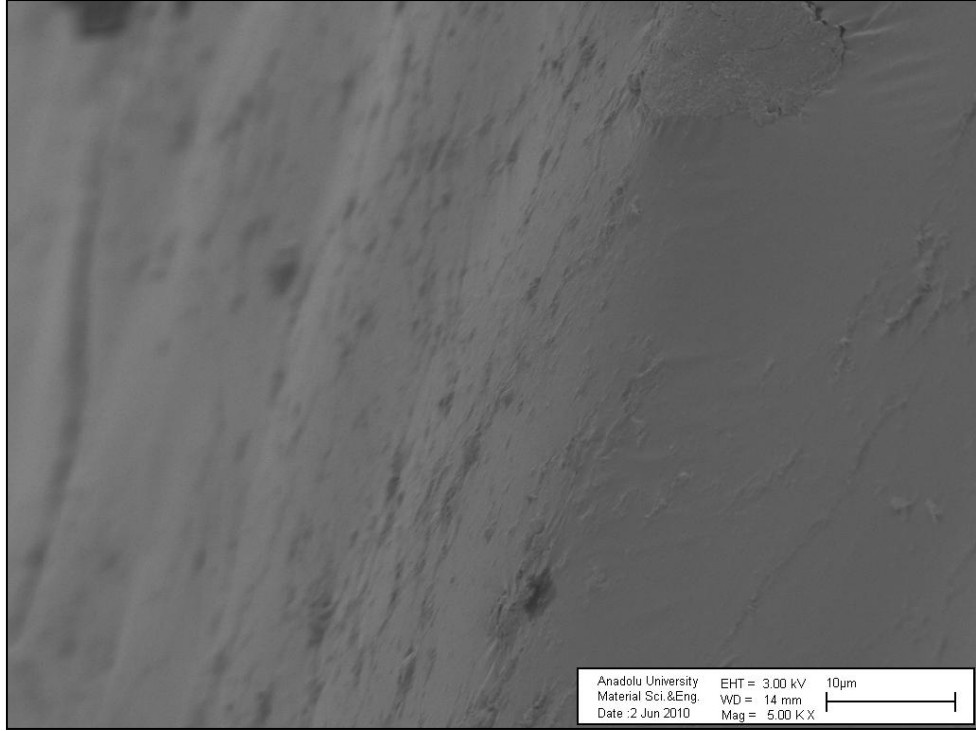
Şekil 6.3. Ekstrüder sonrası elde edilen PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



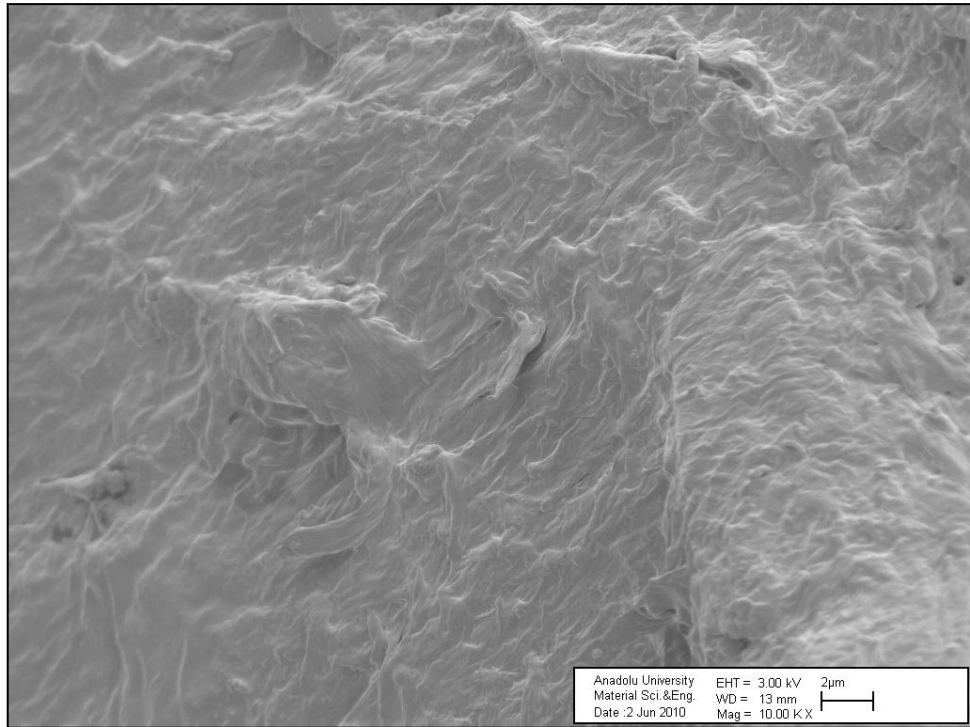
Şekil 6.4. Ekstrüder sonrası elde edilen PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



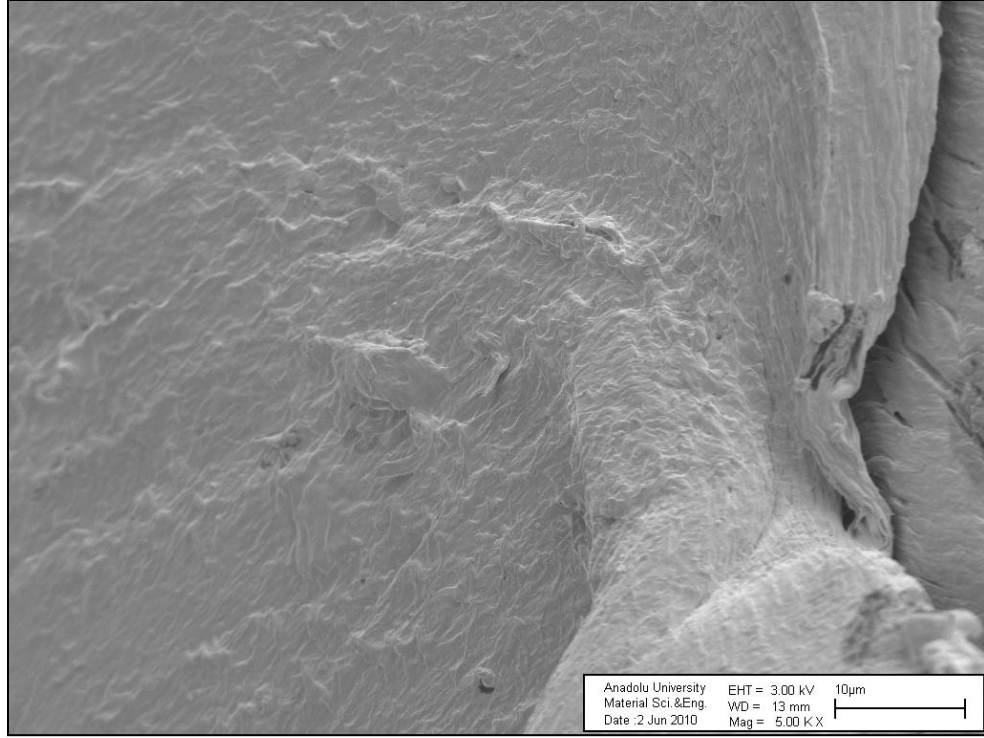
Şekil 6.5. Şoklama prosesi uygulanarak şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 6.6. Şoklama prosesi uygulanarak şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 6.7. Şoklama prosesi uygulanmadan şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 10.00KX elektron mikroskobu görüntüsü

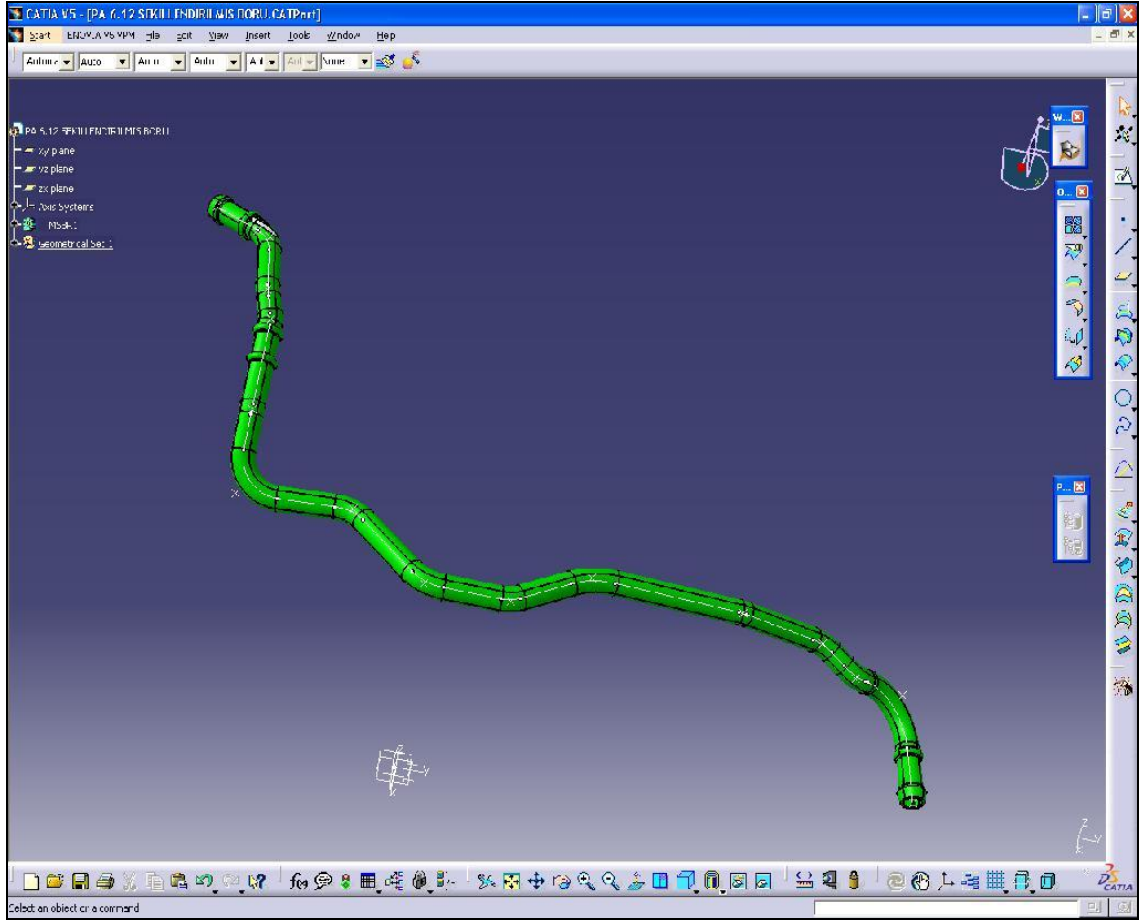


Şekil 6.8. Şoklama prosesi uygulanmadan şekillendirilmiş PA 6.12 borunun 5.00KX elektron mikroskobu görüntüsü

6.5. Polyamid Borunun Otoklav Prosesinde Simülasyonu

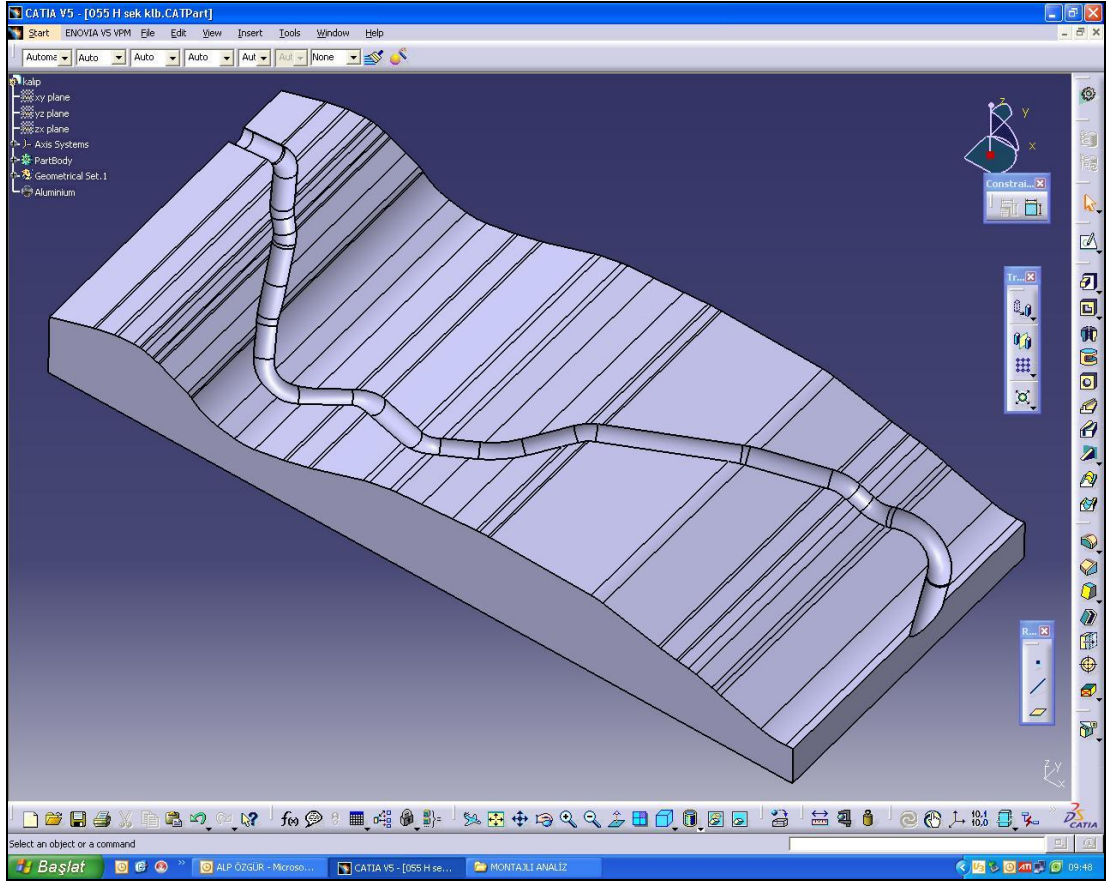
Polyamid borunun alüminyum kalıplarda şekillendirilmesi sırasında, otoklav prosesi kalıcı şekil verme konusunda en önemli kısımdır. Bu sebeple kalıba yerleştirilmiş polyamid borunun otoklav prosesi boyunca basınç ve sıcaklık altında nasıl bir davranış gösterdiği cad ortamında incelenmiştir.

Bu bölümde, deney çalışmalarında kullanılan polyamid borunun (Şekil 6.9.) ve şekil vermede kullanılan alüminyum kalıbın cad dataları (Şekil 6.10.) Catia programı kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 6.9. Deney çalışmasında kullanılan polyamid borunun CAD datası

Simülasyon çalışmasında; polyamid boruya kalıcı şekil vermede kullanılan, alüminyum dolu malzemeden boru formunda kanal açılarak imal edilmiş polyamid şekillendirme kalıbına ait CAD datası hazırlanmıştır.



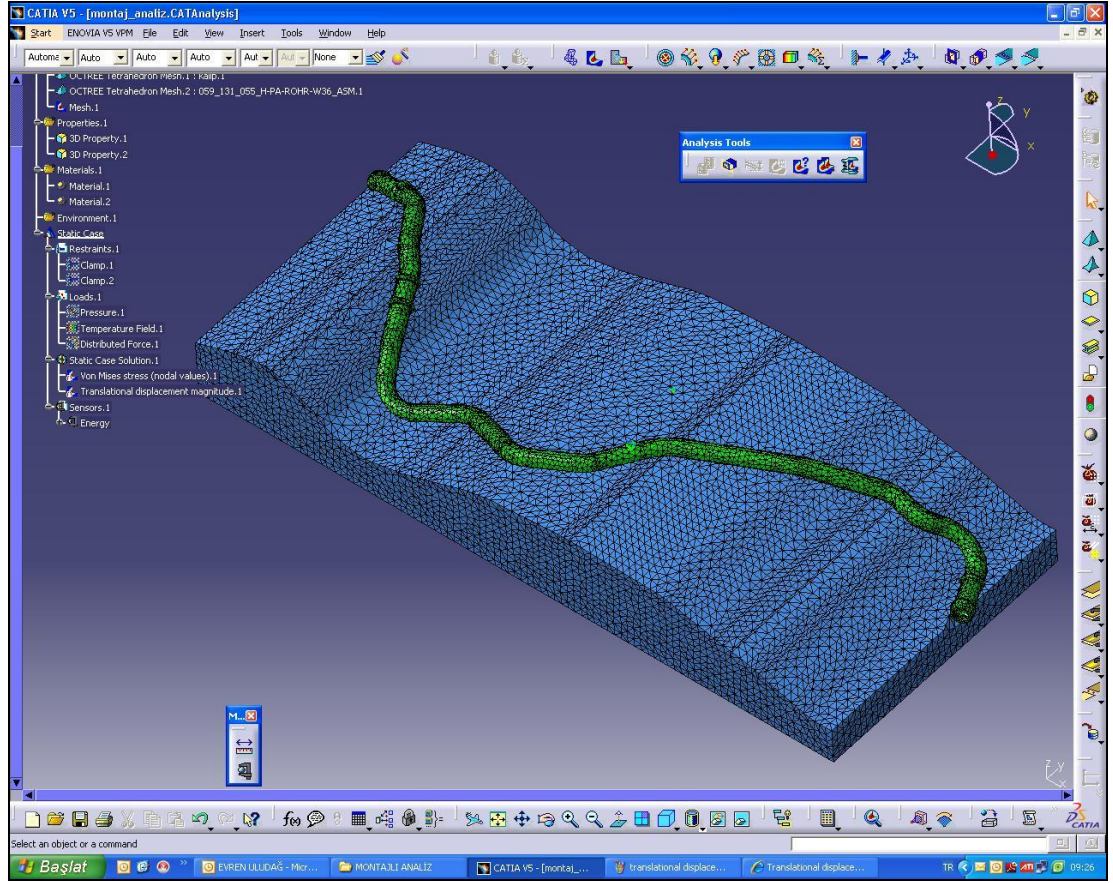
Şekil 6.10. Deney çalışmasında kullanılan polyamid şekillendirme kalıbının CAD datası

Bilgisayar ortamında tasarımı yapılan kalıp üzerine şekil verme işlemi uygulanacak polyamid borunun CAD datası yerleştirilerek montajlı parçanın CAD datası hazırlanmıştır.

Basınç ve sıcaklık altında kalıp içerisinde bulunan polyamid borunun üzerindeki gerilme ve şekil değiştirmeleri gözlemek için CATIA programının analiz kısmından faydalanarak sonlu elemanlar analizi çalışması yapılmıştır.

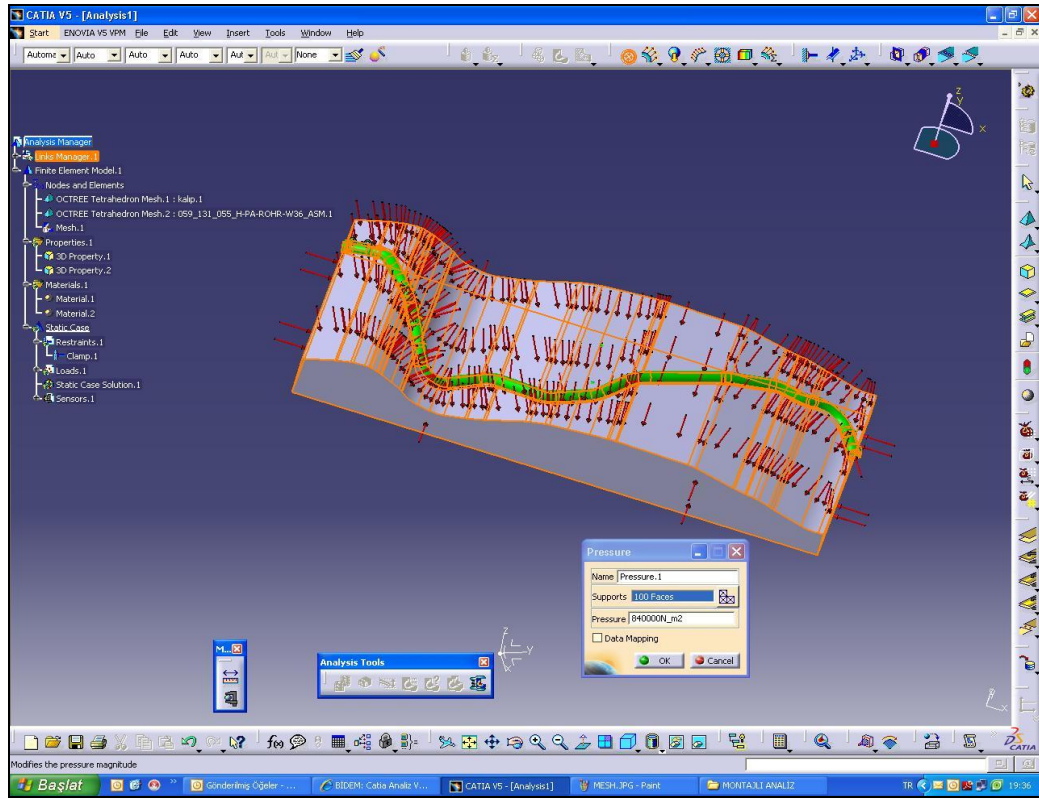
Yapılan işlemler sırası ile özetlenecek olursa;

- Şekillendirme kalıbı ve polyamid borunun malzemelerinin tanımlanması,
- Kalıp ve boruya mesh uygulanması (Şekil 6.11.)

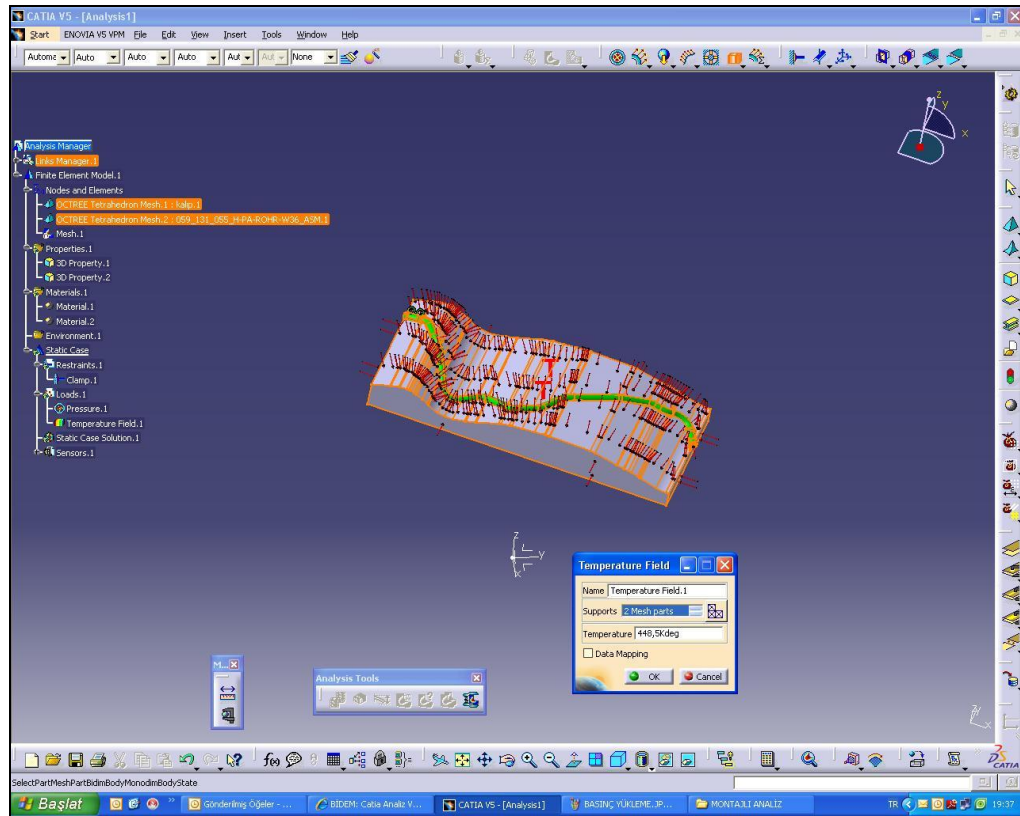


Şekil 6.11. Şekillendirme kalıbı ve polyamid boruya “mesh” uygulaması

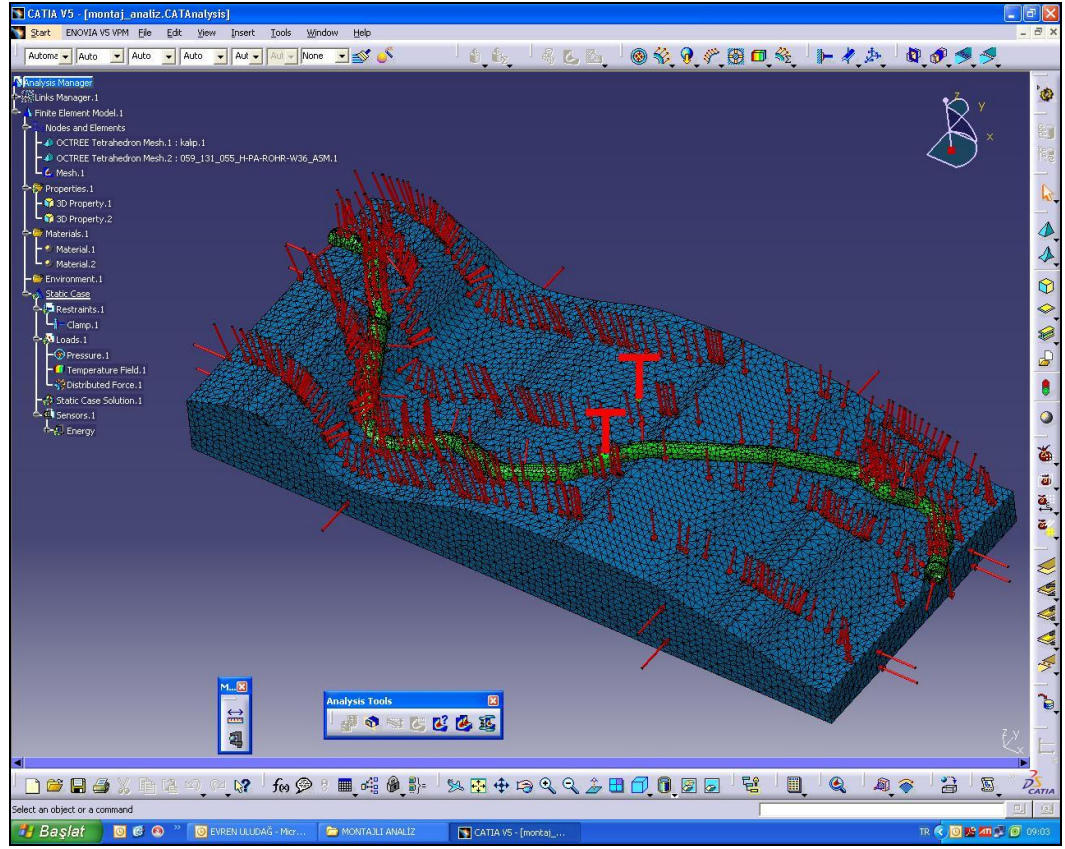
- c. Sınır şartlarının belirlenmesi,
- d. Basınç ve sıcaklık değerleri girilerek reel yüklerin montajlı parça üzerinde tanımlanması (Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.),



Şekil 6.12. Basınç değerlerinin girilerek yüklerin tanımlanması

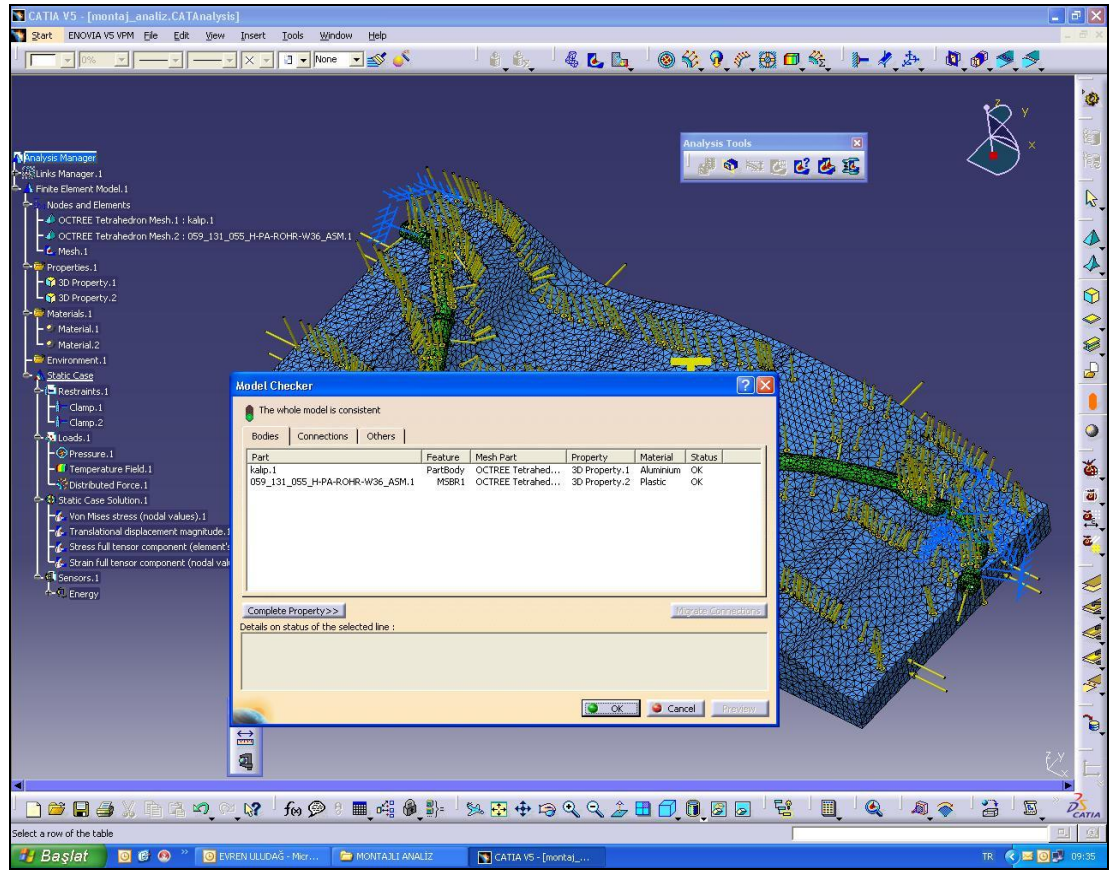


Şekil 6.13. Sıcaklık değerinin girilmesi

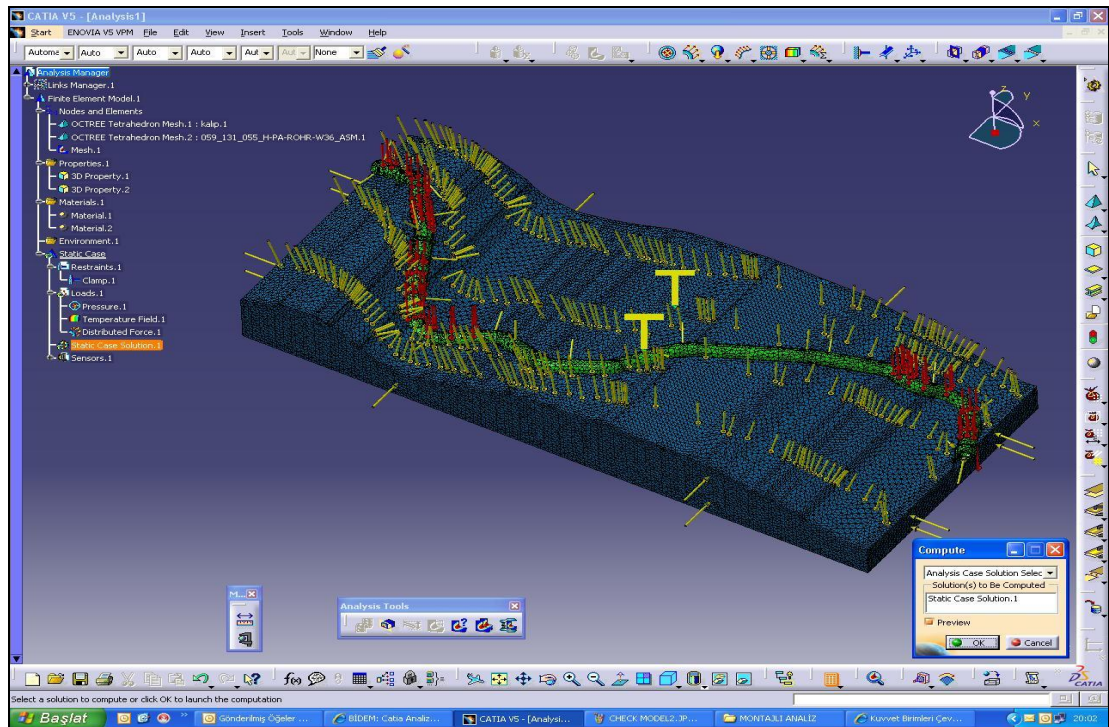


Şekil 6.14. Basınç ve sıcaklık değerlerinin girilerek yüklemeleri tanımlanmış mesh'li parça

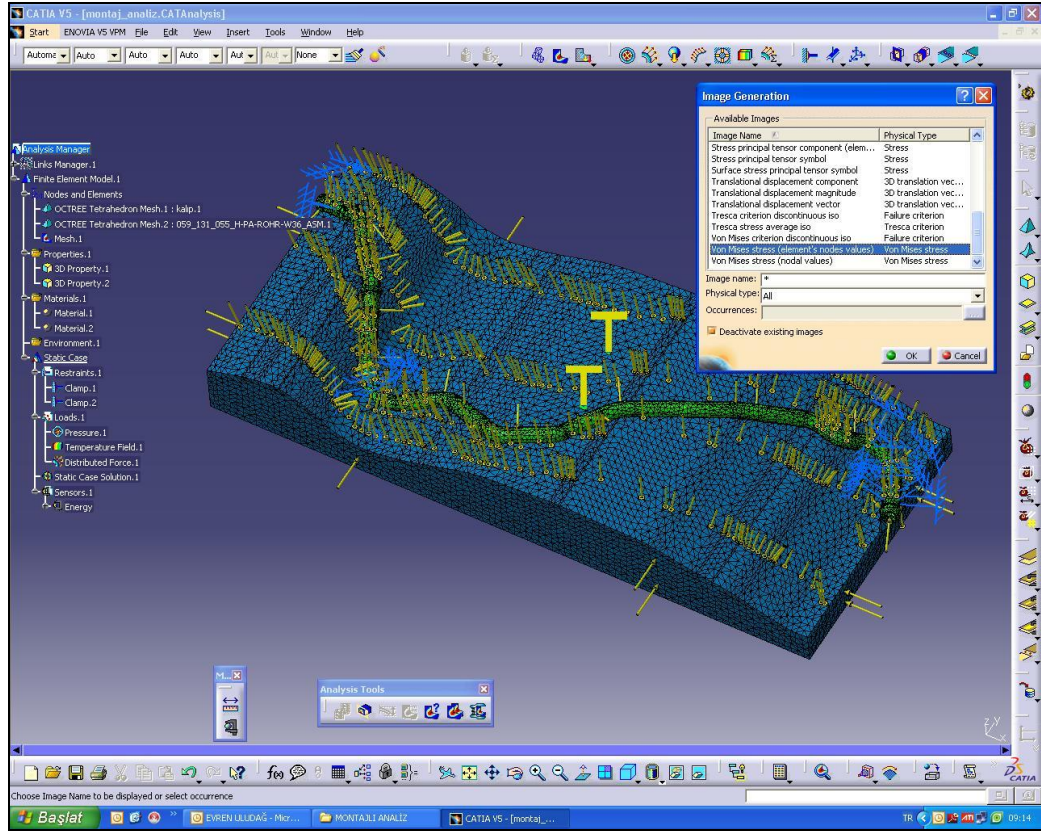
- e. Analizi başlatmadan önce parçanın “check” edilmesi (Şekil 6.15.),
- f. Analizin başlatılması (Şekil 6.16.),
- g. Sonuçların alınması ve raporların hazırlanması (Şekil 6.17.).



Şekil 6.15. Hazırlanan modelin analiz öncesi “check” edilmesi

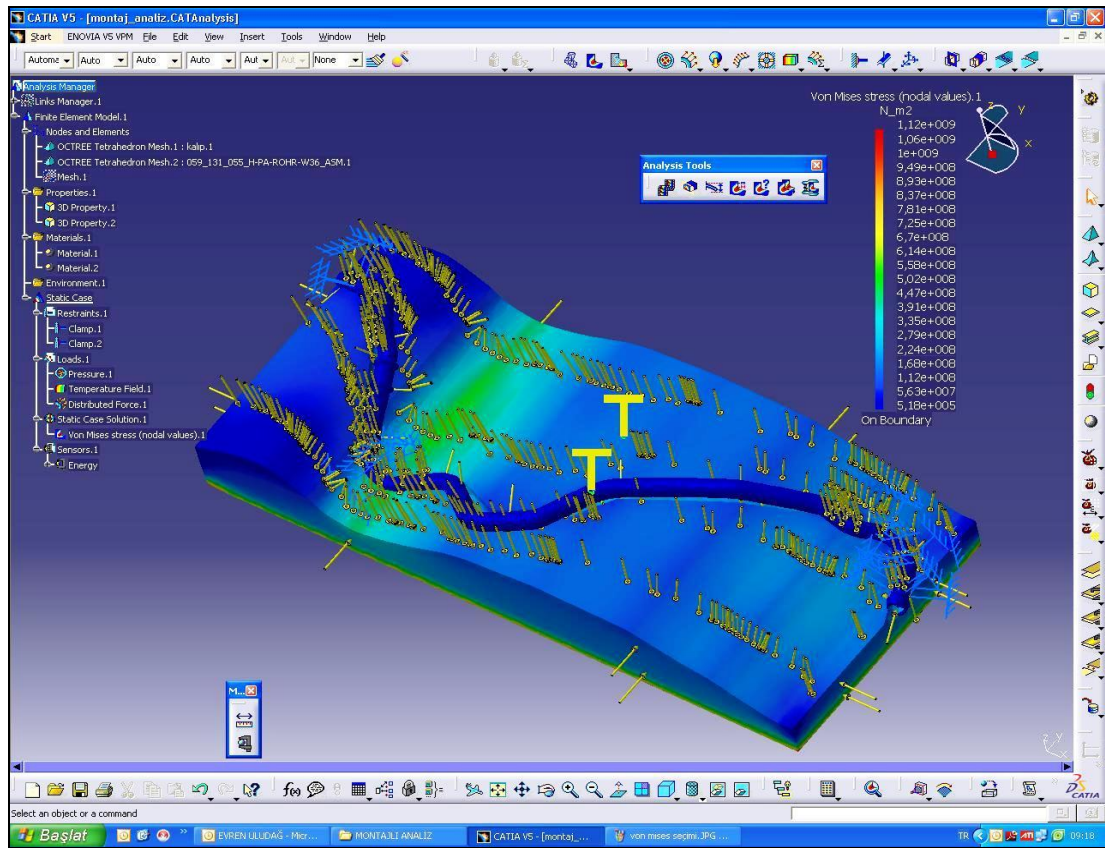


Şekil 6.16. Analizin başlatılması

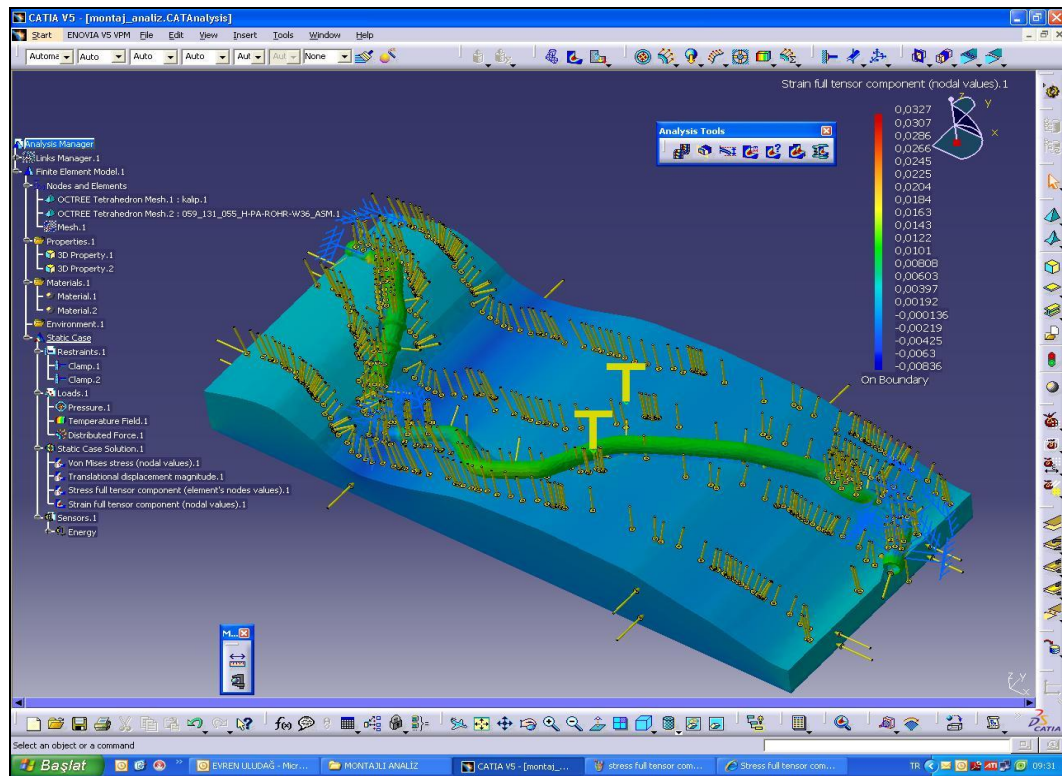


Şekil 6.17. Sonuçların alınması

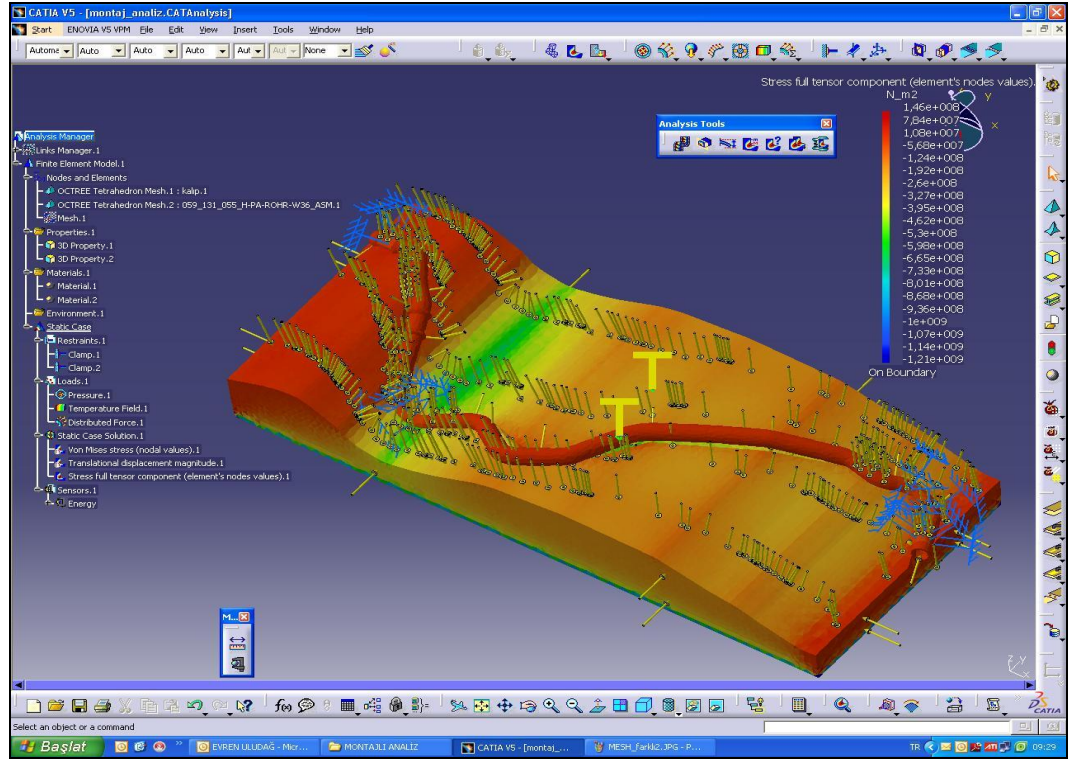
Bu analiz çalışmada Şekil 6.18-19-20-21’de verilen sonuçlar ve raporlar alınarak şekillendirme işlemine tabii tutulan PA 6.12 polyamid borudaki şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir.



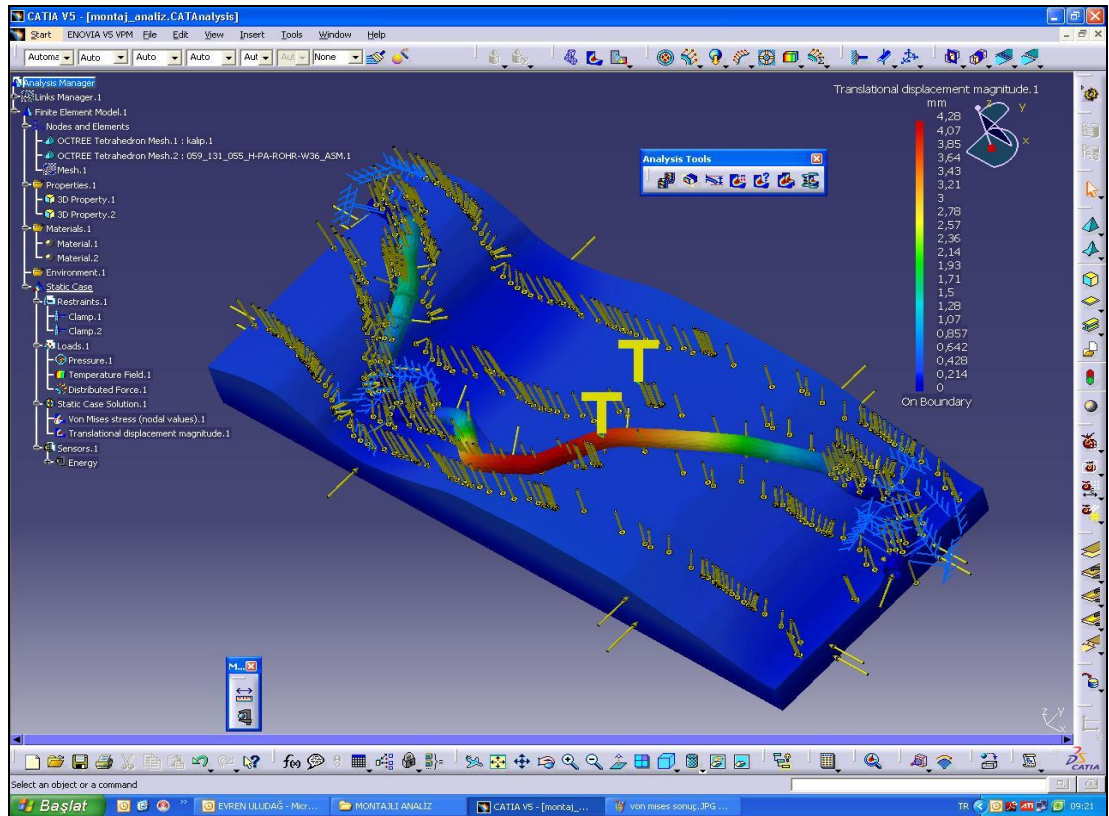
Şekil 6.18. Analiz sonuçları (Von-Mises)



Şekil 6.19. Analiz sonuçları (strain full tensor component)



Şekil 6.20. Analiz sonuçları (stress full tensor component)



Şekil 6.21. Analiz sonuçları (translational displacement magnitude)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polyamid boruların şekillendirilmesi sırasında karşılaşılan çekme probleminin sebepleri araştırılırken; elde edilen veriler, sebep sonuç diyagramında incelenmiştir. Bu çalışmada bir bütün olarak probleme direkt veya dolaylı yoldan etkisi olabilecek sebepler; tecrübeler ve elde olan teknik verilere göre sebep – sonuç diyagramında gösterilmiştir. Probleme sebep olarak gösterilen bu öngörüler daha sonra tek tek ele alınarak problemle ilişkileri incelenmiş ve en fazla etkisinin olduğu düşünülen sebepler üzerinde durulmuştur.

Yapılan araştırmalarda; tez çalışmasının yürütüldüğü firmada malzeme olarak ürün gamı gereğince en çok şekillendirme işlemlerine tabii tutulan ve şekillendirme sonrasında çekme problemi görülen PA 6.12 malzemesi üzerinde durulmuştur. Bu sebeple deneysel çalışmalarda diğer polyamid türlerine girilmemiştir.

Sebe – sonuç diyagramındaki veriler incelendiğinde; polyamid borunun kalıpta şekillendirilmesi sırasında karşılaşılan çekme problemine, polyamid borunun üretim aşamasındaki ekstrüzyon parametrelerinin, özellikle çekim hızının, sıcaklığının ve çekim sonrası soğutma işleminin etkileri olacağı kanısına varılmıştır. Çünkü ekstrüder çekim hızı yüksek olduğu takdirde boru malzemesinin bağ yapılarında gerilmeler söz konusu olacaktır. İkinci bir işlem olan basınç ve sıcaklık altında kalıplı şekillendirme sırasında malzemedeki gerilmeler azalacak ve malzeme kendisini toparlamaya başlayacaktır. Bu da kontrol edilemediği takdirde boruda çekmelere sebep olacaktır.

Çalışmaların yürütüldüğü firmada, polyamid boru çekim prosesi bulunmamakta ve şekillendirilmesi yapılan polyamid borular dış tedarikçiden sağlanmaktadır. Deneyler sırasında denemelerin yapıldığı numuneler tedarikçi tarafından aynı parti içerisinde gönderilen ürünlerden seçilmiştir.

Polyamid boruların şekillendirilmesi sırasındaki süreçler 5. Bölümde detaylı olarak ele alınmıştır. Şekillendirme basınç ve sıcaklık altında yapıldığı için çekme problemine en büyük etkinin malzeme yapısının olduğu düşünülmektedir. Çünkü

basınç ve sıcaklığın deneysel çalışmada kullanılan malzeme içerisindeki bağlara etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda şekillendirme sırasında boruda gerilmeler gözlemlenmektedir. Bunu daha iyi görebilmek ve malzemenin basınç ve sıcaklık altında davranışını gözlemlemek için bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmıştır.

Polyamid borunun şekillendirilmesinde karşılaşılan çekme problemine etkisi olacağı düşünülen diğer bir konu ise; boruya şekil verilecek form ve form vermede kullanılan kalıbın türüdür. Kullanılan kalıplar alüminyum malzemeden ve dolu kütükten boru formunda kanal açılarak işlenmiş kalıplardır. Dolayısı ile boru formunun gereği bazı kalıpların ebatlarının oldukça büyük olduğu gözlemlenmiştir. Otoklav sonrası yapılan şoklama işleminde, şekil verilmiş borunun soğutulması süresinin uzaması söz konusudur. Bu noktada bu tür uygulamalarda daha hafif ve ergonomik kalıp tasarımlarının yapılması öngörülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda şoklama prosesinin ikinci en önemli proses olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü deneylerden elde edilen sonuçlara göre şoklama yapılmamış ve ortam şartlarında soğumaya bırakılmış şekillendirilmiş polyamid boruda çekme miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile şoklama prosesi için kullanılan havuzlardaki suyun sıcaklığı, havuz içerisindeki kalıp miktarı ve havuzda bekleme süresi sürekli kontrol altında tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Kağıtçı Y., Bilgisayar Destekli Tasarlanmış Cam Takviyeli Polimer Kompozit Bir Parçada Akışa Bağlı Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi, Temmuz 2006
2. Baykara T. ve ark., Malzeme Teknolojileri Stratejisi, Ağustos 2004
3. İçduygu M., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Polimer Kimyası Ders Notları, 2008
4. Yaşar H., “Plastikler Dünyası”, MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, 2001,
5. Keskin,Ş., (1987), ”Plastik İşleme Teknikleri ve Kalite Kontrol , TMMOB, Kim. Müh. Odası, Plastikler ,139-145, (1996),
6. Aydın H., “PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri, Eskişehir, 2004
7. Britanica Ansiklopedisi, 1997
8. Türkiye Plastik Sektör Raporu 2004
9. <http://www.polimernedir.com/polimer-nedir-2/#polimernedir> , 2010
10. http://www.eurotec-ep.com/Literature/Eurotec_Literatur_Otomotiv_200811.pdf, 2010
11. <http://web.sakarya.edu.tr/~hyetgin/Ders%20notlari.htm>, 2010
12. <http://www.bilimselkonular.com/index.php/component/content/article/2152.pdf>, 2009
13. http://plastics.bayer.com/plastics/emea/en/product/makrolon/product_datasheets/docId-5896568/PCS-1164_e_-_Part_Identification_of_Thermo_for_Recycling_edition_2010.pdf, 2010
14. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/ex.ufleme.pdf>, 2010
15. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>, 2010
16. <http://www.epsan.com.tr/urunler>, 2009
17. <http://www.obus-target.com/plastik-hammaddeler/114-pa-poliamid.html>, 2009
18. <http://www.dogusplastiksanayi.com/index.php?pg=polyemid>, 2009
19. http://plastikteknolojisi.spaces.live.com/?_c11_BlogPart_BlogPart=blogview&_c=BlogPart&partqs=cat%3dPolimerler, 2010

20. <http://www.turk-cad.com/malzeme-ozellikleri/plastik-malzemeler/plastik-malzemelerin-cekme-paylary.html>, 2010
21. http://www.gultekin.com.tr/tek_polyamid.html, 2010
22. <http://www.polymerprocessing.com/polymers/PA612.html>, 2010
23. http://www.rtcchem.com/rtc/brochure_tr.pdf, 2010
24. DEGUSSA Vestamid Polyamid 6.12 Ürün Kataloğu, 2010
25. Sevecan F., Vaizoğlu S., Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı AD, Ankara, PET ve Geri Dönüşümü, 2007
26. Turaçlı H. , 2003, “Ekstrüzyon Teknolojisine Giriş” , PAGEV Yayınları, İstanbul, 2.Baskı, (7-83)
27. Tuğ S.,2004, “Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Genel Bakış” , T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çorlu Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Semineri
28. <http://www.friterm.com/getattachment/c9f3c789-53b2-4bc4-9aef-583d7692e5c1/Plastik-Endustrisinde-Sogutma-Sistemleri-ve-Uygula.aspx>, 2010
29. Hazer , B., KATÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Polimer Teknolojisi, 1993

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet YILMAZ, 1981 yılında Kütahya’da doğdu. Lise eğitimini Kütahya Lisesi’nde tamamladı. 2003 yılında Selçuk Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği ana bilim dalından mezun oldu. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında master eğitimine başladı. 2005 yılında özel bir firmada makine mühendisi olarak çalıştı. 2006 yılında doğalgaz ve inşaat sektörü alanında kendi iş yerini kurdu. 2007 yılında askerlik hizmetini yerine getirmek için master eğitime ve işine ara verdi. 2009 yılında Kıbrıs’da yedek subay olarak vatani görevini tamamlamış ve yüksek lisan eğitimine tekrar başlamıştır. 2009 yılında, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren KROS OTOMOTİV A.Ş. firmasında, mühendislik departmanında Ürün Ar-Ge ve Proje Sorumlusu olarak işe başlamış ve halen aynı firmada görevine devam etmektedir.

EK – 1 CATIA ANALİZ SONUÇ RAPORLARI

Von Mises stress (nodal values).1

Name: Static Case Solution.1

Restraint: Restraints.1

Load: Loads.1

Strain Energy : 3.588e+003 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	2.9351e-008	6.9222e-009	3.6273e-008	1.0818e-012
Fy (N)	3.3253e-008	-5.4415e-009	2.7812e-008	8.2947e-013
Fz (N)	-2.0000e+002	2.0000e+002	-6.7612e-007	2.0165e-011
Mx (Nxm)	-3.4546e+000	3.4546e+000	2.8586e-009	3.4980e-013
My (Nxm)	-8.1344e+000	8.1344e+000	-1.9563e-008	2.3939e-012
Mz (Nxm)	-1.4605e-009	3.4778e-009	2.0173e-009	2.4686e-013

Von Mises stress (nodal values).1

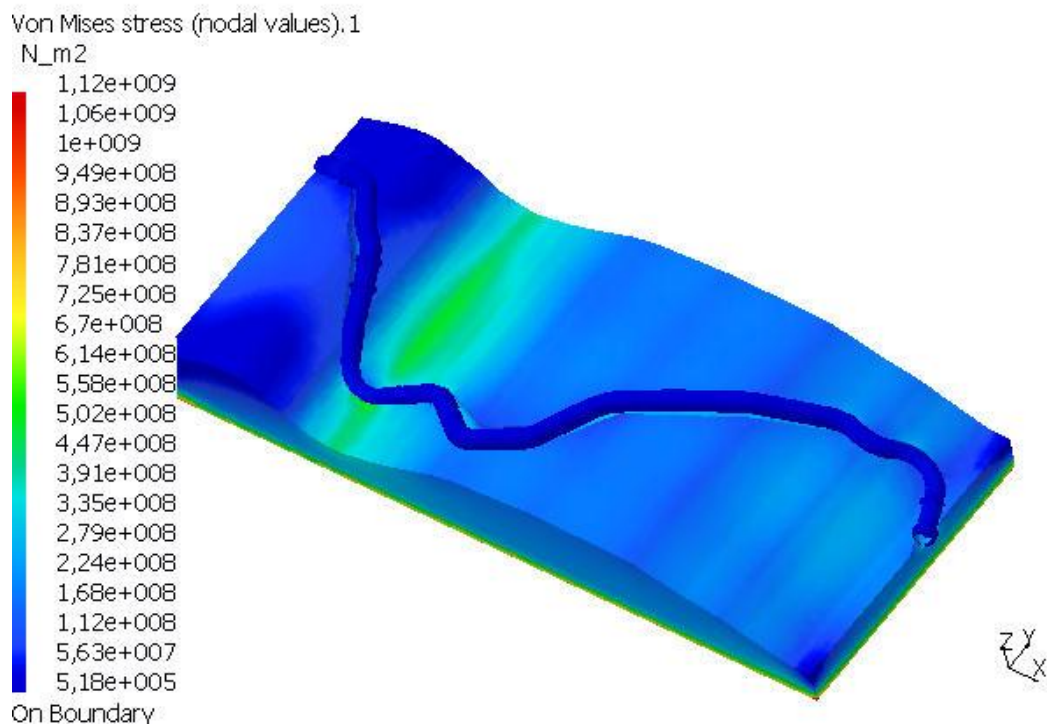


Figure 1

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Stress full tensor component (element's nodes values).1

Name: Static Case Solution.1

Restraint: Restraints.1

Load: Loads.1

Strain Energy : 3.588e+003 J

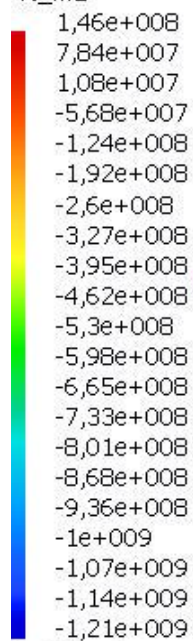
Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	2.9351e-008	6.9222e-009	3.6273e-008	1.0818e-012
Fy (N)	3.3253e-008	-5.4415e-009	2.7812e-008	8.2947e-013
Fz (N)	-2.0000e+002	2.0000e+002	-6.7612e-007	2.0165e-011
Mx (Nxm)	-3.4546e+000	3.4546e+000	2.8586e-009	3.4980e-013
My (Nxm)	-8.1344e+000	8.1344e+000	-1.9563e-008	2.3939e-012
Mz (Nxm)	-1.4605e-009	3.4778e-009	2.0173e-009	2.4686e-013

Stress full tensor component (element's nodes values).1

Stress full tensor component (element's nodes values).1

N_m2



On Boundary

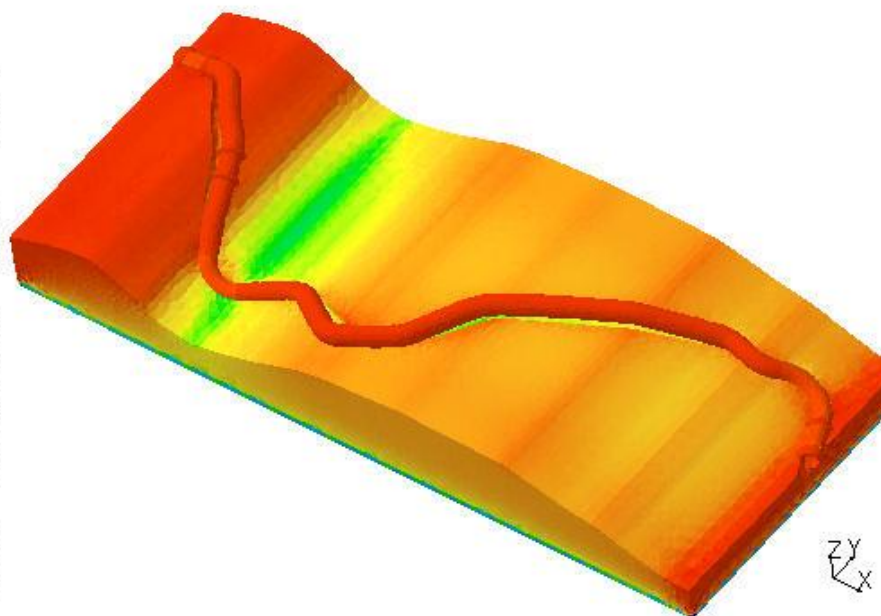


Figure 1

3D elements: : Components: : C11

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Strain full tensor component (nodal values).1

Name: Static Case Solution.1

Restraint: Restraints.1

Load: Loads.1

Strain Energy : 3.588e+003 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	2.9351e-008	6.9222e-009	3.6273e-008	1.0818e-012
Fy (N)	3.3253e-008	-5.4415e-009	2.7812e-008	8.2947e-013
Fz (N)	-2.0000e+002	2.0000e+002	-6.7612e-007	2.0165e-011
Mx (Nxm)	-3.4546e+000	3.4546e+000	2.8586e-009	3.4980e-013
My (Nxm)	-8.1344e+000	8.1344e+000	-1.9563e-008	2.3939e-012
Mz (Nxm)	-1.4605e-009	3.4778e-009	2.0173e-009	2.4686e-013

Strain full tensor component (nodal values).1

Strain full tensor component (nodal values).1

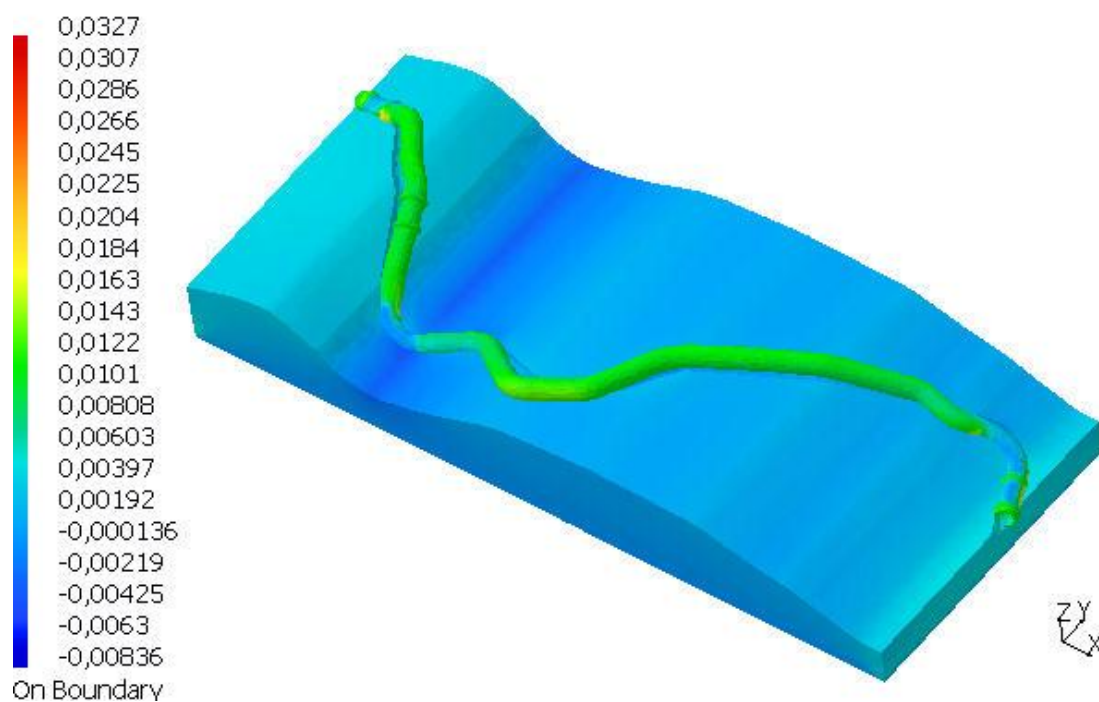


Figure 1

3D elements: : Components: : C11

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

Translational displacement magnitude.1

Name: Static Case Solution.1

Restraint: Restraints.1

Load: Loads.1

Strain Energy : 3.588e+003 J

Equilibrium

Components	Applied Forces	Reactions	Residual	Relative Magnitude Error
Fx (N)	2.9351e-008	6.9222e-009	3.6273e-008	1.0818e-012
Fy (N)	3.3253e-008	-5.4415e-009	2.7812e-008	8.2947e-013
Fz (N)	-2.0000e+002	2.0000e+002	-6.7612e-007	2.0165e-011
Mx (Nxm)	-3.4546e+000	3.4546e+000	2.8586e-009	3.4980e-013
My (Nxm)	-8.1344e+000	8.1344e+000	-1.9563e-008	2.3939e-012
Mz (Nxm)	-1.4605e-009	3.4778e-009	2.0173e-009	2.4686e-013

Translational displacement magnitude.1

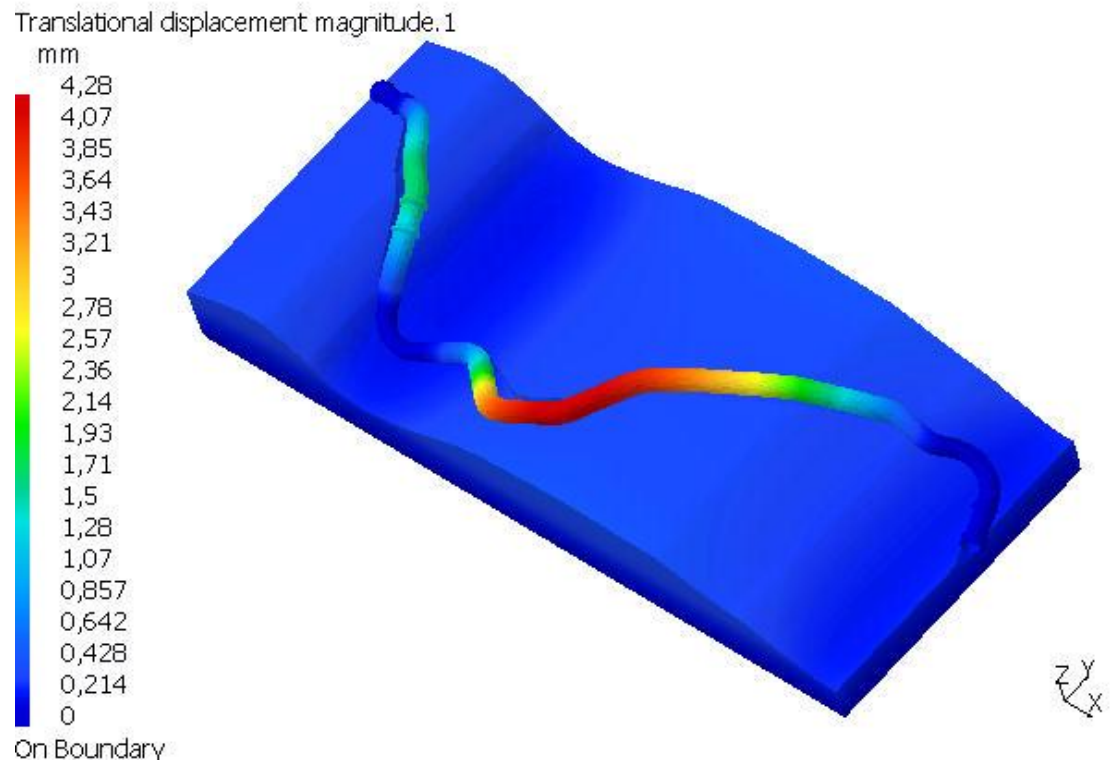


Figure 1

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model