T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK BASINCA DAYANIKLI KATMANLI POLİMER BORU VE EKLEME PARÇALARININ ENJEKSİYONDA ÜRETİMİ VE GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan DEMİRCAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet DEMİRER

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK BASINCA DAYANIKLI KATMANLI POLİMER BORU VE EKLEME PARÇALARININ ENJEKSİYONDA ÜRETİMİ VE GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan DEMİRCAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı:Doç.Dr. Ahmet DEMİRER	Başarılı
Üye:Doç.Dr. Akın Oğuz KAPTI	Başarılı
Üye:Dr.Hüseyin KAHRAMAN	Başarılı

BEYAN

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

Erkan DEMİRCAN

05/12/2020

TEŞEKKÜR

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

İÇİNDEKİLER

BEYAN ..... **i**
TEŞEKKÜR ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **v**
SİMGELER ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**

BÖLÜM 1.
GİRİŞ **1**
1.1. Polimerler 3
1.1.1.Polimer çeşitleri 5
1.1.1.1. Termoplastikler 5
1.1.1.2. Termosetler 9
1.1.1.3. Elastomerler 11
1.2. Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri 13
1.2.1. Enjeksiyon yöntemi 13
1.2.2. Ekstrüzyon yöntemi 17
1.2.3. Kalenderleme (merdaneleme-haddeleme) yöntemi 19

BÖLÜM 2.
YÜKSEK BASINCA DAYANIKLI BORU VE EKLEME PARÇASI ÜRETİMİ **21**
2.1. Termoplastikler ve Polietilen 21
2.2. Polietilen Zincirlerinin Yönlendirilmesi ve Ultra HDPE 23

BÖLÜM 3.
DENEYSEL ÇALIŞMA **27**
3.1. Malzeme 28
3.2. Yöntem 28
3.2.1. Enjeksiyonda alt katmanın basılması 29

3.2.2. Ekstrüzyonda kalın flamentin üretimi ve fiberin çekilmesi 30
3.2.2.1. Polietilen zincirlerinin yönlendirilmesi..... 32
3.2.2.2. Fiberin sarılması işlemi..... 34
3.1.3. Enjeksiyonda üst katmanın basılması 35

BÖLÜM 4.
SONUÇLAR 37
4.1. Yönlendirilen fiberlerin çekme deney sonuçları 37
4.2. Basınç Test Sonuçları..... 42
4.3. Test basıncı hesabı 44
4.4. Boru parçası test sonuçları 46
4.4.1. Direk EnjeksiyonTest Numunesi 46
4.4.2. 80°C Fiber Döşeli Test Numunesi 47
4.4.3. 90°C Fiber Döşeli Test Numunesi 47
4.5. Fiber Yönlendirme İkinci Aşama Çalışması 48

BÖLÜM 5.
TARTIŞMA VE ÖNERİLER 54

KAYNAKLAR 55

ÖZGEÇMİŞ..... 57

KISALTMALAR

UV	: Morötesi
PE	: Polietilen
PVC	: Poli Vinil Klorür
EP	: Epoksi
MFI	: Erime Akış İndeksi
PE100	: Polietilen 100
SDR	: Et Kalınlığının Çapa oranı
UP	: Doymamış polyester
PF	: Fenolikler
EPS	: Genişletilmiş Polyester Köpük
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Sayısal Kontrollü Bilgisayar
UHMWPE	: Ultra Yüksek Yoğunluklu Polieteilen
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
MW	: Moleküler Ağırlık
LDPE	**:** Düşük Yoğunluklu Politilen

SİMGELER

E	: Elastisite Modülü (MPa)
P	:Test basıncı (bar)
τ	: Çevresel gerilme (MPa)
e_{min}	: Ölçülen minumum et kalınlığı (mm)
d_{em}	:Ölçülen dış çap (mm)
e_n	:Nominal et kalınlığı (mm)
d_n	:Nominal dış çap (mm)
e_n	: Nominal et kalınlığı (mm)
d_n	: Nominal dış çap (mm)
Te	: Erime Noktası (°C)
Tg	: Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. BorSafe HE3490-IM PE100 Fiziksel ve mekanik özellikleri tablosu. 28
Tablo 3.2. Ekstrüzyon proses şartları. 31
Tablo 3.3. Çekme Test Cihazının Teknik Özellikleri. 33
Tablo 3.4. Fiber yönlendirme ölçü değişim tablosu 34
Tablo 3.5. Enjeksiyon Proses Şartları 36
Tablo 4.1. Fiberlerin elastisite modül tablosu 41
Tablo 4.2. Fiberlerin yoğunluk ölçüm tablosu 41
Tablo 4.3. Fiberlerin MFI ölçüm tablosu. 42
Tablo 4.4. TS EN 12201 standardı et kalınlığı basınç ilişkisi tablosu 43
Tablo 4.5. 20°C de hidrostatik basınç deneyi tablosu. 43
Tablo 4.6. İkinci aşama fiber yönlendirmede uygulanan proses şartları 48
Tablo 4.7. Enjeksiyon proses değerleri tablosu. 50
Tablo 4.8. Hidrostatik Basınç Testi Sonuç Tablosu. 52

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Obruk Barajı çıkış bağlantı boruları. **1**
Şekil 1.2. Fırat Pex Boru. **2**
Şekil 1.3. Egeplast yüksek basınca dayanıklı boru. **3**
Şekil 1.4. Polimer Yapısı. **4**
Şekil 1.5. Polimer zincirlerinin elektron mikroskobunda görünüşü **4**
Şekil 1.6. Polimer zincirleri **5**
Şekil 1.7. Polimerlerin kullanım amacına göre sınıflandırılması..... **5**
Şekil 1.8. Amorf yarı-kristal ve tam kristal maddelerin sıcaklıkla özgül hacimlerinin değişimi. **6**
Şekil 1.9. Polimer bağ çeşitleri. **7**
Şekil 1.10. Yarı Kristal Polimer Malzemelerin Çok Ölçekli Modellenmesi **7**
Şekil 1.11. Polimer zincirlerinde bükülmeler **8**
Şekil 1.12. Polimerlerin moleküler yapısı..... **8**
Şekil 1.13. Boing Dreamliner 737..... **9**
Şekil 1.14. Otomotivde kullanılan termosetler. **10**
Şekil 1.15. Termoplastik termoset arasındaki yapı farkı. **10**
Şekil 1.16. Termoplastik termoset arasındaki dayanım farkı..... **11**
Şekil 1.17. Elastomerlerin, termoset ve termosplastikelerden farkı..... **12**
Şekil 1.18. Elastomerlerin örnekleri..... **12**
Şekil 1.19 Plastik enjeksiyon proses şeması **13**
Şekil 1.20 Plastik enjeksiyon mengene ünitesi şeması **14**
Şekil 1.21. Enjeksiyon ünitesi çalışma şeması..... **15**
Şekil 1.22. Plastik enjeksiyon kalıbı açılması ve ürünün çıkması **16**
Şekil 1.23. Plastik enjeksiyon yöntemi ile elde edilmiş ürün örnekleri..... **17**
Şekil 1.24. Ekstrüzyon makinası. **18**
Şekil 1.25. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ürünler **18**
Şekil 1.26. Ekstrüder çalışma şeması..... **19**
Şekil1.27. Haddeleme yöntemi ile plastik film üretim şeması. **20**
Şekil 2.1 Polietilenin Polimer yapısı. **22**
Şekil 2.2. Polietilen Polimer zincirlerinin elektron mikroskobunda görünüşü **22**
Şekil 2.3. Çekme kuvvetinin zincir yapısına etkisi..... **23**
Şekil 2.4. HDPE ve PE'nin makromoleküler oryantasyonu **24**
Şekil 2.5. UHDPE liflerinden elde edilen ürünlerin kullanım alanları **26**
Şekil 3.1. Boru çeperlerine iç basıncın uyguladığı kuvvetler **27**
Şekil 3.2. Ürünün şematik görünüşü **29**
Şekil 3.3. Solidworks programında tasarlanmış PET ürün. **29**
Şekil 3.4. Plastik enjeksiyonda elde edilmiş PET ürün..... **30**
Şekil 3.5. Ekstrüzyon prosesi. **30**
Şekil 3.6. Ekstrüzyon prosesi ile elde edilen HDPE fiber..... **31**

Şekil 3.7. Fiber yönlendirme sistemi tasarımı. **32**
Şekil 3.8. Fiber yönlendirme sistemi … **32**
Şekil 3.9. Fiber resimleri. **34**
Şekil 3.10. Fiber sarım işlemi. **35**
Şekil 3.11. Elde edilen nihai ürünün kesidi alınmış şekli **35**
Şekil 4.1. Polietilen zincirlerinin yönlendirilmesi ile elde edilen katmanlı boru ekleme parçası şeması **37**
Şekil 4.2. Ekstrüderden çıkan normal fiber gerilme grafiği **38**
Şekil 4.3. 60°C de yönlendirilmiş fiber gerilme grafiği **38**
Şekil 4.4. 70°C de yönlendirilmiş fiber gerilme grafiği **39**
Şekil 4.5. 80°C de yönlendirilmiş fiber gerilme grafiği. **39**
Şekil 4.6. 90°C de yönlendirilmiş fiber gerilme grafiği **40**
Şekil 4.7. 100°C de yönlendirilmiş fiber gerilme grafiği **40**
Şekil 4.8. Test edilecek numunenin açık uçlarının kapama bağlantısı **45**
Şekil 4.9. Basınç Testi için hazırlanmış numune **46**
Şekil 4.10. Direk enjeksiyon numunesinin test sonucundaki hali **46**
Şekil 4.11. 80°C fiberli numunenin test sonucundaki hali. **47**
Şekil 4.12. 90°C fiberli numunenin test sonucundaki hali **47**
Şekil 4.13. Fiber yönlendirme şeması ikinci aşaması **48**
Şekil 4.14. Yönlendirilen fiber gerilme uzama grafiği **49**
Şekil 4.15. Hava tabancası ile ısıtma işlemi **49**
Şekil 4.16. Fiber sarma işlemi **50**
Şekil 4.17. Enjeksiyonda elde edilmiş boru numunesi **51**
Şekil 4.18. 25 bar testini geçen numunenin resmi **51**

YÜKSEK BASINCA DAYANIKLI KATMANLI POLİMER BORU VE EKLEME PARÇALARININ ENJEKSİYONDA ÜRETİMİ VE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Şehir içi içme suyu ve doğalgaz iletiminde polietilen boru hatları son 40 yıldan beri asbestli ve çelik borular yerine kullanılmaktadır. HDPE borular hijyen ve korozyon dayanımı sebebi ile tercih edilir. Ancak şehirlerarası ve ülkeler arası içme suyu ve doğalgaz bağlantı hatları hala çelik borularla imal edilmektedir. Polietilen boru hatları yüksek basınç için uygun değildir. Mevcut polimer malzemeler ile daha yüksek basınç, sıcaklık ve korozyon gibi özelliklerinin yükseltilmesi için yeni üretim teknikleri geliştirilmektedir. Kompozit malzemelerden yapılmış borular , katmanlı şekilde imal edilmiş borular bu çalışmalara örnek verilebilir.

Polietilen polimer zincirleri uzunluğu ve kristalleşme oranı fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Enjeksiyon ve ekstrüzyonda üretilen normal bir polietilende moleküller yönlendirilmemiştir. Moleküllerin birbirlerinden ayrılmaları çok kolaydır. Ultra HDPE malzemelerde polietilen zincirleri lif yönünde düz, yönlendirilmiş ve kristalize edilmiştir. Ayrıca yük transferinde yeterli etkileşime sahip olabilmesi için moleküler zincirler uzundur. Erimiş termoplastiğin soğuma hızı kristal yapı oluşumunda etkilidir. Soğuma esnasında uygulanan çekme ve basma kuvvetleri malzeme dayanımı etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında üç farklı üretim yöntemi (enjeksiyon, ekstrüzyon, kalın fiber çekimi-yönlendirme) bir arada kullanılmıştır. Aynı et kalınlığında HDPE boru numunesi daha yüksek basınç sınıfına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Boru numunesi üç katmandan oluşmakta olup her katman farklı fiziksel özelliklere sahip aynı tür HDPE malzemeden oluşmaktadır. Geliştirilen boru numunesi standart ürün ile aynı ölçü, fiziksel görünüş ve kimyasal yapıda olmasına rağmen %56 daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Standarda uygun olarak 16 bar işletme basıncında çalışan HDPE malzeme, gerçekleştirilen katmanlı üretim tekniğinden sonra 25 bar basınca dayanabildiği tespit edilmiştir. Bu çalışma aynı polimer malzemeyi farklı tekniklerin bir arada kullanılması ile et kalınlığını arttırmadan ve farklı bir katkı malzemesi de kullanmadan yüksek basınca dayanıklı boru ve ekleme parçaları üretilebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: HDPE, Polimer yönlendirilmesi, Katmanlı boru üretimi.

MANUFACTURING AND DEVELOPMENT OF HIGH PRESSURE RESISTANT LAYERED POLYMER PIPES AND FITTINGS IN INJECTION MOLDING

SUMMARY

Polyethylene pipelines have been used instead of asbestos and steel pipes for the last 40 years in urban drinking water and natural gas transmission. Hygiene and corrosion resistance properties of HDPE pipes are preferred. However, intercity and international drinking water and natural gas connection lines are still manufactured with steel pipes. Polyethylene pipelines are not suitable for high pressure.

With the existing polymer materials, new production techniques are being developed to increase their properties such as higher pressure, temperature and corrosion. Pipes made of composite materials, pipes manufactured with layers can be given as examples of these studies. HDPE, which is used in drinking water and natural gas lines, is a world-accepted thermoplastic used for years. It has standards that have been created as a result of years of experimentation, testing and experience. Composite additives cannot be added to the original raw material in order to increase the strength in the pipes and fittings used in this field, as required by the standards and the process. While drinking water processes do not allow this in terms of health, natural gas processes pose a safety risk due to the sulfur contained in the gas.

The physical properties of materials are closely related to their atomic configurations. Carbon atoms, for example, form graffiti, a very soft material with a hexagonal lattice structure. The same carbon atoms form the diamond, the hardest material in the world, with its cubic lattice structure. In thermoplastics, this structure is carbon chain structures. Polyethylene polymer chains length and crystallization rate determine the physical properties of thermoplastic. In normal polyethylene, the molecules are not oriented. Molecules are very easy to separate from each other. In

ultra HDPE materials, polyethylene chains are straight, oriented and crystallized in the fiber direction. In addition, molecular chains are long in order to have sufficient interaction in charge transfer. The cooling rate of molten thermoplastic is effective in crystal structure formation. Tensile and compression forces applied during cooling affect material strength.

In this thesis, three different production methods (injection, extrusion, thick fiber drawing-orientation) were used together. The same wall thickness HDPE pipe sample has been developed to withstand the higher pressure class. The pipe sample consists of three layers and each layer consists of the same type of HDPE material with different physical properties. Although the developed pipe sample has the same size, physical appearance and chemical structure as the standard product, it has 56% higher compressive strength. HDPE material, which operates at 16 bar operating pressure in accordance with the standard, has been determined to withstand 25 bar pressure after the layered production technique. This study shows that by using the same polymer material together with different techniques, high pressure resistant pipes and fittings can be produced without increasing the wall thickness and using a different additive.

Keywords: HDPE, orientation of polymer chains, additive manufacturing

1.GİRİŞ

İçme suyu ve doğalgaz hatlarında şehir içi şebekelerde polietilen boru hatları son 40 yıldan beri asbestli ve çelik borular yerine kullanılmaktadır. Polietilen hatlar, uzun ömrü, korozyon dayanımı, hijyenik olması, deprem ve yer hareketlerine daha yüksek dayanımın yanında, üretim, maliyet ve uygulama kolaylığı sebebi ile çok yaygınlaşmıştır. Ancak yüksek basınç gerektiren baraj ve ana hatları, şehirlerarası ve ülkeler arası içme suyu ve doğalgaz bağlantı hatları hala çelik borularla imal edilmektedir.



Şekil 1. 1. Obruk Barajı çıkış bağlantı boruları (Timoçin, 2012)

Polietilen boru hatları yüksek basınç için uygun değildir. Bu konuda malzeme geliştirme çalışmaları yapılmış PE63, PE80 ve en son olarak PE100 malzemeler geliştirilmiştir. Ancak pek çok avantajına rağmen polietilen borular basınç dayanımı yönünden çelik boru dayanımını sağlamamaktadır. Çelik boru hatlarına alternatif olacak dayanım için malzeme geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Bunun yanında mevcut malzemeler ile daha yüksek basınç dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon dayanımı gibi özelliklerinin yükseltilmesi için yeni üretim teknikleri geliştirilmektedir. Kompozit malzemelerden yapılmış boru ve ek parçaları, katmanlı şekilde imal edilmiş boru ve ek parçaları bu çalışmalara örnek teşkil etmektedir.

Ülkemizin en büyük boru üreticisi Fırat Plastik firmasının ürettiği PE-Xb (Çapraz bağlı polietilen) borular daha yüksek sıcaklık ve daha yüksek basınç dayanımı için geliştirilmiştir. (fıratpex 2016). İç mekan ısıtma sistemlerinde kullanılan çapraz bağlı polietilen malzemelerin saha uygulaması zordur. Aynı zamanda geri dönüşümü problemlidir.



Şekil 1.2. Fırat Pex boru

Alman Egeplast firması uygulama alanlarına göre patent ile de koruma altına aldığı değişik özelliklerde katmanlı borular geliştirmiştir. Hexel One adı altında ürettiği katmanlı olarak ürettiği PE100 borular standart olarak 16 barda kullanılan borularla aynı et kalınlığında (SDR11) olmasına karşın 25 bar işletme basıncında kullanılabilmektedir. (egeplast 2016) Bu boru üretiminde kullandığı film üretim tekniğini ve katmanlı boru

üretim tekniğini Avrupa patent ofisinden EP 1 752 276 A1 ve DE 10 2013 105 202 A1 patent numaraları ile koruma altına almıştır. Bu ürün %100 geri dönüştürebilir özelliktedir.



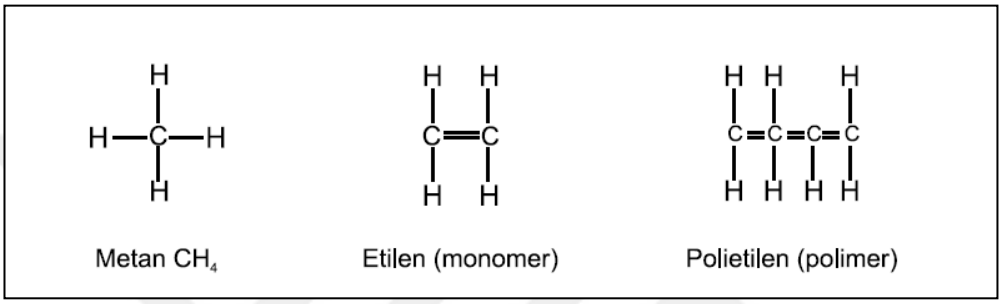
Şekil 1.3. Egeplast yüksek basınca dayanıklı boru

PE100 boru ve ek parçaları malzeme özellikleri, ölçüleri, et kalınlığı, bu et kalınlığındaki kullanılabilecek basınçlar ve ömürleri, EN 12201 ve EN 1555 standartları ile belirlenmiştir. Bu standartlar dünyada kabul görmüş ve geniş uygulama alanı bulmuştur. Standartlar hijyen ve uygulama güvenliği açısından ürün içine özelliklerini iyileştirmek için katkı ilavesine izin vermemektedir. Bu projede Aynı malzemenin özellikleri iyileştirilerek katmanlı olarak ürünün üretilmesi sırasında kullanılmıştır.

1.1.Polimerler

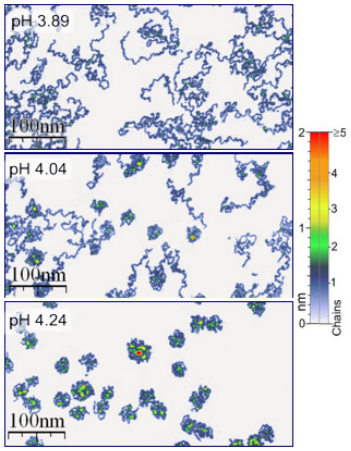
Polimer; poli = çok ve mer= kısım olmak üzere Latincedir. Polimerik madde içinde tekrar eden en küçük molekül monomerdir. Polimerin karakteristik özelliklerini monomerin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirler. İki monomerin kimyasal bağ ile

birleşmesi sonucu dimer oluşur. Üç tanesinin birleşmesi ile oluşana trimer, dört tanesinin birleşmesiyle oluşana tetramer denir. Polimer ise birleşme 100'ün üzerinde gerçekleşirse oluşan maddeye denir. Polimerizasyon çok sayıda aynı veya farklı monomerin bir kimyasal işlemle birbirleriyle birleşerek uzun zincirler (makromoleküller) oluşturmasına denir. Başka bir deyişle küçük moleküllerden büyüklerini oluşturma işlemine polimerizasyon adı verilir. Metan polimeri oluşturan en basit bileşiklerdendir.

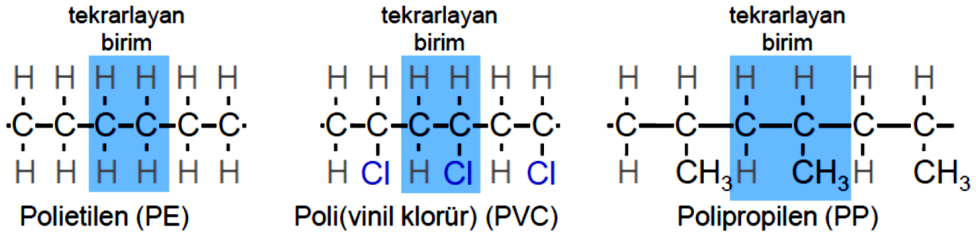


Şekil 1.4. Polimer Yapısı

Polimerizasyon sonucu polimer zincirleri oluşmaktadır. Bu zincirler molekül olduğundan birkaç atom kalınlığında olmalarına rağmen binlerce atom boyunda olabilmektedir. Resimde gözlenen Polietilen polimer zinciri kalınlığı 0,4nm boyu ise 200 nm civarındadır.



Şekil 1.5. Polimer zincirlerinin elektron mikroskobunda görünüşü (Roiter ve Minko, 2005)



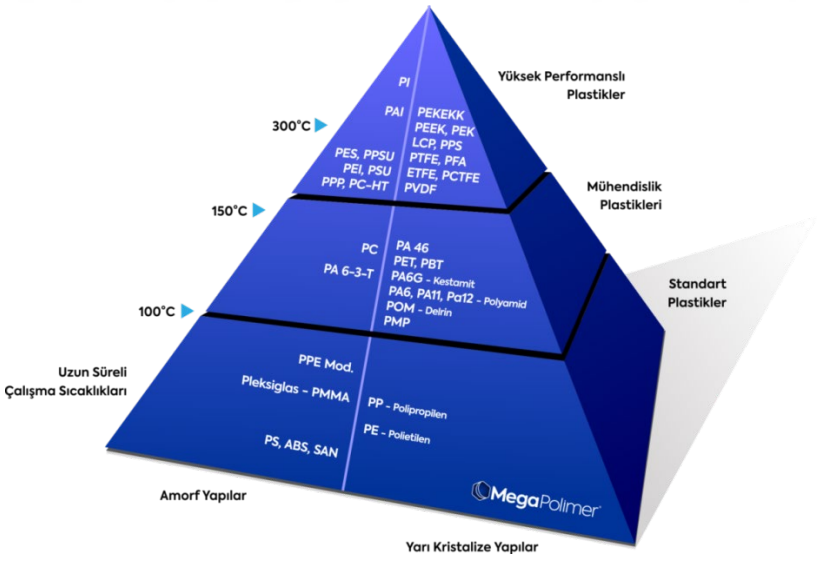
Şekil 1.6. Polimer zincirleri (Callister ve Rethwisch, 2011)

1.1.1.Polimer Çeşitleri

Polimerler iki ana başlık altında değerlendirilebilir. Doğal yollarla kendi kendine oluşmuş polimerler doğal polimerler denir. İnsan eliyle oluşturulan polimerlere sentetik polimer denir. Günlük hayatta kullandığımız polimerleri ise üç başlıkta inceleyebiliriz;

1.1.1.1.Termoplastikler

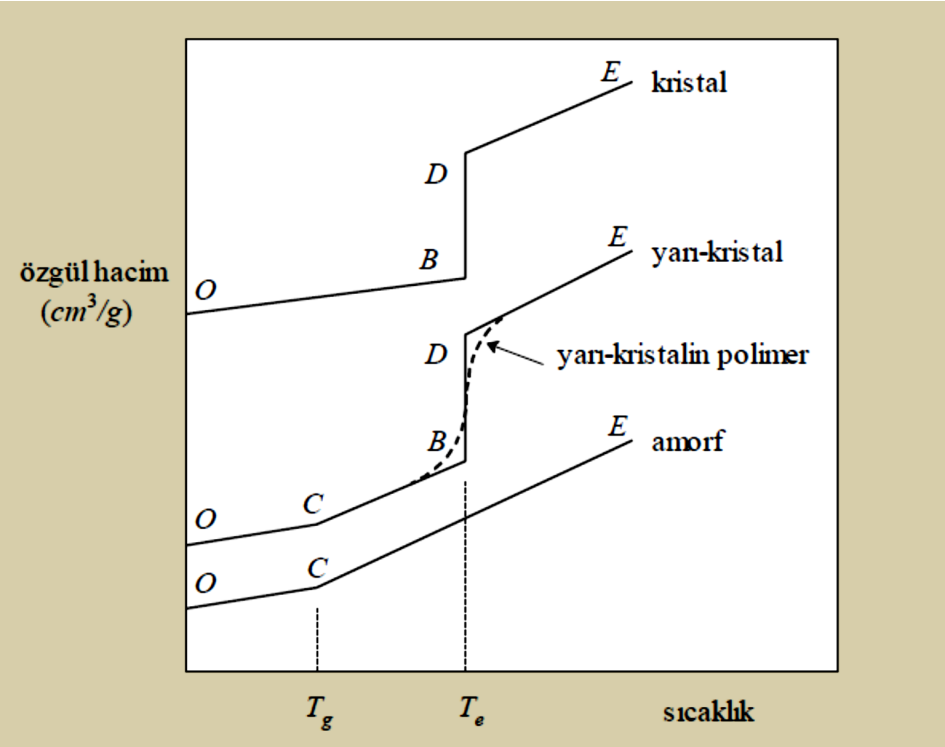
Genel olarak plastik adıyla anılır. Termoplastikler, sıcaklıkları yükseltildiğinde eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir. Bu polimer türünde polimerler genel olarak kristal, amorf veya yarıkristal halde bulunurlar.



Şekil 1.7. Polimerlerin kullanım amacına göre sınıflandırılması (Mühendislik Plastikleri. P1)

Yarı-kristal yapının içindeki kristalleşen zincirler erime noktası (Te) ile tanımlanır. Amorf termoplastikler, ya da termoplastiklerin amorf kısımları ise camsı

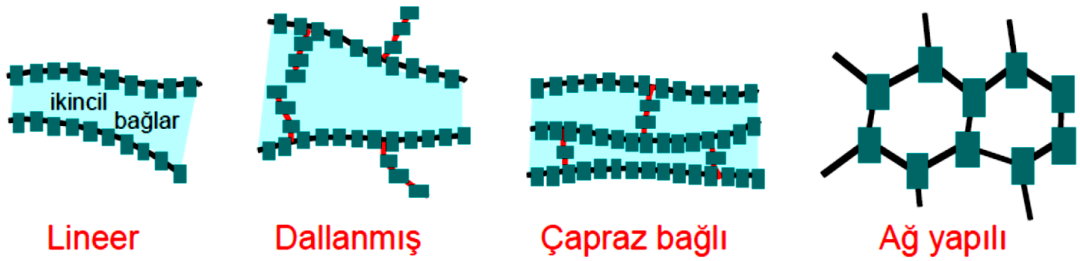
geçiş sıcaklığı (Tg), sert davranıştan yumuşak davranışa geçiş sıcaklığı ile tanımlanırlar. Sıcaklık erime noktasının üzerine çıktığında, polimerdeki kristal yapının hepsi erir ve sadece amorf yapı kalır. Termoplastikler her iki tip yapıyı gösterebilir. Ancak birçok termoplastik polimer kristalleşemez. Yalnızca amorf yapıya sahiptir.



Şekil 1.8. Amorf yarı-kristal ve tam kristal maddelerin sıcaklıkla özgül hacimlerinin değişimi (Saçak, 2018)

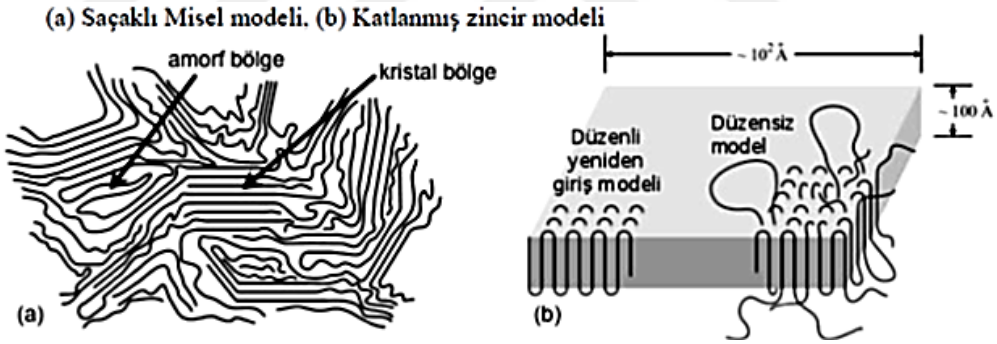
Camsı geçiş sıcaklığı her termoplastik polimerde kendine özgüdür. Kristal yapıya sahip bir termoplastik, erime sıcaklığı aralığı(Tg) geniştir. Tek bir molekül ağırlığında bulunmayan polimerler, küçük moleküllerin tersine, , tek bir sıcaklıkta erimezler. Genellikle, geniş bir erime eğrisine sahiptir.

Termoplastik polimerlerin zincirleri doğrusal ya da dallanmış yapıda bulunurlar. Polimer zincirleri arasında çapraz bağ görülmez. Mor-ötesi (UV) gibi dış etkenlerin verdiği enerji sonucu zincirler arası çapraz bağlanma bazen oluşabilir. (ör. polietilen), Böyle bir durumda fiziksel değişime uğrayan polimer artık termoplastik değildir. Çünkü termoplastik polimer, tanımında, sıcaklıkla eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen bir polimerdir. Polimerin içinde oluşan çapraz kovalent bağlar varsa, termosetlerde olduğu gibi, polimerlerin erimesini engel olur.



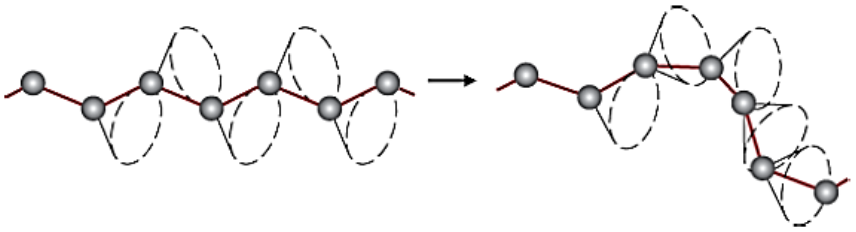
Şekil 1.9. Polimer bağ çeşitleri (Callister ve Rethwisch, 2011)

Termoplastik polimerlerde polimer zincirleri kendi içinde kuvvetli kovalent bağlarla bağlıdır. Kovalent bağlar yüksek enerjili (60 – 625 kJ/mol) bağlardır. Termoplastik polimer zincirlerini bir arada tutan bağlar, ikincil bağlar olarak adlandırabileceğimiz Van Der Wals bağlarıdır (4-80 kj/mol). Polar etkileşimler, Hidrojen-bağları, London kuvvetleri ve zincir grupların üst-üste istiflenmesi gibi zincir-içi ve zincirler-arası etkileşimler vardır. Bu kuvvetler kovalent bağlara göre oldukça zayıftır



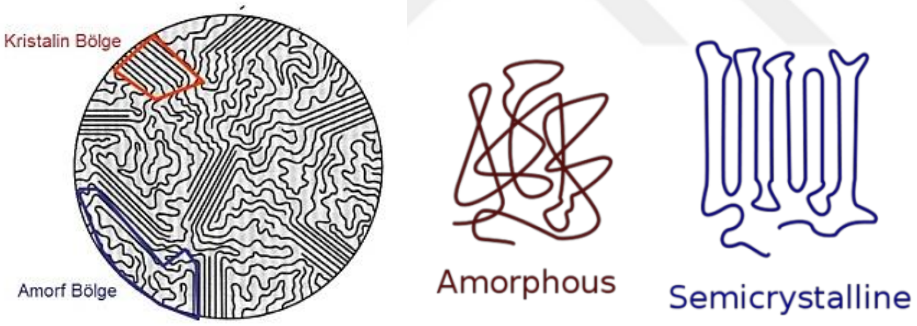
Şekil 1.10. Yarı Kristal Polimer Malzemelerin Çok Ölçekli Modellenmesi (Oktay ve Gürses, 2013)

Bunların yanında, termoplastik polimer zincirlerini bir arada tutan zincir içi ve zincirler arası dolaşmalar (entanglement) bükülmeler vardır. Termoplastik polimerlerin fiziksel özelliklerinde bu zincir dolaşımları ve bükülmelerin, büyük etkisi vardır.



Şekil 1.11. Polimer zincirlerinde bükülmeleri (Callister ve Rethwisch, 2011)

Amorf polimerler iyi uzama, tokluk ve darbe dayanımı gösterirler Amorf polimerler artan sıcaklıkla doğrusal bir yumuşama gösterirken, yarı kristalin polimerler ani bir şekilde ergirler Genel olarak, camsı geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklığı, zincir uzunluğu, zincirler arası çekim kuvveti, moleküler rijitlik ve kristallik arttıkça artar. Polimerler çok ender %100 kristal olabilir. Kristallik arttıkça yoğunluk, dayanım, rijitlik, sürünme dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımı artarken, tokluk düşer. Yarı kristalin polimerler opak ya da yarı saydam iken bütün saydam polimerler amorftur.



Şekil 1.12. Polimerlerin moleküler yapısı (Demirer, 2018)

Polimeler günlük hayatta her noktada kullandığımız pek çok malzemenin üretiminde kullanılır. Giysilerden beyaz eşyalara, arabalardan uçaklara kadar hayatımızın hemen her noktasında kullanılmaktadır. Amerikan havacılık firması Boeing'in yüzde 50'si plastik ve karbon elyafı gibi kompozit malzeme kullanarak ürettiği yeni uzun mesafe yolcu uçağı 787 Dreamliner Plastik uçak olarak bilinmektedir.



Şekil 1.13. Boing Dreamliner 737 (Boing Dreamliner, 2018)

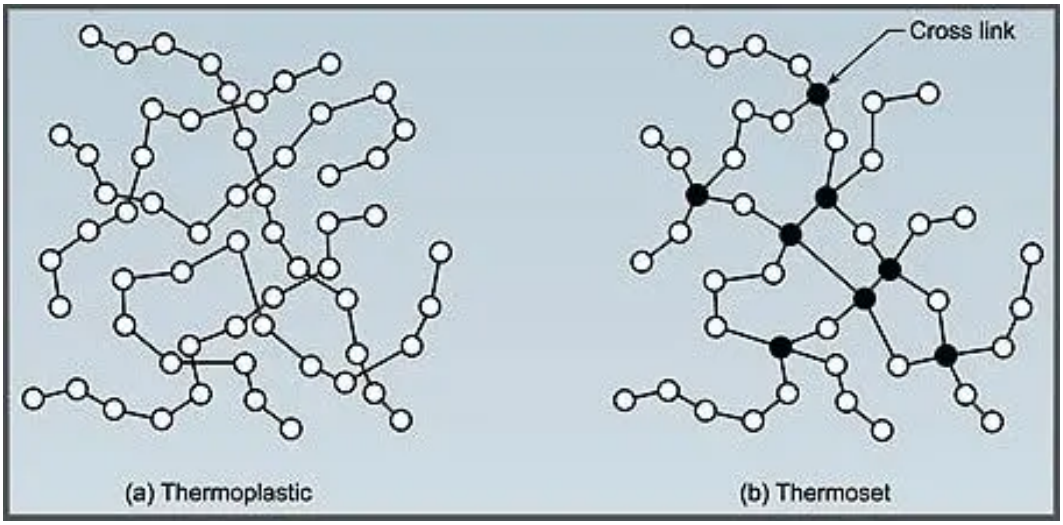
1.1.1.2. Termosetler

Termosetler yoğun çapraz bağ içeren üç boyutlu sert polimerlerdir. Elastomerlere benzer şekilde ısı ile eritilemezler ve yeniden şekillendirilemezler. Yüksek sıcaklıklarda zincir ve bağ kırılmaları sonucu parçalanarak bozunurlar. (Saçak, 1998) Genellikle termoplastiklere göre çok daha dayanıklı olarak bulunurlar. Genellikle araç üretimlerinde ve yedek parçalarda kullanılırlar. Arabaların tamponlarında ve çamurluk olarak adlandırılan parçalarında çok miktarda termosetler kullanılır. Sağlam ve dayanıklı olmalarına rağmen aşırı ısıyla karşılaştıklarında darbe dayanımları düşüktür. Küçük darbelerde bile parçalanabilir. Termosetler ile üretilen ürünler şartlarına uygun kullanıldığında uzun ömürlüdür.

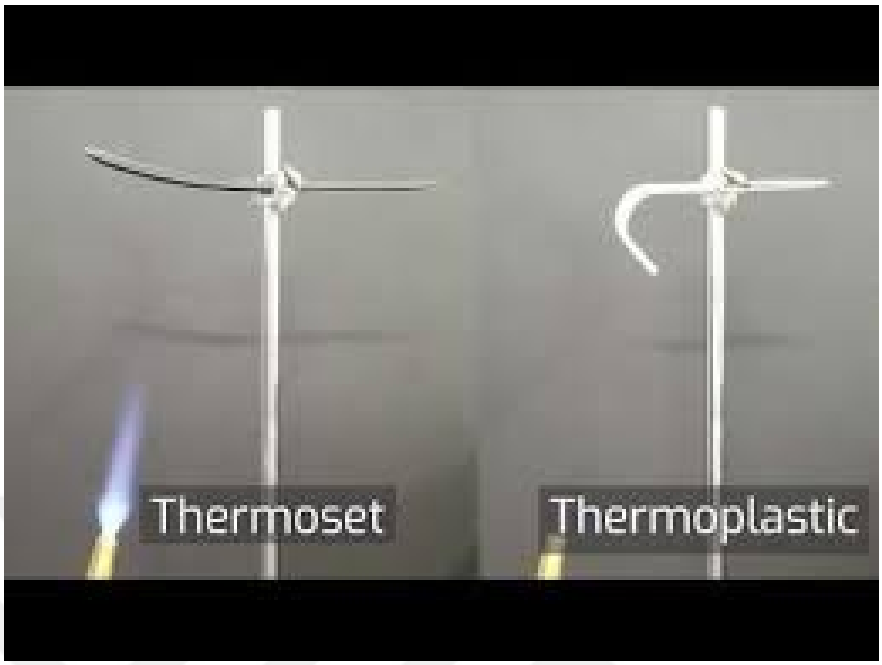


Şekil 1.14. Otomotivde kullanılan termosetler (otomotivde kullanılan termosetler, 2019)

Üretiminde fenol-formaldehit reçineleri tiplerine bağlı olarak çeşitli bağlayıcılarla kullanılır. Polimerlerde polimer molekülleri birbirleri ile güçlü kovalent bağlar ile çaprazlanmaktadır Bu nedenle, termoset polimerleri plastik deformasyona uğratmak zordur. Bütün termoset polimerler, polimer zincirlerinin herhangi bir simetri ile dizilmesi mümkün olmadığı için amorftur.



Şekil 1.15. Termoplastik termoset arasındaki yapı farkı (Bobo 2013:4)

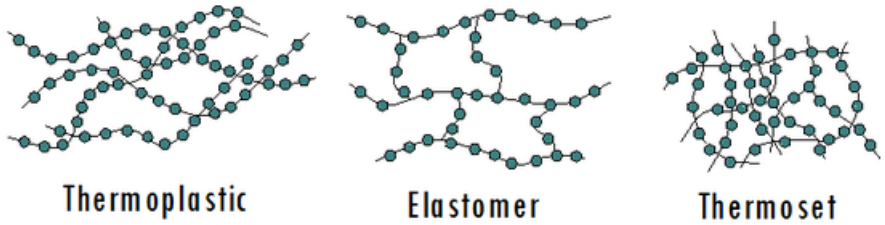


Şekil 1.16. Termoplastik termoset arasındaki dayanım farkı (Romeorim)

Günümüzde çevreye olumsuz etkilerinden dolayı görevleri bittiğinde geri dönüşüm ile tekrar kullanılabilmeleri ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Termosetlerin enerji üretimi veya ufalanarak farklı uygulamalarda kısmen geri dönüşümü sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak Termosetler tekrar kullanılabilen termoplastiklere göre daha dayanıklı olmalarına rağmen geri dönüşüm problemlerinden dolayı bu özellikleri karşılayacak termoplastik yapılar geliştirilmesi çalışmaları son yıllarda artmıştır. Günümüzde yapılan çalışmalar büyük oranda yeni termoplastik malzeme geliştirmektense mevcut malzemelerin özelliklerini iyileştirme konusuna yoğunlaşmıştır. Termoplastik ve termoset malzemelerin ortak kullanıldığı hibrit çözümlerde başta otomotiv sektörü olmak üzere, hemen her sektörde kullanılmaya başlanmıştır.

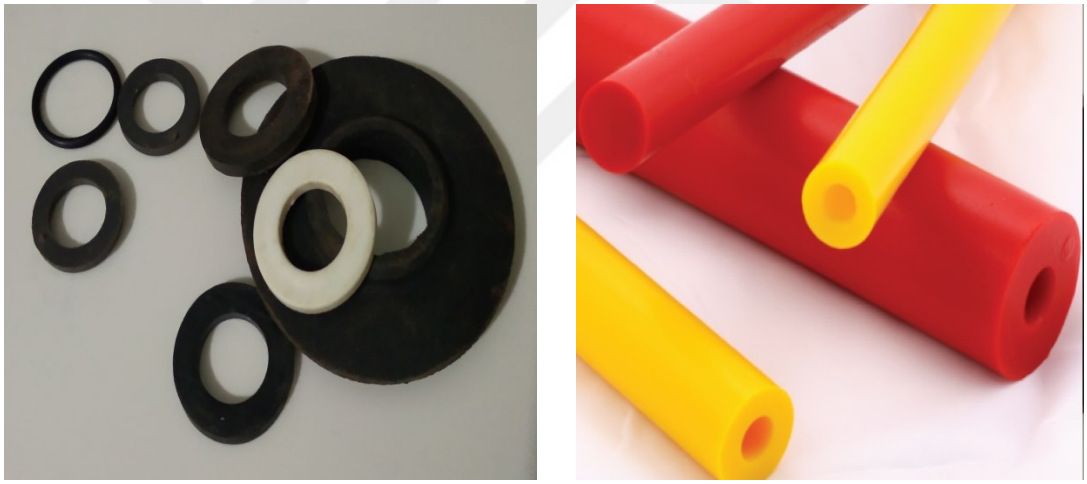
1.1.1.3.Elastomerler

Elastomerler, , kalıplaması farklı şekillerde olabilen, iyi yalıtım özelliği olan, kolay kolay deforme olmayan bir bükülebilir esneyebilir bir plastik malzeme kategorisidir. Doğal ve suni kauçuk malzemeler, özel bir polimer türü olan elastomerler arasındadır.



Şekil 1.17. Elastomerlerin, termoset ve termosplastikelerden farkı (designtechnology)

Çeşitli yöntemlerle yumuşatılıp reçine haline getirildiğinde, şekil verilmesi kolaydır. Sertleşme sonrası, sıcaklık değişiminden ve esneme, sıkışma gibi etkenlereden etkilenmez. Darbelere karşı çok dayanıklıdır. Kolay kolay çizilmez, Kimyasal direnci yüksektir. Nem veya su emmeye karşı dayanıklıdır. Akım iletmeme özelliği elektroniklerde çok iyi yalıtım sağlar. Farklı kablolara kıyasla yoğundur ve koruyucu özellikleri yüksektir.



Şekil 1.18. Elastomerlerin örnekleri

Bu polimer türü ise esnek ve sağlamlığı ile çok daha ön plandadır. Elastomerler ile üretilen ürünlerin esneme payı çok yüksektir. Herhangi bir darbede kolaylıkla şekil değiştirebilirler fakat içerisinde bulunan polimer maddelerinin özellikleri sebebiyle çok kolay ilk üretim haline geri dönebilirler. Arabaların metal olan emniyet bağlantı kısımlarının büyük oranda elastomerler kullanılır. Bu özellikleri sayesinde bir kaza anında darbelerin sönümlenmesi sağlayabilir.

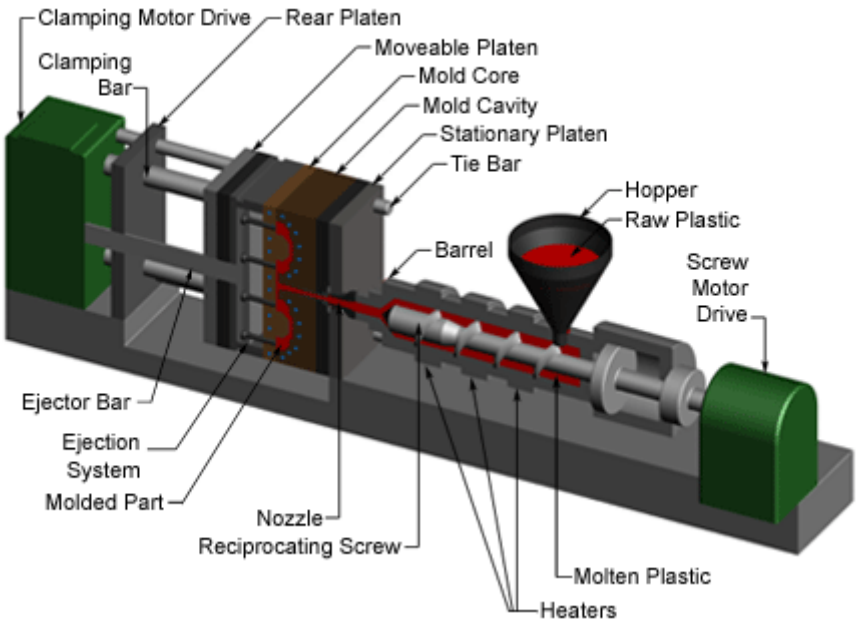
Bu polimerlerin bir diğer özelliğiyse diğer malzemelere eklenerek belli özelliklerini güçlendirebilmesidir. Diğer polimer türleri sayesinde yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilirler. Elastomerler sert plastik, metal, gibi birçok malzemeyle uyumlu şekilde kolayca bir arada kullanılabilir.

1.2.Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri

Polimerler kullanılacağı alana bağlı olarak pek çok üretim yöntemi ile şekillendirilmektedir.

1.2.1. Enjeksiyon yöntemi

Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. Bu metot ile en küçük parçalardan, bahçe mobilyalarına, otomotiv parçalarına kadar çok çeşitli ebat ve kategorilerde plastik parçalar imal edilebilir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen büyük miktarda üretimlerde ekonomik üretim yapılmasını sağlayan bir üretim yönetimidir.

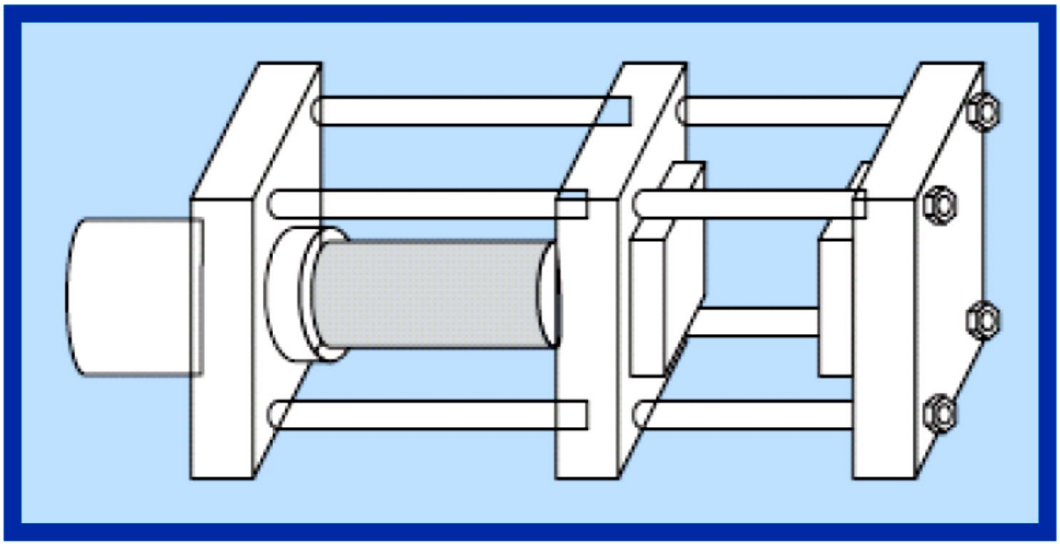


Şekil 1.19 Plastik enjeksiyon proses şeması (injectionmouldingworld)

Basit olarak incelendiğinde bir plastik enjeksiyon parçasının imalat süreci şu aşamalardan oluşmaktadır.

1-Kalıp Kapama

Bir enjeksiyon makinesi üç kısımdan oluşur. Bunlar; mengene-kapama ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve kalıptır. Mengene kapama ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve soğutma sırasında kalıbı basınç altında tutan ünitedir.



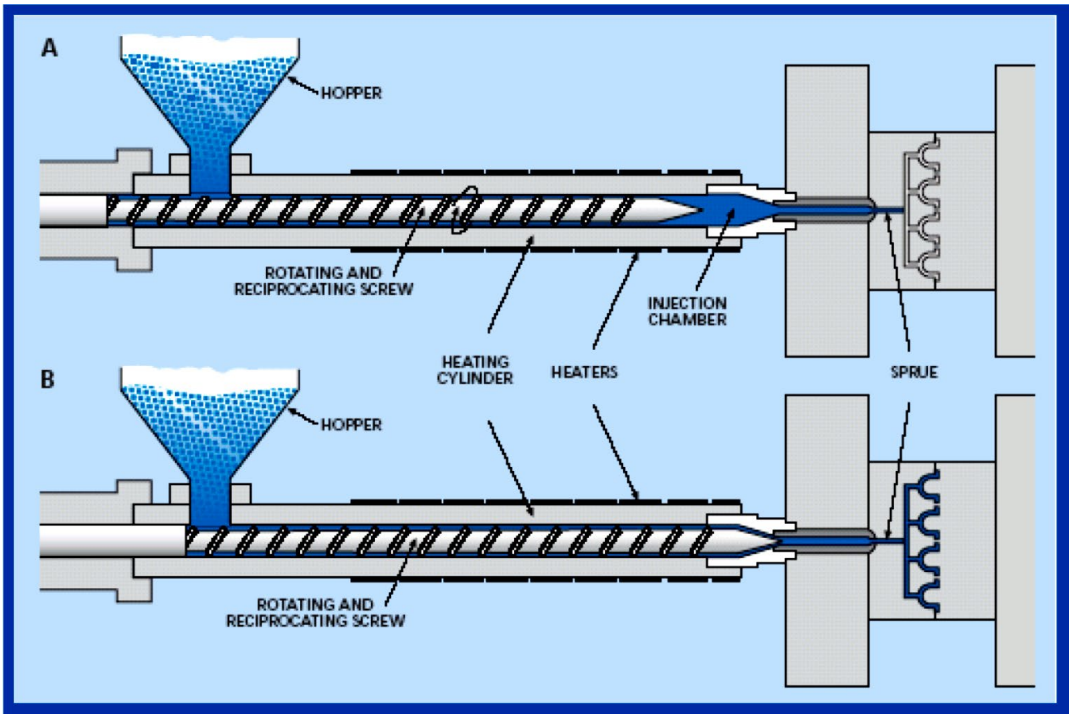
Şekil 1.20. Plastik enjeksiyon mengene ünitesi şeması (*LyondellBasell Industries*)

2-Hammadde Alma (Eritme)

Kovanın üstündeki rezistanslar kovanı, vidayı ve hammaddeyi ısıtır. Vida dönerken, hammadde hatvelerin arasında sıkışarak sürtünür ve ayrıca ısı oluşturur.

Dönen vidanın üzerinde yürüyen toz, granül, esnek erit, yüksek viskositeli eriyik veya yarı sert hamur halindeki hammadde yavaş yavaş eriyerek vidanın ucundaki roket grubunun içinden geçerek, vidanın önünde birikmeye başlar. Hidromotor vidayı istenilen süratte çevirir, dönen vida hammaddeyi yürütür ve kovanın içine doldurur. Öne dolan mal sıkışır ve vidayı geri ittirir.

Geri basınç yatağı, merkezleme rulmanları ve büte rulman vidayı merkezler ve geri basıncını alır. Vida çok hızlı geri gitmesin ve eriyen malın içinde hava boşlukları kalmasın diye enjeksiyon silindirinden geri iletilen yağ, karşı basınç valfi ile sıkıştırılır. Art basınç miktarı, prosese göre ayarlanır.



Şekil 1.21. Enjeksiyon ünitesi çalışma şeması (*LyondellBasell Industries*)

3-Enjeksiyon

Vida dönerek geri giderken bilezik öne kayar ve rokete dayanır. Yüksük ve bileziğin arasından giren eriyik, bilezik ve roket arasından geçerek vidanın önünde depo edilir. Daha evvel ayarlanan makine, kalıbı dolduracak kadar mal alındığını switch veya cetvellerle tespit ettiğinde mal alma, vidanın dönmesi ve geri gitmesi durur. Enjeksiyon silindiri ayarlanmış bir sürat basınç ile vidayı ileri iter. Bilezik geri kaçarak yüksüğe basar ve bir çek valf gibi malın geri kaçmasını önler. Mal memeden ve yolluktan geçerek kalıbı doldurur.

4-Ütüleme

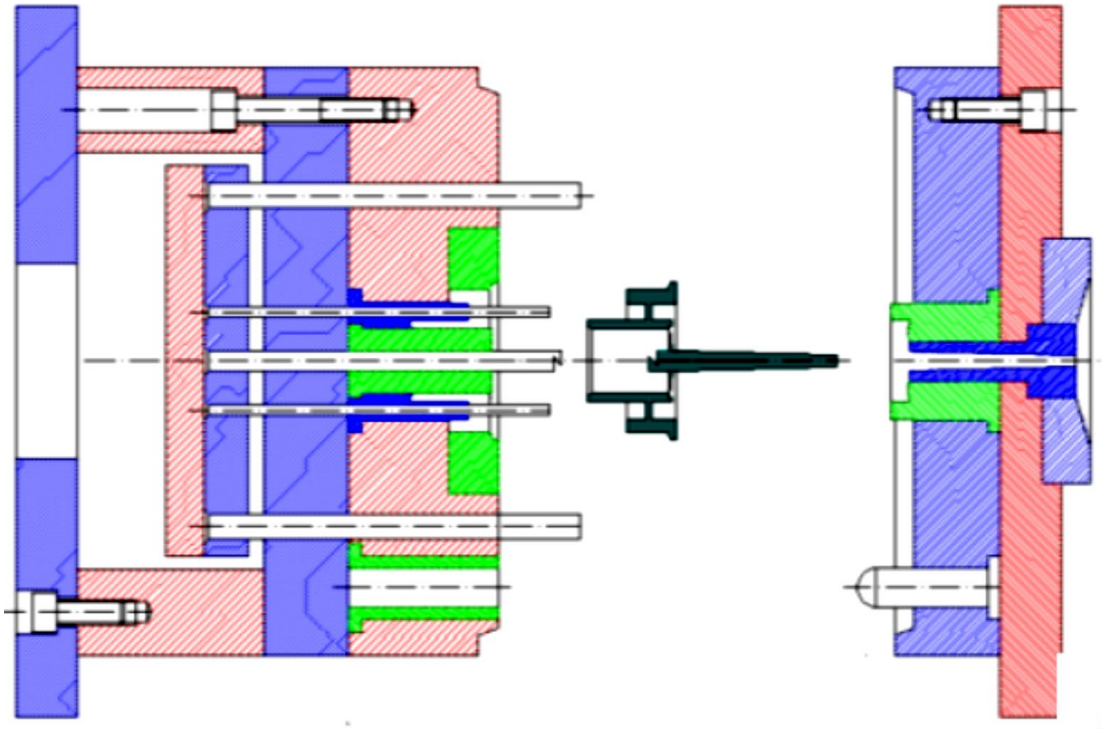
Parçanın istenen ölçülerde olması ve kalıpta soğuma esnasında çökmeyi ve çekmeyi önlemek için belli bir basın ve süre süre vidaya bastırır. Bu aşamada kalıp içine enjekte edilmiş olan plastik eriyiğin, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması sağlanır. Plastik, kalıp içinde katı hale gelinceye kadar işlem devam eder. Kullanılan hammaddenin özelliğine, parça ebatlarına ve ağırlığına bağlı olarak işlemin süresi değişkenlik gösterir.

5-Soğutma

Zamanı dolunca tazyik kesilir. Kalıp soğutularak içerisindeki plastik ürünün donması sağlanır. Bu sefer donma zamanından istifade edilerek yeniden vida dönmeye başlar ve geri giderken bir daha ki sefere basılacak mal alınmaya başlanır. Mal alma bitince, gerekli durumlarda vida mm 5- 10 mm geri çekilerek meme ağzındaki mal geri emilir. Yolluk içindeki mal meme ağzındaki maldan koparılır.

6-Kalıp Açma

Kalıp açıldığında, kalıplanmış malzeme dişi kalıptan kurtulur ve yolluk kopması olmaz. Yolluk boşaldığında, meme içindeki mal kendiliğinden akıp yolluğu tıkamaz veya kalıp içine akmaz. Bu işlem cereyan ederken meme ve kovanın üstü kontrollü bir şekilde ısıtılır.



Şekil 1.22. Plastik enjeksiyon kalıbı açılması ve ürünün çıkması (Demirer, 2018)

7-Çıkarma

İticiler vasıtası ile bitmiş parça kalıptan itilerek çıkartılır. Enjeksiyon makinelerinin birçok bileşeni (tekli ya da çoklu üniteler), yatay ya da dikey

yapılandırılmış olarak birçok farklı konfigürasyonları vardır. Ancak enjeksiyon makinelerinde genel çalışma prosesi benzer şekildedir.



Şekil 1.23. Plastik enjeksiyon yöntemi ile elde edilmiş ürün örnekleri

1.2.2. Ekstrüzyon yöntemi (Film çekme ve Profil çekme**)**

Ekstrüzyon sistemi, plastiklerin işlenmesinde çok yaygın olarak kullanılan bir işleme yöntemidir. Plastik ürünlerin yaklaşık % 30'u bu yöntemle üretilmektedir. Plastik ürünlerin aynı kesitte, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, devamlı (kesiksiz) olarak elde edilmesini sağlayan makinelere ekstrüzyon makineleri denir. Bu makineler bazen kısaca ekstrüderler olarak da adlandırılmaktadır. Bu makinelerde üretilen ürünlere plastik boru, profil ve bunun yanında sürekli film gibi ürünler de üretmek mümkündür. (Plastik Teknolojisi, 2011)

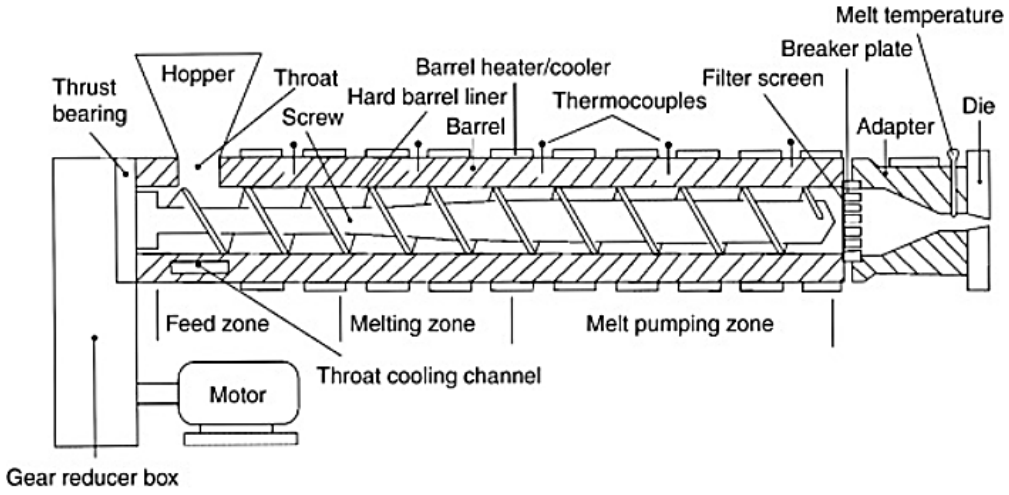


Şekil 1.24. Ekstrüzyon makinası (Plastik Teknolojisi, 2011)



Şekil 1.25. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ürünler (Plastik Teknolojisi, 2011)

Ekstrüzyon yönteminin çalışma prensibi şu şekilde gerçekleşmektedir. Kapalı bir bölmede bulunan malzemeye basınç uygulanarak bir kalıp açıklığından akışa zorlanır; bu sırada malzeme kalıp boşluğunun belirlediği biçimde, sabit kesitli bir sürekli ürün oluşur. Bu yöntemle termoplastik ve elastomer malzemelerden boru, hortum, profiller, film ve levha, sürekli lifler, kaplı elektrik telleri vb üretilebilir. Sürekli bir proses olarak uygulanır; daha sonra ürün istenilen boylara kesilir.

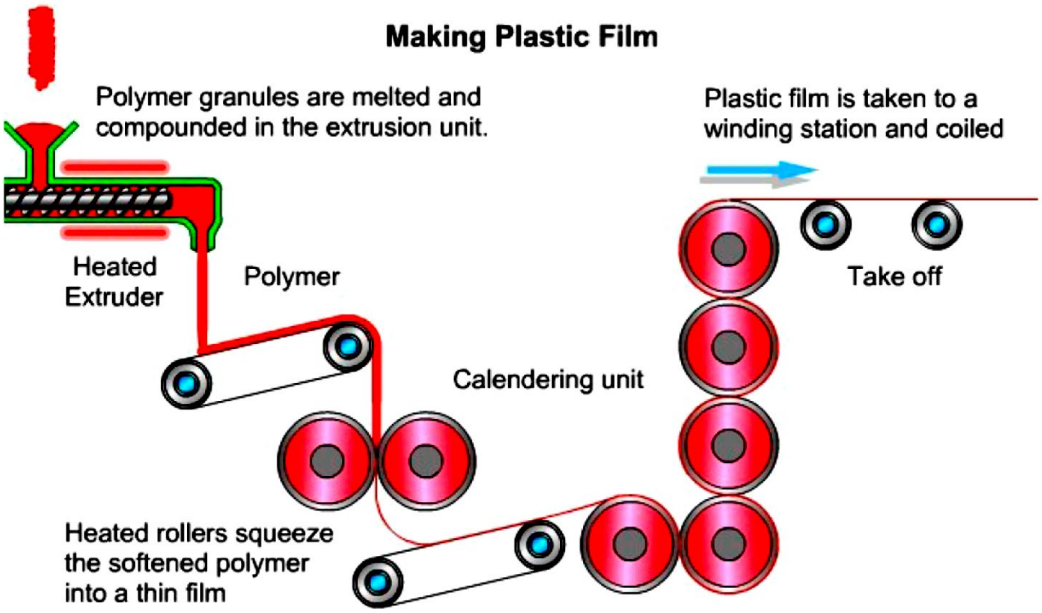


Şekil 1.26. Ekstrüder çalışma şeması (Wagner ve Giles 2014)

1.2.3. Kalenderleme (merdaneleme-haddeleme) yöntemi

Bu yöntem kalenderleme, haddeleme veya perdahlama gibi isimlerle bilinmektedir. Toz veya granül haldeki polimerik malzeme uygun miktarda katkı maddeleri ile karıştırılır ve yumuşak hale getirilir. Bu karışım 150-200°C ısınmış haddeler (merdaneler) arasından geçirilir, film veya levha haline dönüştürülür. İstenilen kalınlığa gelince soğutma haddeleri arasından geçirilir, sertleştirilir ve sonrasında bir taşıyıcı makaraya sarılır. Haddeleme hattını oluşturan haddeler; karıştırıcı, yumuşatıcı, istenilen kalınlığı gerçekleştiren yani kalibrasyonu yapan, soğutucu ve yönlendirici gibi farklı amaçlarla tasarlanmaktadır. Karıştırıcı-yumuşatıcı hadde sistemi en az iki merdaneden oluşur. Soğutucu ve yönlendirici haddeler ise bir merdaneden meydana gelebilir. Kalibrasyon haddelerinin arasındaki uzaklık, ürünün kalınlığına göre ayarlanır. Genellikle haddeleme termoplastik malzemelere ve özellikle ısıl dayanıklılığı düşük polimerlerin işlenmesinde uygulanır. Bunun en tipik bir örneği PVC'dir. PVC;

esnek, yarı sert ve sert olmak üzere üç şekilde kullanılır. Esnek PVC ile yağmurluk, banyo perdesi, yatak örtüsü, yarı sert PVC araba paspası, yer döşemesi, sert PVC ile kredi kartları, tepsiler, işaret levhası vb. üretimler gerçekleştirilir.



Şekil1.27. Haddeleme yöntemi ile plastik film üretim şeması (Multimedia Design and Technology Education)

BÖLÜM 2. YÜKSEK BASINCA DAYANIKLI BORU VE EKLEME PARÇASI ÜRETİMİ

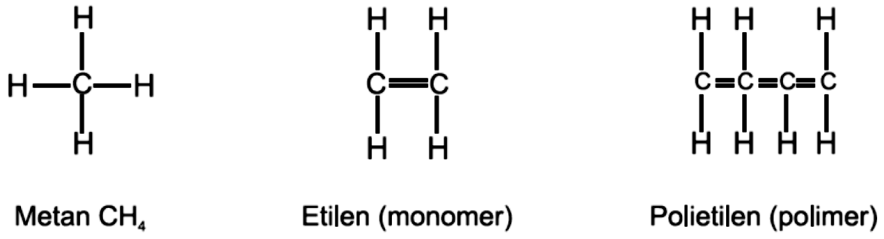
2000 yılına kadar genel olarak yeni plastik türleri geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar bu dönemden sonra mevcut plastik türlerinin özelliklerinin geliştirilmesi konusuna yoğunlaşmıştır. Bu amaçla pek çok kompozit katkı geliştirilmiş ve günlük hayatta uygulama alanı bulmuştur. Cam elyaf katkıları, alev geciktiriciler, karbon fiberler, UV stabilizatörler bu konuda örnek olarak oluşturabilir.

Öte yandan malzemelerin fiziksel özellikleri atom dizilişleri ile birebir ilişkilidir. Örneğin karbon atomları hekzoganal kafes yapısı ile çok yumuşak bir malzeme olan grafiti oluştururken kübik kafes yapısı ile elması dünyanın en sert maddesi olan elması oluşturmaktadır. Termoplastiklerde bu yapı ise karbon zincir yapılarıdır. Bu yapıların uzunluğu ve kristalleşme oranı termoplastiğin fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Erimiş termoplastiğin soğuma hızı kristal yapı oluşumunda etkilidir. Soğuma esnasında uygulanan çekme ve basma kuvvetleri malzeme dayanımı etkilemektedir. Örneğin ekstrüzyon yöntemi ile film çekme işleminde malzemenin çekme yönünde dayanımı artarken diğer eksen yönünde daha düşük gerçekleşmektedir.

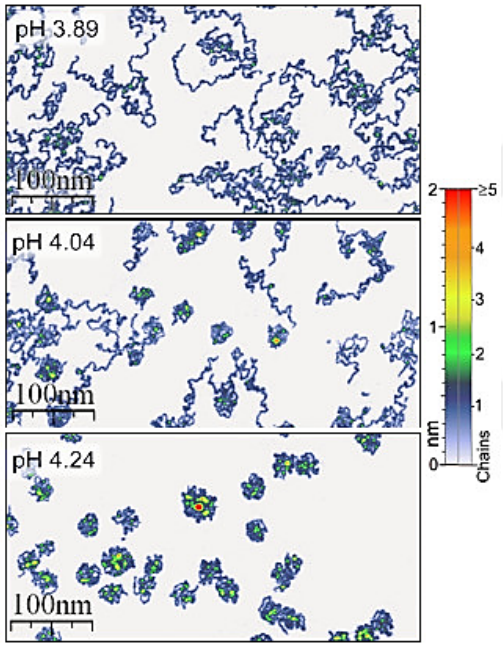
İçme suyu ve doğalgaz hatlarında kullanılan HDPE yıllardır kullanılan ve bu konuda dünyada kabul görmüş termoplastiktir. Yıllarca süren deney, test ve tecrübe sonucu oluşturulmuş standartlara sahiptir. Bu alanda kullanılan boru ve ekleme parçalarında standartların ve prosesin gereği dayanımı arttırmak için orijinal hammadde içine kompozit katkı eklenememektedir. İçme suyu prosesleri sağlık yönünden buna izin vermezken, doğalgaz prosesleri gazın içerdiği sülfür sebebi güvenlik riski oluşturmaktadır.

2.1.Termoplastikler ve Polietilen malzeme

Genel olarak plastik adıyla da anılan termoplastikler, ısıtıldığı zaman eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir. Bu polimer türünde polimerler genel olarak kristal, amorf veya yarıkristal halde bulunurlar.



Şekil 2.1 Polietilenin moleküler yapısı



Şekil 2.2. Polietilen polimer zincirlerinin elektron mikroskobunda görünüşü (Roiter ve Minko, 2005)

Termoplastik polimerlerde polimer zincirleri kendi içinde kuvvetli kovalent bağlarla bağlıdır. Kovalent bağlar yüksek enerjili (60 – 625 kJ/mol) bağlardır. Termoplastik polimer zincirlerini bir arada tutan bağlar, ikincil bağlar olarak adlandırabileceğimiz Van Der Wals bağlarıdır (4-80 kj/mol). Polar etkileşimler, Hidrojen-bağları, London kuvvetleri ve zincir grupların üst-üste istiflenmesi gibi zincir-içi ve zincirler-arası etkileşimler vardır. Bu kuvvetler kovalent bağlara göre oldukça zayıftır.

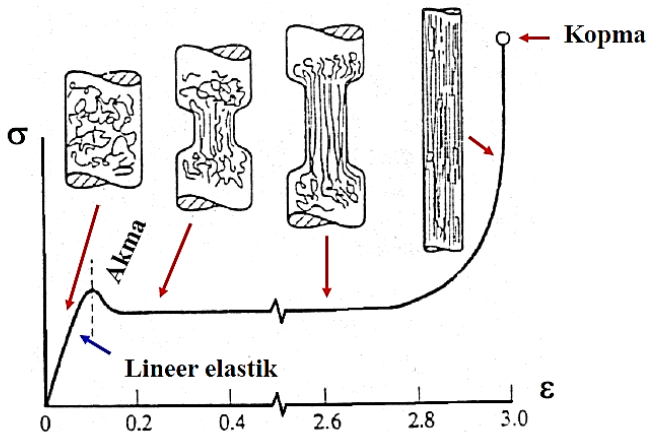
Öte yandan malzemelerin fiziksel özellikleri atom dizilişleri ile birebir ilişkilidir. Örneğin karbon atomları hekzoganal kafes yapısı ile çok yumuşak bir malzeme olan

grafiti oluştururken, kübik kafes yapısı ile dünyanın en sert maddesi olan elması oluşturmaktadır. Termoplastiklerde bu yapı ise karbon zincir yapılarıdır. Bu yapıların uzunluğu ve kristalleşme oranı termoplastiğin fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Erimiş termoplastiğin soğuma hızı kristal yapı oluşumunda etkilidir. Soğuma esnasında uygulanan çekme ve basma kuvvetleri malzeme dayanımı etkilemektedir. Örneğin ekstrüzyon yöntemi ile film çekme işleminde malzemenin çekme yönünde dayanımı artarken diğer ekseninde ise düşmektedir.

2.2.Polietilen Zincirlerinin Yönlendirilmesi ve Ultra HDPE

Polietilen (PE) basit bir kimyasal yapıya sahip olmasına rağmen, birkaç uzun dallı düşük yoğunluklu polietilenden (LDPE), esasen doğrusal olan yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) kadar çeşitli moleküler yapılarda mevcut olabilir. Polietilen, yarı kristal yapısından dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kristal faz, malzemeye yük taşıma mukavemetini verirken, amorf faz esneklik sağlar.

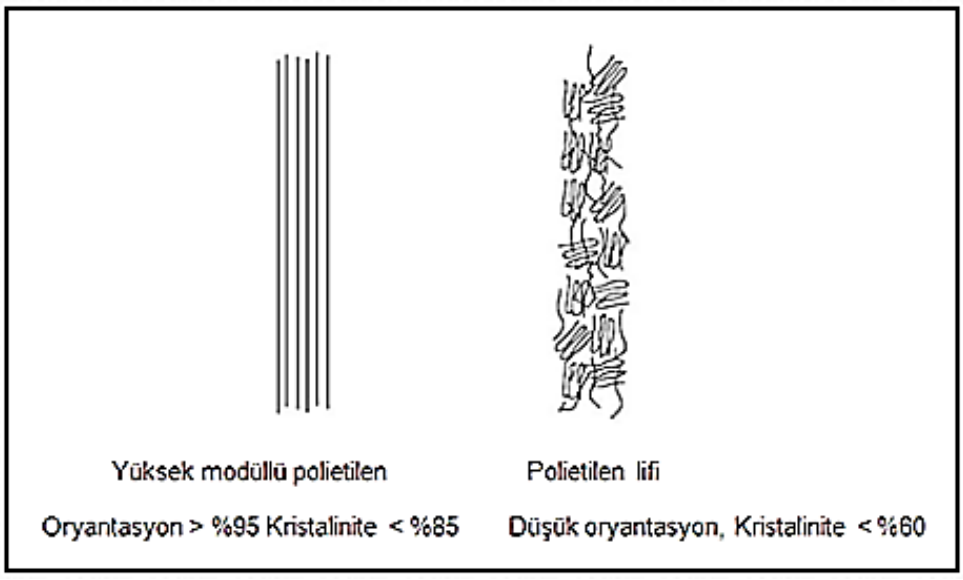
Lamel polimer zincirlerinin birbiri üzerine katlanarak oluşturduğu, kristal özelliği gösteren en küçük yapıya denir. Amorf bölgeler lameller arasında bulunur. Lamelin boyutları polimer cinsine ve kristalleşme koşullarına göre değişiklik gösterir. Kristallik derecesi malzemenin toplam hacmi içerisinde kristal fazın miktarını belirtmek için kullanılır ve PE için %10 ile %80 arasında değişir (Oktay ve Gürses, 2015)



Şekil 2.3. Çekme kuvvetinin zincir yapısına etkisi (Demirer 2018)

HDPE lifleri, polietilen lifinden jel lif çekim yöntemiyle çok yüksek moleküler ağırlıklarda (MW>106g/mol) üretilirler; bu nedenle UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethtylene) olarak da adlandırılırlar. Kimyasal olarak yüksek yoğunluklu polietilenle (HDPE) aynı özelliklere sahiptirler; ancak moleküler ağırlıkları daha yüksektir .(Bunsell and Schwartz, 2009).

Normal polietilende moleküller oryante olmamış durumdadır ve moleküllerin birbirlerinden ayrılmaları çok kolaydır. Mukavemetli lif üretmek için moleküler zincirler lif yönünde düz, oryante edilmiş ve kristalize edilmiş olmalıdır. Ayrıca yük transferinde yeterli etkileşime sahip olabilmesi için moleküler zincirler uzun olmalıdır. Moleküler ağırlık artışı, mukavemet artışına neden olduğundan bu alanda ilk adım olarak ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen lifi kullanılmıştır. Oryantasyon çoğunlukla lif çekimi sırasında gerçekleştirilmiştir. Yüksek eriyik viskozitesindeki eriyikten lif çekiminin çok güç olmasından ötürü, eriyik haldeki UHMWPE liflerinin çekimi yüksek derecedeki moleküler zincirlerin karışık sıralanışı nedeniyle oldukça zordur. Bu sorunları ortadan kaldırmak için jel lif çekim yöntemi kullanılmıştır. Jel lif çekim yöntemiyle boyuna oranla 100 kat kadar yüksek bir çekim uygulanarak UHMWPE lifleri elde edilmektedir. Jel lif çekiminin esası; Çözücü solvent kullanarak çözücü içinde serbest halde olan moleküllerin elde edilmesi ve nozullardan flament lifler şeklinde çekimi ve soğutulmasına dayanır. (McKenna ve ark. 2004).



Şekil 2.4. HDPE ve PE'nin makromoleküler oryantasyonu (Teknik Tekstiller 2017)

Jel lif çekim yöntemi UHMWPE liflerinin üretilmesi kimyaya bağlı olmayan, mekanik ve fiziksel parametrelere bağlı olan bir prosestir. Böylece farklı kalitelerde liflerin üretilmesi mümkün olmaktadır. Jel lif çekim yöntemiyle üretilmiş lifler, yüksek derecede moleküler zincir oryantasyonu ve yüksek seviyedeki kristalinite (%85'e kadar) ile karakterize olurlar.

UHDPE lifleri; Hollanda ve ABD'de DSM (Dutch States Mines Co.) Dyneema BV, Japonya'da Nippon Dyneema Co. Ltd (Toyobo/DSM işbirliği) tarafından Dyneema® adı altında, Honeywell Specialty Materials (ABD) tarafından ise Spectra® adı altında farklı ticari isimlerle üretilmektedir. Diğer UHMWPE lif üreticileri olarak da Tenfor (Snia®)ve Mitsui (Tekmilon®) sayılabilir (Kalaycı, Avinç, Yavaş, 2016)

Günümüzde jel yöntemi ile elde edilen yönlendirilmiş liflerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Kesmeye dirençli eldivenler, eskrim giysileri, zincirli testereden koruyucu pantolonlar gibi dokuma ve örme ürünlerde, balistik korumada, denizcilikte, balıkçılıkta, sportif ürünlerde, ormancılıkta, vinçle kaldırma halatlarında, kesme direnci yüksek ürünlerde, kullanım alanı bulmaktadır. Yeni alanlar olarak havacılıkta, medikal sektörü ve binalarda deprem dayanımı arttırmak gibi çeşitli kompozit uygulamaları ön plana çıkmaya başlamıştır. Özellikle yapay eklem malzemesi olarak oldukça verimli bir şekilde medikal implant uygulamalarında kullanılmaktadır.(Sobieraj ve Rimnac, 2013)



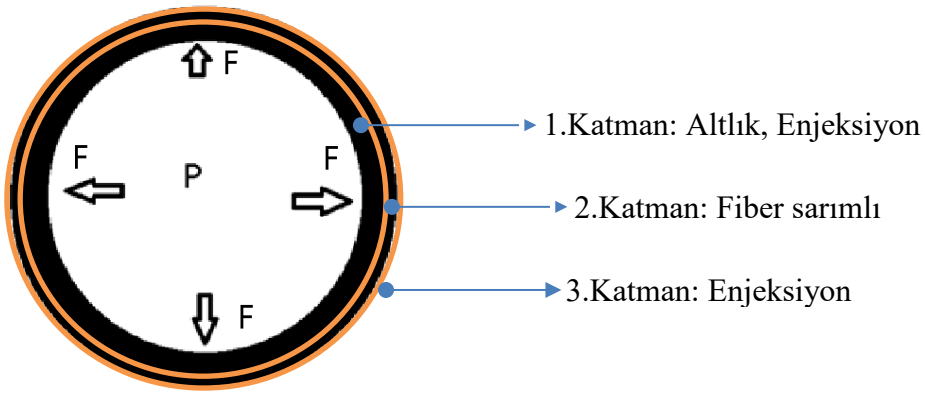




Şekil 2. 5. UHDPE liflerinden elde edilen ürünlerin kullanım alanları

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin kimyasal özelliklerini değiştirmeden, ilave katkı malzemesi kullanmadan kristal yapısını ve karbon zincirlerini düzenleyerek fiziksel dayanımının arttırılması hedeflenmektedir. Aynı malzemeye değişik üretim yöntemleri ile farklı fiziksel özellikler kazandırılarak katmanlı bir ürün elde edilmiştir. Kullanılan üretim yöntemleri enjeksiyon, ekstrüzyon ve fiber ve film çekiminde kullanılan haddelemedir. Ekstrüzyonda elde edilen filamentler haddeleme ve çekme yöntemi ile (oryante edilmiş) yönlendirilmiştir. Çalışmada bu teknikler boru ve ekleme parçaları için tasarlanmıştır. Önce iç kısımdaki altlık olarak ilk katman malzeme (HDPE) enjeksiyonda basılmıştır. Ekstrüzyonda ise filament olarak ikinci katman malzemesi çekilir ve ardından ısıtma ile çekme işlemine tabi tutularak yönlendirilir. Yönlendirilmiş kalın fiberler malzeme, önce altlık olarak bir HDPE boru üzerine sarılır ve daha sonra enjeksiyon kalıbına alınarak son katman oluşturulur. Yüksek basınçlı borularda basınç çeperleri zorlayarak ürünün şişip yırtılmasına neden olmaktadır. Et kalınlığını arttırmadan yüksek basınca dayanıklı bir ekleme parça üretimi için çalışmamızda yönlendirilmiş fiber malzeme basınca maruz kalan çeperlerdeki kuvveti karşılayacak şekilde boru numune üzerine 2. Katman olarak sarılmıştır.



Şekil 3.1. Boru çeperlerine iç basıncın uyguladığı kuvvetler ve katmanlar

Şekil 3.1'de boru çeperlerine gelen kuvvetler ve üç katmanlı olarak üretilen ekleme parçasının kesiti görülmektedir.

3.1. Malzeme

HDPE malzemenin geliştirilmiş bir tipi olan PE100 günümüzde genellikle içme suyu ve doğalgaz hatlarında kullanılmaktadır. Borealis firmasının ürettiği BorSafe HE3490-IM malzemenin özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

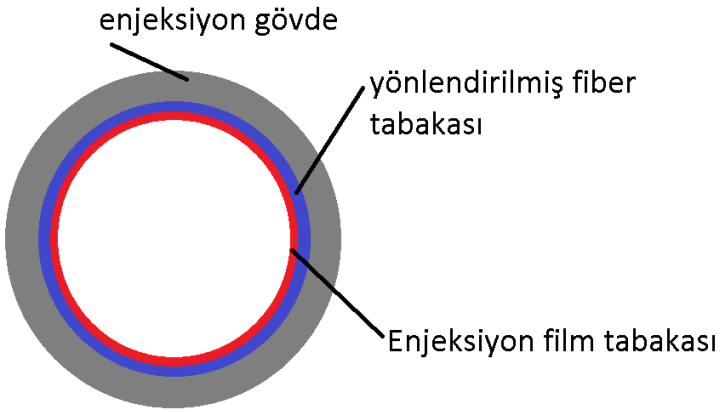
Tablo3.1. BorSafe HE3490-IM PE100 Fiziksel ve mekanik özellikleri tablosu

Özellik	**Tipik Değeri**	**Birim**	**Test Metodu**
Yoğunluk	959	kg/m³	ISO 1872-2/ISO 1183
Erime Akış Hızı(190°C/5 kg	0,55	g/10 dak	ISO 1183
Elastiklik Modülü	1.100	Mpa	ISO 527-2
Kopmada Uzama	>600	%	ISO 527-2
Akmada Gerilme Dayanımı	24	MPa	ISO 527-2
Karbon Siyahı Oranı	2	%	ASTM D1603
Karbon Siyahı Dağılımı	<3		ISO 18553
Oksidasyon İndüksiyon Süresi(200°C)	>20	dak	EN 728
Yavaş Çatlak Büyümesine Direnç	1000	saat	ISO 13479

3.2.Yöntem

Üç katmanlı boru ve ekleme parça numunesi için tamamı HDPE malzeme türünden olan PE100 malzeme kullanılmıştır. Deneysel çalışmada üç farklı üretim yöntemi uygulanmıştır. İlk olarak altlık için enjeksiyon yöntemi ile alt katmanı oluşturan boru formlu numuneler basılmıştır. 2.katman için iki aşamalı proses tatbik edilmiştir. İlk proseste ekstrüzyonda kalın filament çekilmesi işlemi daha sonraki proseste ise fiber çekme işlemidir. Filamentler ısıtılarak belirli hızda merdanelerden çekilerek yönlendirilmektedir. Çekilerek elde edilen filamentler bu çalışmada kalın fiber

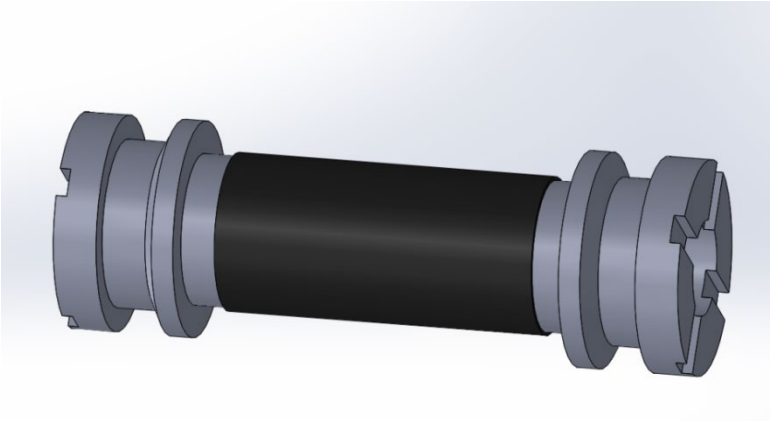
olarak adlandırılmaktadır. Kalın fiberlerin sarılması işlemi içinde bir torna tezgahı kullanılmıştır. Fiberler alt katmana ısıtılarak yay sarma yöntemine benzer olarak sarım gerçekleştirilmiştir. Son olarak parçayı enjeksiyon kalıbına alarak üzerine son katmanı basılmıştır (Şekil 3.2). Bu yöntemlerde uygulan işlemler alt başlıklarda izah edilmiştir.



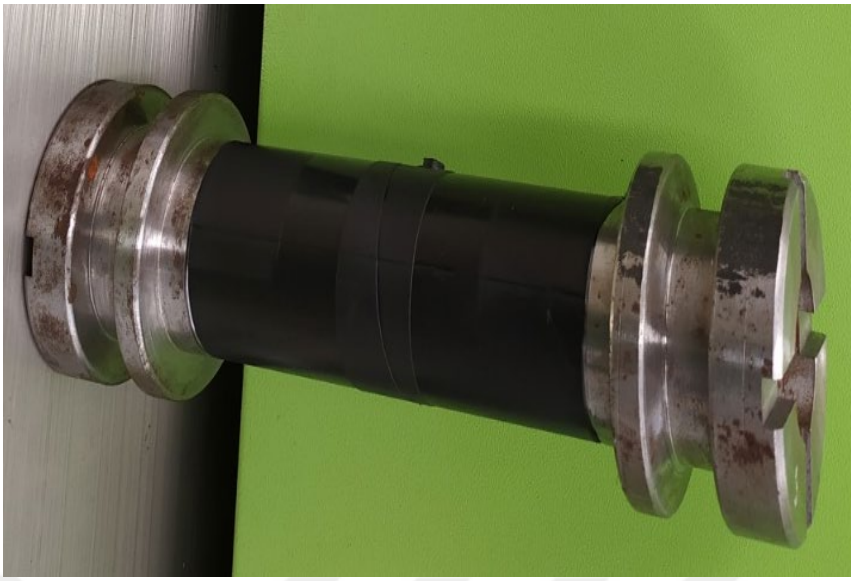
Şekil 3.2. Ürünün şematik görünüşü

3.2.1.Enjeksiyonda alt katmanın basılması

Plastik enjeksiyon kalıbında parçanın alt katmanı olan PET adını verdiğimiz HDPE malzemeden ürün tasarlanarak basılmıştır. Numune parçaların katı modeli SolidWorks programında tasarlanmış ve enjeksiyon kalıbında 220ºC ve 80 bar Enjeksiyon basıncında basılmıştır. Numunenin rengi siyah olarak alınmıştır. BorSafe HE3490-IM hammadde kullanılmıştır. Ürünler çelik insörtlerin üzerine basılmıştır.



Şekil 3.3. Solidworks programında tasarlanmış altlık (PET) ürün

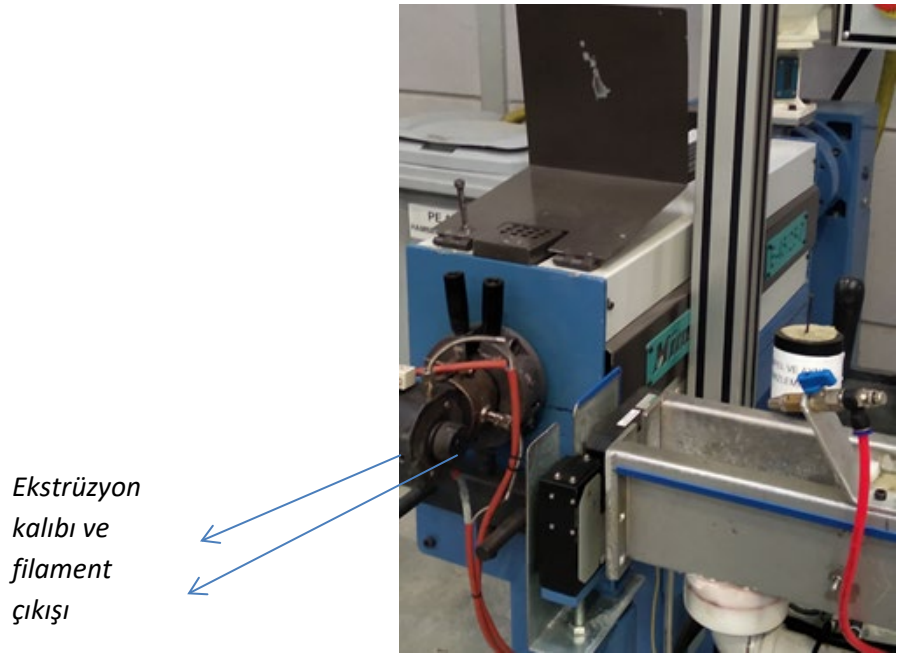


Şekil 3.4. Plastik enjeksiyonda elde edilmiş altlık ürün resmi

3.2.2. Ekstrüzyonda kalın filamentin üretimi ve fiberin çekilmesi prosesi

Bu çalışmada yönlendirilmiş polietilen zincirleri çözücü kullanmadan ısıtma, çekme ve haddeleme yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

İlk aşamada ekstrüzyon (eksrüder) yöntemi kullanılarak istenen kesitlerde HDPE kalın flamentler elde edilmiştir. Ebatları ortalama 3x4mm dir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Ekstrüzyon prosesi



Şekil 3.6. Ekstrüzyon prosesi ile elde edilen HDPE filament

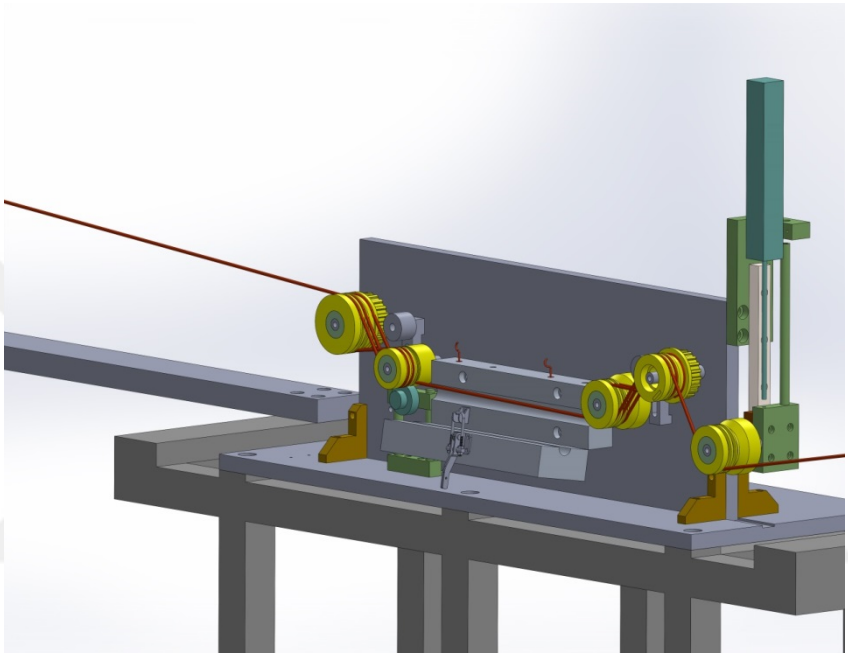
Ekstrüzyondaki proses şartları Tablo 3.3 te verilmektedir.

Tablo 3.2. Ekstrüzyon proses şartları

Özellik	**Birim**	**Değer**
Sıcaklık	°C	210-200-190(3.2.1. bölge)
Vida devri	dev/dak	20
Filament kesiti	mm	4 x 3 (en x yükseklik)
Filament çekme hızı	m/dak	20
Hammadde		BorSafe HE3490-IM

3.2.2.1.Polietilen zincirlerinin yönlendirilmesi (Fiber çekimi)

Filamentlerin bu aşamada yönlendirilerek fiber çekimi için özel bir proses geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen cihaz gerdirerek yönlendirme sağlayan makaralardan, ısıtma siteminden ve makaralarının hızlarını dolayısı ile polietilen fiberin gerginliğini kontrol eden sistemden oluşmuştur. Sistem önce Solidworks programında tasarlanarak çizilmiş ve ardından imal edilmiştir.



Şekil 3.7. Fiber yönlendirme sistemi tasarımı



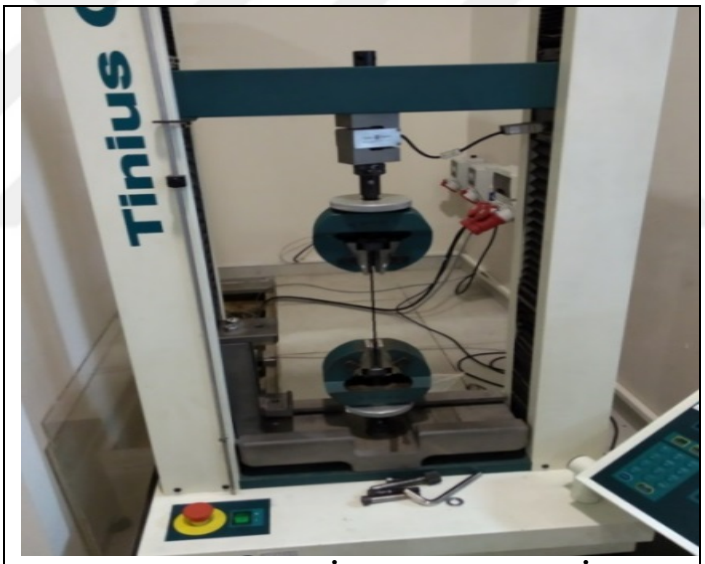
Şekil 3.8. Fiber yönlendirme sistemi

Bu çalışmada jel yönteminden farklı olarak ekstrüderde elde edilen polietilen fiberler kristal ergime sıcaklığının (Te) yaklaşık 135°C altında beş farklı 60°C, 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C sıcaklıklarda kontrollü bir kuvvet uygulanarak çekme ve haddeleme işlemlerinden geçirilerek yönlendirilmiştir. Çekme Hızı 1 m/dakika olarak uygulanmıştır.

Aynı devirde dönecek şekilde birbirine bağlanan makara çapları oranı 1,25 dir. Dolayısı ile fiber %25 oranında uzama zorlanmasına maruz kalmaktadır.

İşlem sonucu fiberlerde istenen yönde yönlendirme olup olmadığını kontrol edilmesi için çekme deney cihazında malzeme özellikleri incelenmiştir.

Tablo 3.3 Çekme deney cihazının teknik özellikleri



ÇEKME TEST CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Markası	TINUS OLSEN
Kapasitesi	2000 KN
Özellikleri	PLC Kontrollü



Şekil 3.9. Fiber resimleri

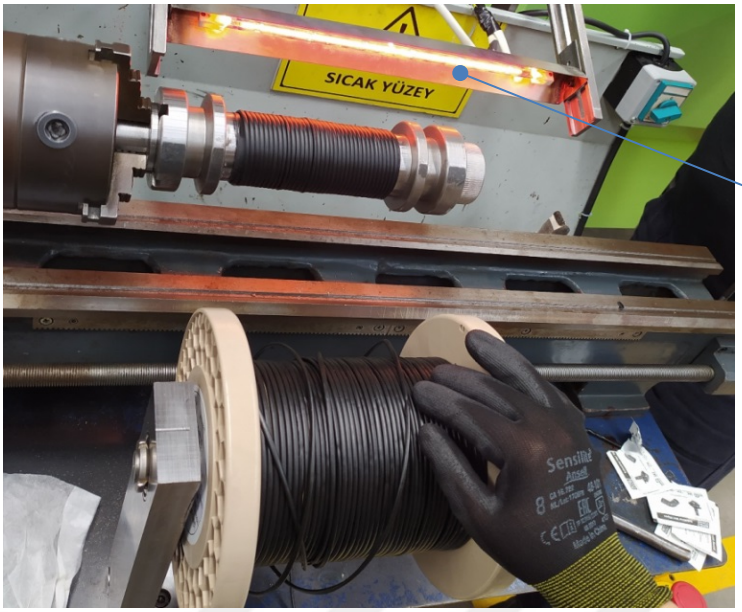
Fiberlerin Yönlendirme işlemi sonucu kesitlerindeki ölçü değişimleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.4. Fiber yönlendirme ölçü değişim tablosu

Numune Kesit Ölçüleri		
	X (mm)	**Y** (mm)
Ekstrüzyondan çekilen numune (filament)	2,90	3,95
60°C yönlendirilmiş fiber	2,40	3,60
70°C yönlendirilmiş fiber	2,40	3,60
80°C yönlendirilmiş fiber	2,40	3,50
90°C yönlendirilmiş fiber	2,40	3,50
100°C yönlendirilmiş fiber	2,40	3,45

3.2.2.2. Fiberin sarılması işlemi

Elde edilen yönlendirilmiş fiberler belli bir hızda dönen torna tezgahında alt parça altlık (PET) üzerine infraret ısıtıcı ile kontrollü ısıtma uygulayarak sarılmıştır. Sarılan fiberin sıcaklığı 80°C, dönen numune devir sayısı ise 10 dev/dak'dır.



Şekil 3.10. Altlık (alt katman) üzerine Fiber sarım işlemi

3.2.3.Enjeksiyonda üst katmanın basılması

Alt katman üzerine 2.katman olarak fiber sarılmış numuneler enjeksiyon makinasına alınarak burada 3. son katmanlama işlemi uygulanmıştır. Numunelerin enjeksiyon kalıbı, Solidworks programında son şekline uygun olarak tasarlanmış ve sonrasında kalıp imal edilmiştir. Enjeksiyondaki proses şartları ve basılan nihai ürünün kesit alınmış hali Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Elde edilen nihai ürünün kesit alınmış şekli

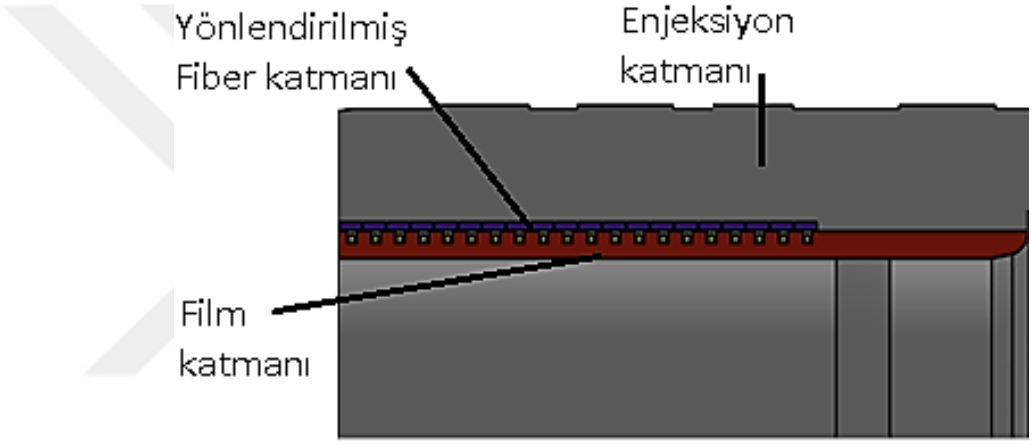
Tablo3.5. Enjeksiyon proses şartları



ENJEKSİYON PROSES ŞARTLARI		
ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER
Enjeksiyon Sıcaklığı	°C	210,205,200
Enjeksiyon Basıncı	bar	60
Enjeksiyon Süresi	sn	3
Ütüleme Basıncı	bar	45
Ütüleme Süresi	sn	6
Çevrim Süresi	sn	30
Kalıp Sıcaklığı	°C	50

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında üç farklı üretim yönteminin bir arada kullanılması ile aynı et kalınlığında HDPE ekleme parçasının daha yüksek basınç sınıfına dayanacak şekilde geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ekleme parçası katmanları istenen fiziksel özelliklere sahip HDPE malzeme ile oluşturularak son ürünün aynı fiziksel görünüşte olmasına rağmen daha yüksek basınç sınıfında kullanılması mümkün olacaktır.



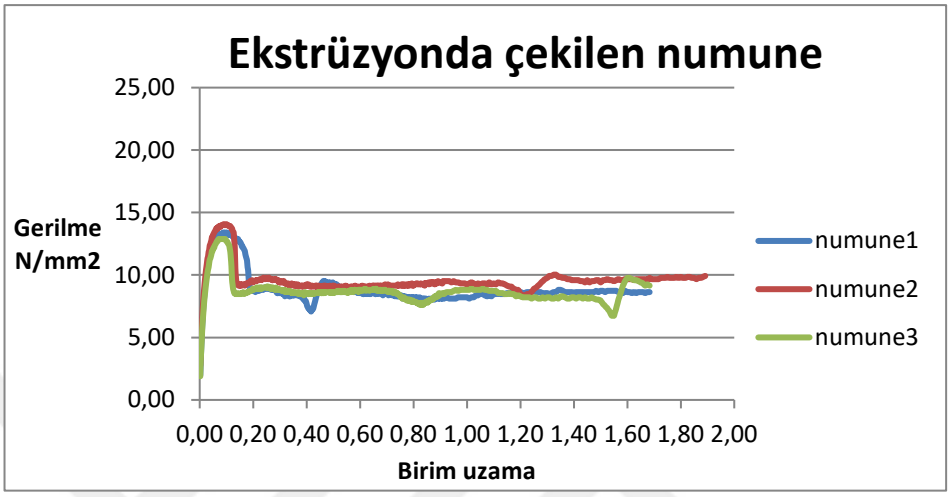
Şekil 4.1.Polietilen zincirlerinin yönlendirilmesi ile elde edilen katmanlı boru ekleme parçası şeması

4.1. Yönlendirilen fiberlerin çekme deney sonuçları

Çekilen fiber yönlendirme işlemlerinde filamentlere beş farklı sıcaklık uygulanmıştır. Uygulanan sıcaklık değerleri 60, 70, 80, 90 ve 100ºC dir. Bu şartlara göre çekme testine tabi tutulmuş olan numunelerin çekme testi sonucunda en yüksek çekme mukavemet değeri 80ºC de elde edilmiştir. Her üründen en az üçer adet numune test edilmiştir.

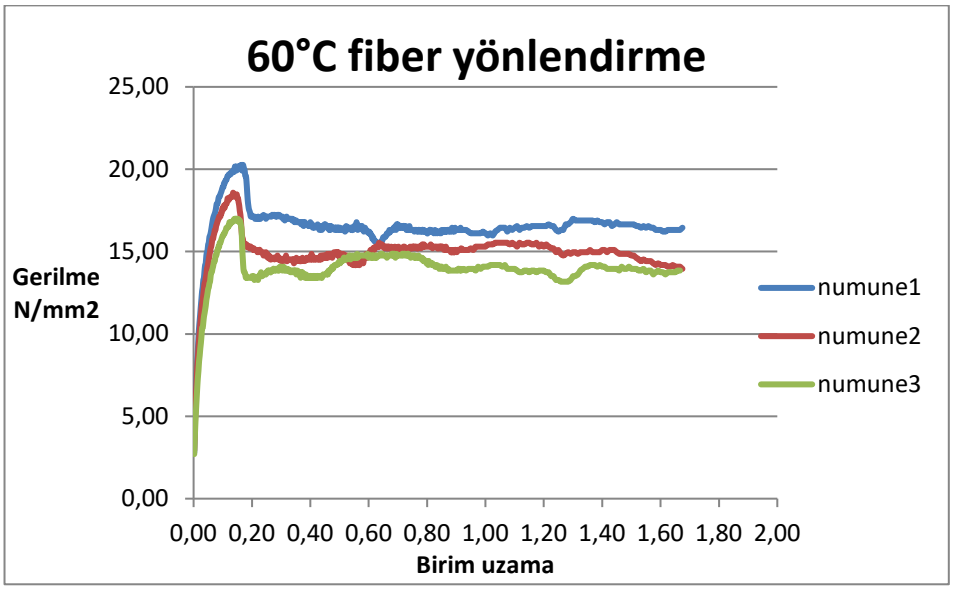
Fiberlerin yönlendirme işlemi sonrasında çekme testine tabi tutulmuşlardır. Deney sonrasında ile elde edilen grafikler, Şekil 4.1-6'da gösterilmektedir.

Yönlendirme işlemi yapılmamış fiberde çekme mukavemeti ortalama 14N/mm^2 dir.



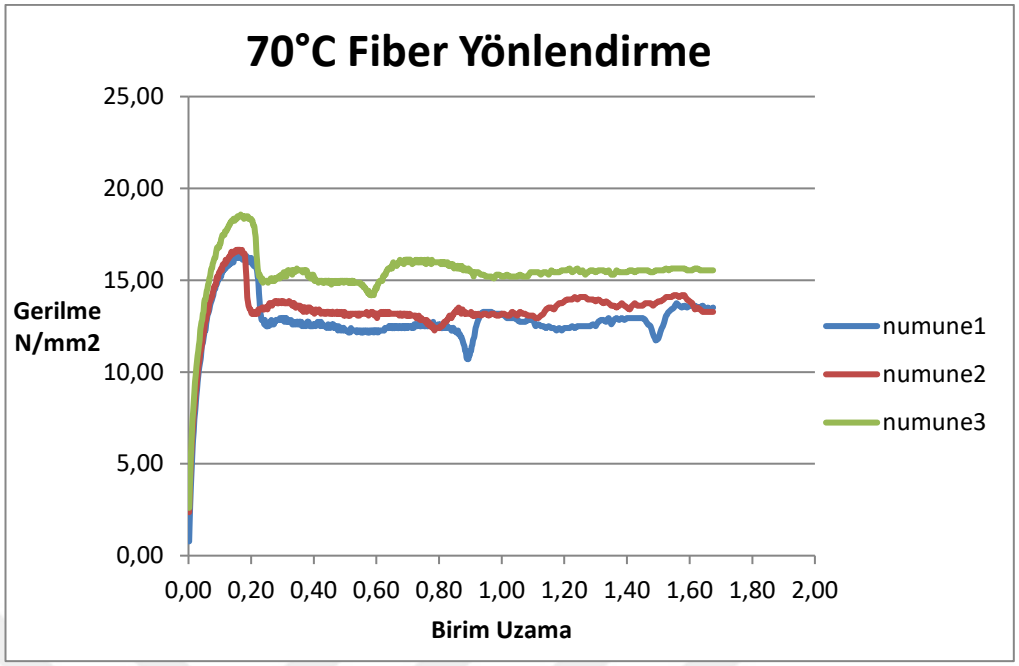
Şekil 4.2. Ekstrüderden çıkan normal fiber gerilme-birim uzama grafiği

60°C de yönlendirilmiş fiberde çekme mukavemeti 17-20 N/mm^2 arasındadır. Fiber boyunca kesit çapı homojendir.



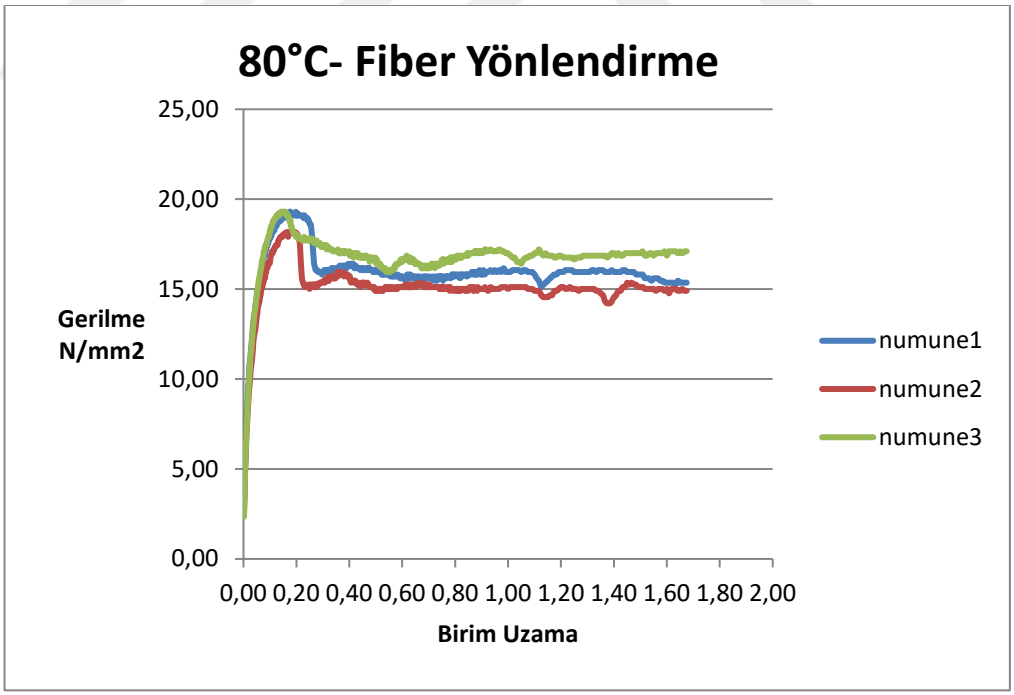
Şekil 4.3. 60°C de yönlendirilmiş fiber gerilme-birim uzama grafiği

70°C de yönlendirilmiş fiberde çekme mukavemeti 16-18 N/mm^2 arasındadır.



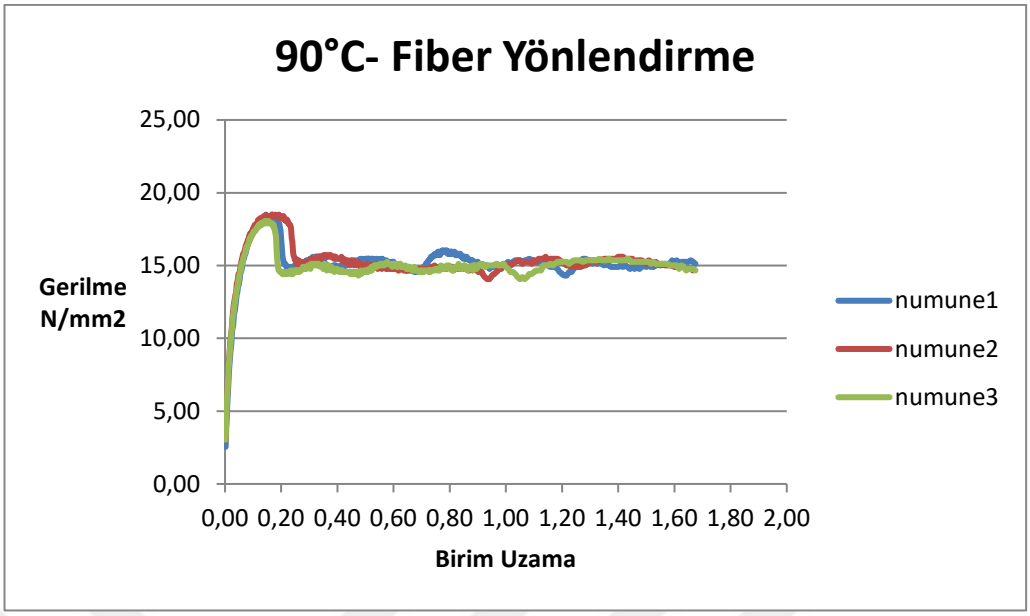
Şekil 4.4. 70°C de yönlendirilmiş fiber gerilme-birim uzama grafiği

80°C de yönlendirilmiş fiberde çekme mukavemeti 17-18 N/mm^2 arasındadır.



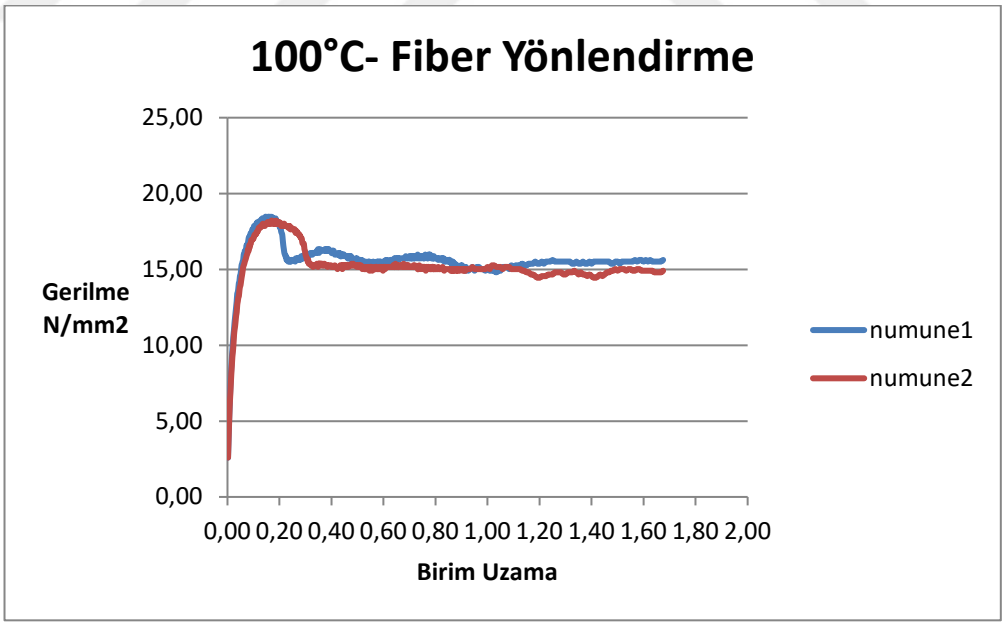
Şekil 4.5. 80°C de yönlendirilmiş fiber gerilme-birim uzama grafiği

90°C de yönlendirilmiş fiberde çekme mukavemeti 18 N/mm^2 dir



Şekil 4.6. 90°C de yönlendirilmiş fiber gerilme-birim uzama grafiği

100°C de yönlendirilmiş fiberde çekme mukavemeti 18 N/mm^2 dir. Fiberin her bölgesi aynı özelliği göstermektedir. Ancak yönlendirme esnasında sık sık kopma problemi yaşanmıştır.



Şekil 4.7. 100°C de yönlendirilmiş fiber gerilme-birim uzama grafiği

Bu grafiklere göre elde edilen Elastisite modülleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Fiberlerin Elastisite modül tablosu

Proses şartları	**Elastisite modülü E** (MPa)
Ekstüzyondan çekilen filament	313
60°C yönlendirilmiş fiber	318
70°C yönlendirilmiş fiber	311
80°C yönlendirilmiş fiber	**325**
90°C yönlendirilmiş fiber	317
100°C yönlendirilmiş fiber	328

Fiberlerin HDPE orijinal malzeme tedarikçi beyanındaki yoğunluk değeri 0,959 gr/cm^3 tür. Ölçülen yoğunluk değerleri aşağıdaki tablodaki gibidir. Yoğunluklarda ciddi bir değişim görülmemektedir.

Tablo 4.2. Fiberlerin yoğunluk ölçüm tablosu

Yoğunluk Değerleri (gr/cm^3)		
	Ortalama yoğunluk	**% artış**
Ekstrüzyonda çekilen numune	0,938	0
60°C yönlendirilmiş fiber	0,946	0,85
70°C yönlendirilmiş fiber	0,943	0,53
80°C yönlendirilmiş fiber	0,940	0,21
90°C yönlendirilmiş fiber	0,940	0,21
100°C yönlendirilmiş fiber	0,940	0,21

Fiberlerin HDPE orijinal malzeme tedarikçi beyanındaki MFI değeri 0,55 gr/10 dak'dır. Ölçülen MFI değerleri Tablo 4.3 de verilmektedir. MFI değerlerinde de çok az bir düşme olduğu gözlenmemiştir.

Tablo 4.3. Fiberlerin MFI ölçüm tablosu

190°C/5 kg - MFI Ölçümleri (gr/10 dak)	
	MFI
Ekstrüzyonda çekilen numune	0,502
60°C yönlendirilmiş fiber	0,509
70°C yönlendirilmiş fiber	0,483
80°C yönlendirilmiş fiber	0,49
90°C yönlendirilmiş fiber	0,502
100°C yönlendirilmiş fiber	0,501

4.2. Basınç Testi Sonuçları

Basınç testinde karşılaştırma yapılacak ürünler şu şekilde elde edilmiştir. İlk numuneler katmansız yani klasik HDPE (PE100) malzemeden tek proseste enjeksiyon yöntemiyle elde edilmiş olanlardır. Diğer numuneler 80°C ve 90°C de yönlendirilmiş fiberlerle elde edilmiş, aynı çap ve et kalınlığına sahip numunelerdir. 60°C ve 70°C de yönlendirilen fiberlerin çekme dayanımları tekrar eden testlerde aynı değerleri vermediğinden kullanılmamıştır. Her gruptan dörder adet numune teste tabi tutulmuş ve sonuçlar buna göre karşılaştırılmıştır.

Elde edilen ürünler TS EN 12201 standardına göre değerlendirilip test edilmiştir. Standarda göre PE100 hammadde için SDR11 (SDR: et kalınlığının çapa oranı) et kalınlığındaki ürün 16 bar (PN16) dayanıma sahip olacaktır.

Elde edilen numuneler 63 mm çapında boru formunda olup et kalınlığı ölçümlerinde parçasının SDR11 serisine karşılık gelen 5,8 - 6,5 mm ölçü toleransı içinde olduğu görülmüştür.

Standart olarak enjeksiyonda tek seferde üretilen klasik ürünler 16 bar basınca dayanıklı işletme şartlarında kullanılmaktadır. Yönlendirilmiş fiber ile katmanlı olarak üretilmiş olan ürünler ise SDR9 standardına yani 20 bar işletme şartlarında çalışacak şekilde hidrostatik basınç yöntemiyle test edilmiştir.

Tablo4.4. TS EN 12201 standardı et kalınlığı, basınç ilişkisi tablosu

Çizelge 2 – Et kalınlıkları

Ölçüler mm'dir

	Boru serileri											
	SDR 6 S 2,5		SDR 7,4 S 3,2		SDR 9 S 4		SDR 11 S 5		SDR 13,6 S 6,3		SDR 17 S 8	
	Anma basıncı, PN[a], bar											
PE 40	-		PN 10		PN 8		-		PN 5		PN 4	
PE 63	-		-		-		PN 10		PN 8		-	
PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10		PN 8	
PE 100	-		PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10	
Anma boyutu	Et kalınlığı[b]											
	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$	$e_{en\ az}$	$e_{en\ çok}$
16	3,0[c]	3,4	2,3[c]	2,7	2,0[c]	2,3	-	-	-	-	-	-
20	3,4	3,9	3,0[c]	3,4	2,3	2,7	2,0[c]	2,3	-	-	-	-
25	4,2	4,8	2,5	4,0	3,0[c]	3,4	2,3	2,7	2,0[c]	2,3	-	-
32	5,4	6,1	4,4	5,0	3,6	4,1	3,0[c]	3,4	2,4	2,8	2,0[c]	2,3
40	6,7	7,5	5,5	6,2	4,5	5,1	3,7	4,2	3,0	3,5	2,4	2,8
50	8,3	9,3	6,9	7,7	5,6	6,3	4,6	5,2	3,7	4,2	3,0	3,4
63	10,5	11,7	8,6	9,6	7,1	8,0	5,8	6,5	4,7	5,3	3,8	4,3
75	12,5	13,9	10,3	11,5	8,4	9,4	6,8	7,6	5,6	6,3	4,5	5,1

Testler ortam sıcaklığında TS EN 12201- standardındaki yer alan 20°C'de 100h (saat) hidrostatik gerilme testine göre yapılmıştır.

Tablo 4.5. 20°C de hidrostatik basınç deneyi tablosu

Çizelge 4 - Mekanik özellikler

Özellik	Gerekler	Deney parametreleri		Deney yöntemi
		Parametreler	Değer	
20 °C'ta hidrostatik mukavemet	Deney esnasında deney parçalarında hasar görülmemelidir.	Uç kapaklar	Tip A[a] EN ISO 1167-1	EN ISO 1167-1 ve EN ISO 1167-4
		Şartlandırma süresi	EN ISO 1167-1'e uygun olmalıdır	
		Deney parçalarının sayısı[b]	3	
		Deney tipi	Su içinde suda	
		Deney sıcaklığı	20°C	
		Deney süresi	100 h	
		Çevre (halka) gerilmesi[c]		
		-PE 80 için	10,0 MPa	
		-PE 100 için	12,0 MPa	

Test basıncı EN ISO 1167-1 göre hesaplanmıştır. Test sistemini şekildeki gibi hazırlanıp 20°C su ortamında, 100 saat süreyle yapılmıştır.

4.3. Test basıncı hesabı

Test basıncı üç farklı şekilde hesaplanabilir.

1. Ölçülen et kalınlığı ve çapa göre:

$$P = 10\tau \frac{2e_{\min}}{d_{em} - e_{\min}}$$

P=	Test basıncı	bar
τ=	Çevresel gerilme	MPa
e_{min}	Ölçülen minumum et kalınlığı	mm
d_{em}=	Ölçülen dış çap	mm

2. Nominal et kalınlığı ve çapa göre:

$$P = 10\tau \frac{2e_n}{d_n - e_n}$$

P=	Test basıncı	bar
τ=	Çevresel gerilme	MPa
e_n=	Nominal et kalınlığı	mm
d_n=	Nominal dış çap	mm

3. SDR oranına göre:

$$P = \frac{2(10\tau)}{SDR - 1}$$

P= Test basıncı bar

τ= Çevresel gerilme MPa

SDR= Et kalınlığının çapa oranını gösteren standart oran

Test basıncında mevcutta olmayan bir et kalınlığı oranına göre test basıncını hesaplayacağımızdan 3. Formül bizim için daha uygun olacaktır.

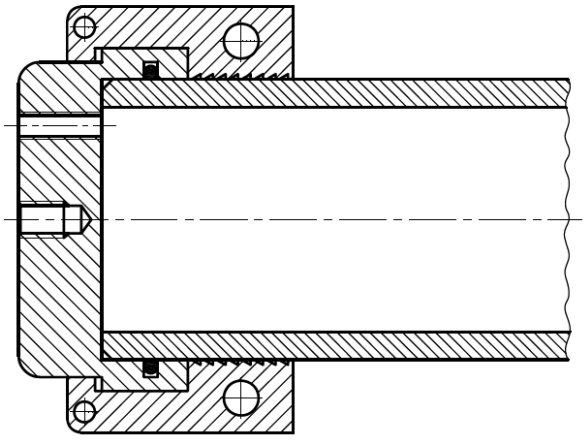
Ürün standardı SDR11 ürün olsaydı:

$$P = \frac{2(10*12)}{11-1} = 24 \text{ bar}$$

Test basıncı ile test edilmeliydi. Ancak biz ürünü SDR9 olarak değerlendirerek test edeceğimizden

$$P = \frac{2(10*12)}{9-1} = 30 \text{ bar}$$

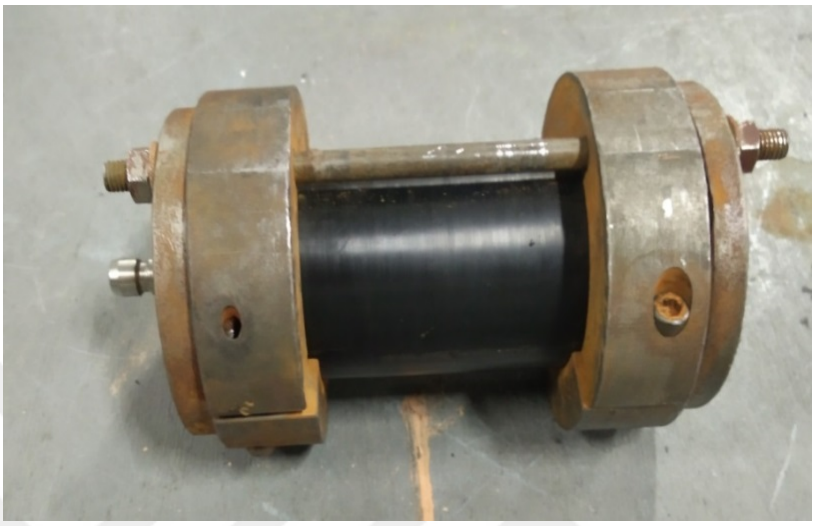
Test basıncı 30 bar olarak tespit edilmiş ve testler buna göre yapılmıştır.



Şekil .4.8. Test edilecek numunenin açık uçlarının kapama bağlantısı

4.4. Boru parçası test sonuçları

Toplam 3 farklı proses şartlarında dörder numune elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin dış görünüş ve ölçüleri aynıdır.



Şekil 4.9. Basınç testi için hazırlanmış numune

4.4.1. Direk EnjeksiyonTest Numunesi

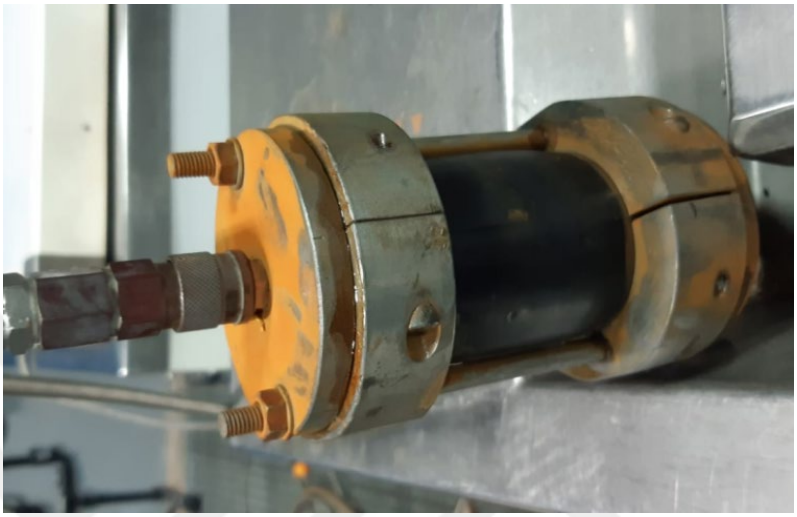
Fiber sarımı uygulanmayan, katmansız direk klasik enjeksiyon prosesi ile elde edilmiş numunedir.Yapılan testte numuneler 30 bar basınç altında 4,5 saat sonunda orta kısımdan şişerek fıçı-balon formu oluşturarak hasar görmüş ve patlamıştır (Şekil 4.9). Testi geçememiştir.



Şekil 4.10. Direk enjeksiyon numunesinin test sonucundaki hasarlı hali

4.4.2. 80°C Fiber Sarımlı Test Numunesi

80°C de yönlendirilmiş olan fiberlerin sarılarak üzerine enjeksiyon kalıplama uygulanmış numunelerdir. Yapılan testte 100 saatin sonunda numuneler 30 bar basınç altında hafif şişme gösterek testi geçmiştir.



Şekil 4.11. 80°C fiber sarımlı numunenin test sonundaki kısmi hasarlı hali

4.4.3. 90°C Fiber Sarımlı Test Numunesi

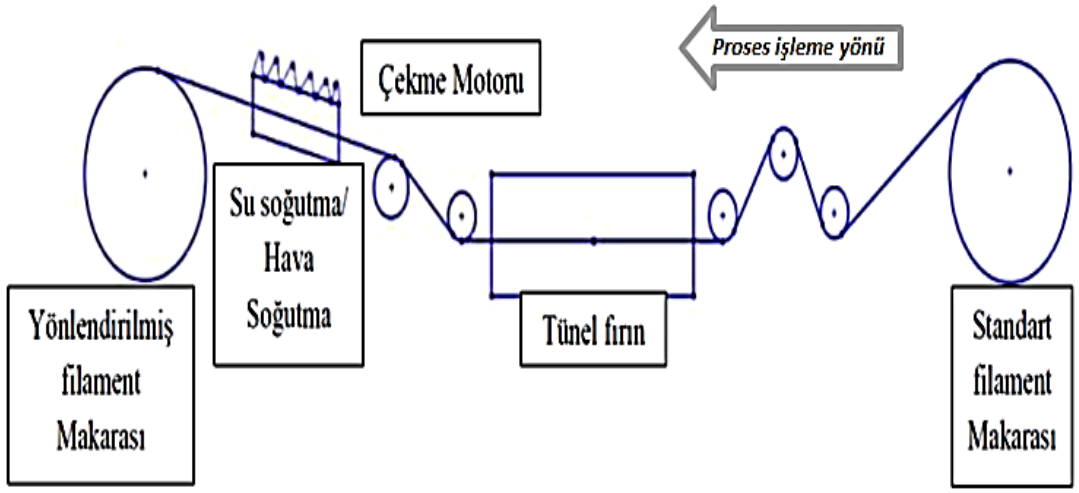
90°C de yönlendirilmiş olan fiberlerin sarılarak üzerine enjeksiyon kalıplama uygulanmış numunelerdir. Yapılan testte 100 saatin sonunda numuneler 30 bar basınç altında deformasyona uğramadan testten geçmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.12. 90°C fiber sarımlı numunenin test sonundaki hasarsız hali

4.5. Fiber Yönlendirme İkinci Aşama Çalışması

İkinci aşama çalışmasında fiberlerin mukavemetini arttırmaya yönelik olarak fiber oryantasyonunda ek bir soğutma işlemi uygulanmıştır. Böylelikle fiber çekimi esnasında kazanılmış moleküler yönlendirme ani soğutma ile kayba uğramadan bünyesinde kalması hedeflenmiştir. Bu da çekme mukavemetini kayda değer şekilde arttırmıştır.



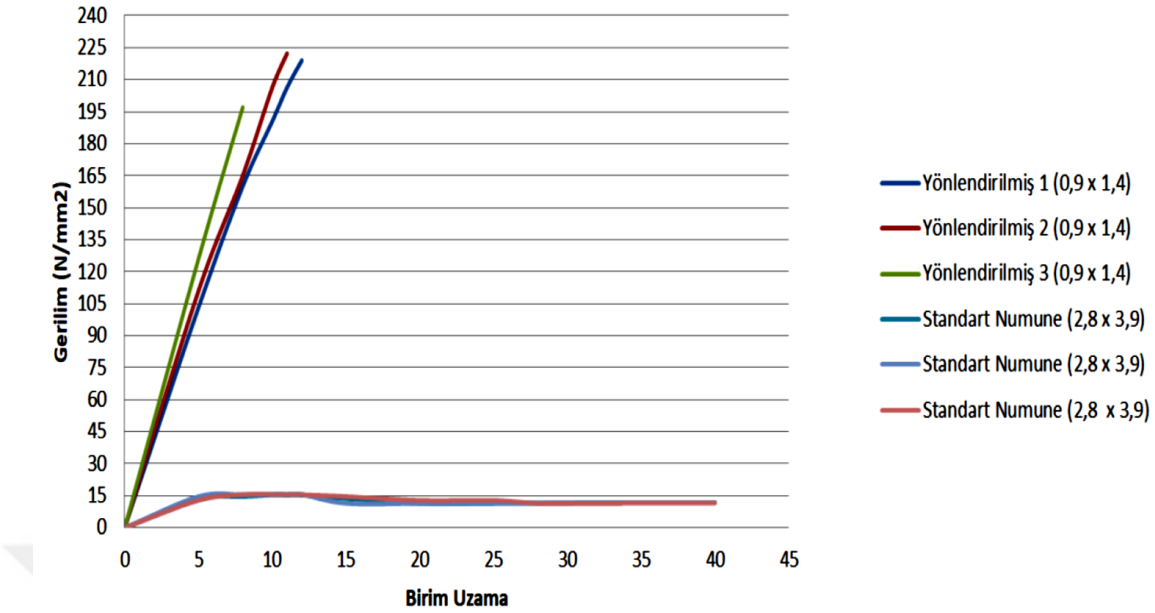
Şekil 4.13. Fiber yönlendirmede ikinci aşama şeması

Fiberlerin yönlendirme işlemi sırasında uygulanan proses şartları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. İkinci aşama fiber yönlendirmede uygulanan proses şartları

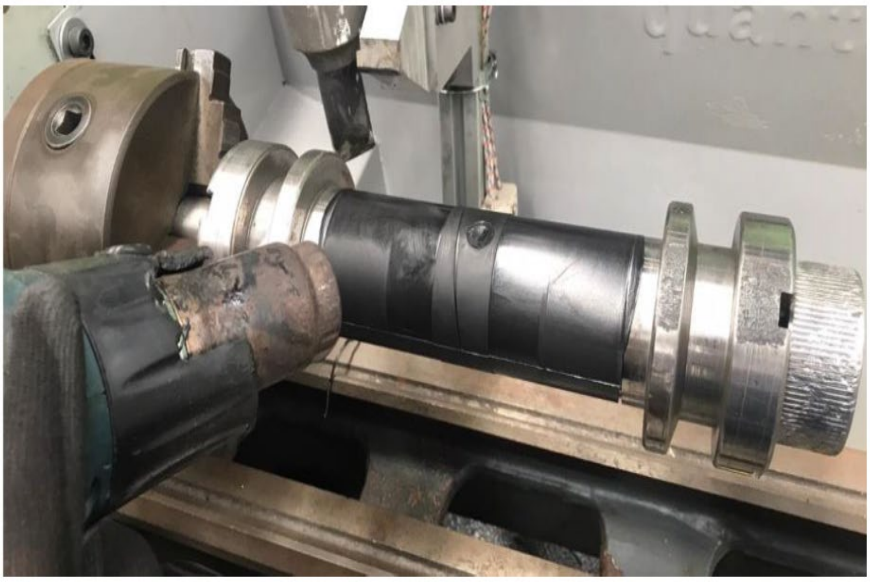
FİBER YÖNLENDİRME PROSES ŞARTLARI						
Standart Flament Kesit Ölçüleri	Tünel Fırın Sıcaklığı	Flament sıcaklığı	Çekme Hızı	Soğutma Türü	Soğutma Sıcaklığı	Yönlendirilmiş flamen kesit ölçüleri
2,9x3,95 mm	300°C	100°C	10m/dak	Su	15-20°C	0,9x1,4 mm

Bu proses şartlarında elde edilen fiberlerin çekme deney sonuçları Şekil 4.13'de gösterilmektedir. Numunelerdeki çekme mukavemeti ciddi oranda artarak 195-225 MPa değerlerine ulaşmıştır. Birim uzamada ise azalma görülmüştür.

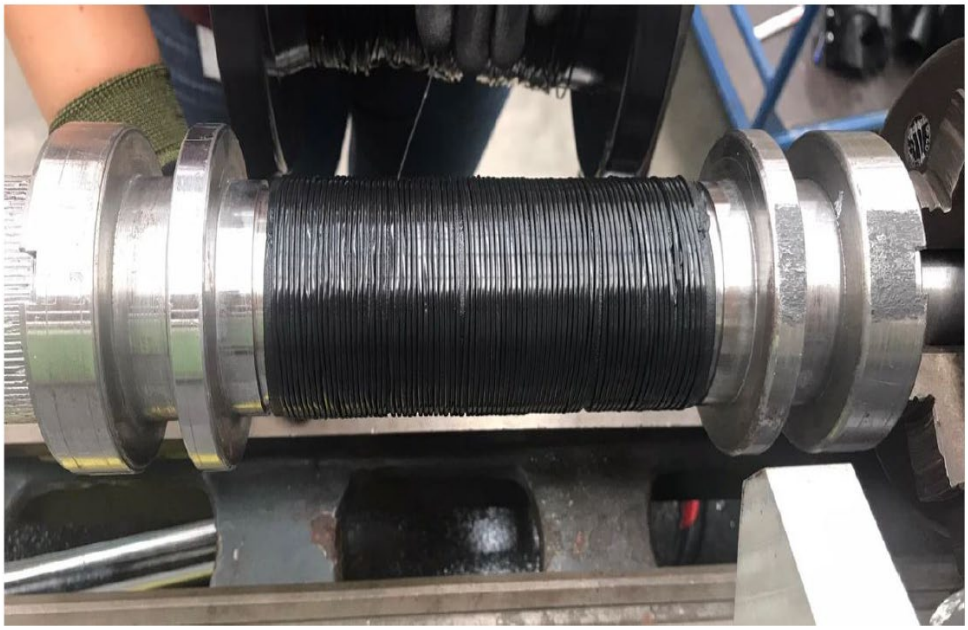


Şekil 4.14. Yönlendirilen fiber gerilme-birim uzama grafiği

Bu şekilde elde edilen fiberler daha sonra 2. katman olarak pet üzerine sarılmıştır. Bu uygulamada hava tabancası ile pet 180°C sıcaklıkta ısıtılmış ve ardından fiber sarılması işlemi fiber çapı adımında boşluksuz şekilde sarılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15. Hava tabancası ile ısıtma işlemi



Şekil 4.16. Fiber sarma işlemi sonundaki numune

Sarım işlemi uygulanmış numuneler 3. katman için enjeksiyon kalıplamaya alınmış Tablo 4.7'deki proses şartlarında numuneler basılmıştır.

Tablo 4.7. Enjeksiyon proses değerleri tablosu

	Birim	**Değer**				
Enjeksiyon süresi	Saniye (sn)	8				
Ütüleme basıncı	bar	40				
Ütüleme süresi	sn	40				
Soğuma süresi	sn	80				
Enjeksiyon Basıncı	bar	50				
Ocak sıcaklıkları	°C	1. bölge 205	2. bölge 210	3. bölge 205	4. bölge 200	5. bölge 190

Enjeksiyon prosesi sonucu test edilecek boru-ekleme numunesi elde edilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Enjeksiyonda elde edilmiş boru numunesi

Elde edilen boru numunesi testlere tabi tutulmak üzere hazırlanmıştır. Uygulanacak basınç değerleri aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir.

$$P = \frac{2(10\tau)}{SDR - 1}$$

SDR 7.4 yani 25 bar basınca dayanacak şekilde hesaplanmıştır.

$$P = \frac{2(10*12)}{7{,}4-1} = 37{,}5 \text{ bar}$$

Elde edilen ürün 37,5 bar basınçta 20°C de 100 saat test edilmiş ve bu testten hasar görmeden başarıyla geçişmiştir (Şekil 4.17). Standartlarda numuneler belirtilen 20 ve 25 bar için bu değerlerin %50'si üzerinde test edilmektedir



Şekil 4.18. 25 Bar Testini geçen Numunenin resmi

Tablo 4.8. Hidrostatik basınç testi sonuç tablosu

	20 bar testi (30 barda 100 saatlik test)	**25 bar (37,5 barda 100 saatlik test)**
Standart üretilen numune (katmansız)	patladı	patladı
80 °C yönlendirilmiş numune	şişerek geçti	patladı
90 °C yönlendirilmiş numune	geçti	patladı
ikinci aşama ani su soğutmalı 100°C yönlendirilmiş katmanlı numune	geçti	geçti

Yapılan çalışma sonucunda genel olarak sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- HDPE (PE100) polimer malzeme ile klasik olarak Standart 16 bar işletme basıncında çalışan boru ve ekleme parçalar, katmanlı üretim tekniği ile 25 bar basınca dayanıklı (%56) olarak üretilmiştir.

- Et kalınlığını arttırmadan HDPE boru numunesi daha yüksek basınç sınıfına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Aynı et kalınlığında 25 bar basınç değerlerine ulaşan yerli bir ekleme ürünü elde edilmiştir.
- PE100 malzemeden kalın filament ve ardından fiber üretim tekniği ile mevcut çekme mukavemeti 18 MPa dan 225 MPa a çıktığı tespit edilmiştir.
- Geliştirilen boru numunesi standart ürün ile aynı ölçüsel boyutta, görünüşte ve kimyasal yapıda olmasına rağmen daha iyi mekanik özelliklere sahiptir.
- Katmanlı boru ve ekleme parçası üretiminde yeni bir üretim tekniği kullanılmıştır. B teknik üç farklı üretim yönteminin (enjeksiyon, ekstrüzyon, kalın fiber çekimi-yönlendirme) ve yeni sarım tekniğinin bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen katmanlı ürün %100 geri dönüşebilen bir ürün olmuştur. Farklı katkı malzemeleri kullanmak mukavemet artışı sağlasa da genelde çevreci olmamaktadır.
- Sağlık ve gıda standartlarına uyumlu bir ürün elde edilmiştir.

BÖLÜM 5.TARTIŞMA VE ÖNERİLER

HDPE türü PE100 malzemeden iç yapısı yönlendirilerek katmanlı yeni bir üretim tekniği geliştirilmiştir. Üretilen boru şeklindeki ekleme parçaları aynı et kalınlığında mevcut ekleme parçalarına oranla % 56 daha yüksek basınca dayanıklı hale getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar SDR11 PE100 boru için Egeplast firmasının EP 1 752 276 A1 ve DE 10 2013 105 202 A1 patentleri ile koruma altına alarak geliştirdiği borularla aynı şekilde 25 bar basınç dayanımları sağladığını göstermiştir.

Bu basınç dayanımı katmanda kullanılan yönlendirilmiş PE100 zincirli katmanın yönü ve polietilen fiberlerlerin yönlendirme ve kristalize oranına bağlı olarak çok daha yükseltilebilir. Bu konuda optimum değerlerin elde edilmesi için, daha çok test ve çalışma yapılmalıdır.

Yapılan yüksek lisans çalışmasının devamında çalışmanın daha ileriye götürülmesi hedeflenerek bazı önerilerde bulunulabilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Bu testler standart 20°C de 100 saatlik testler için yapılmıştır. 80°C de 165 saat ve 80°C de 1000 saatlik ömür testleri için bu testlerin yapılması faydalı olacaktır.
2. Fiberler 1 kat sarım dışında, 2 kat sarım uygulanarak çalışmalar yapılabilir. Böylece daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılabileceği araştırılabilir.
3. Fiberler farklı sarım teknikleri kullanılarak (örneğin ilk katmanı düz, ikinci katmanı çapraz şekilde) testlere tabi tutulabilir.
4. Fiber sarım işlemi farklı şekilli ekleme parçaları için uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Bobo, E.(2013) Development of a controllable polymer system using interpenetrating networks. Mechanical (and Materials) Engineering -- Dissertations, Theses, and Student Research. Paper 53.
- Boing Dreamliner 737. Erişim adresi: https://www.usatoday.com/story/travel/flights/todayinthesky/2018/11/16/first-look-united-airlines-shows-off-its-first-boeing-787-10-dreamliner/2029196002/
- Bunsell A.R ve Schwartz P. (2009) Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres
- Callister W.D. ve Rethwisch D.G. (2011). Materials Science and Engineering (8th Edition). Wiley
- Demirer A. (2018) Polimer teknolojisi ve Kalıplama Prosesi Ders Notları. Hafta 3. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniv.
- Designtechnology. Erişim adresi : http://designkmg.weebly.com/plastics.html
- Egeplast (2016). Pipe systems safeguarding future generations product range catalog
- Fıratpex (2016). Fırat Plastik Ürün Kataloğu
- Injectionmouldingworld. Erişim adresi : https://injectionmouldingworld.com/tooling/
- Kalaycı E.,Avinç O.O.,Yavaş A. (2016) Marmara Fen Bilimleri Dergisi 1: 13-34, DOI:10.7240/mufbed.51868
- LyondellBasell Industries. A Guide to Polyolefin Injection Molding, Houston, TX 77252-3646 United States
- McKenna H.A., Hearle J.W.S., O'Hear N. (2004) Handbook of Fibre Rope Technology- Woodhead Publishing
- Multimedia Design and Technology Education. Erişim Adresi : http://www.notesandsketches.co.uk

- Mühendislik Plastikleri. Erişim adresi https://megapolimer.com/tr/muhendislik-plastikleri-hakkinda/
- Oktay H.E. ve Gürses E. (2013) Yarı Kristal Malzemelerin Çok Ölçekli Modellenmesi. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi. 26-30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Otomotivde Kullanılan Termosetler (2019) Erişim adresi: http://www.kompozit.org.tr/tr/thermoplastic-overmolded-thermosets/
- Plastik Teknolojisi, (2011) Ekstrüzyon Makinelerinde Üretim, Erişim adresi: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf
- Roiter Y. ve Minko S. J. (2005). Am. Chem. Soc. 127(45), 15688-15689
- Romeorim. Erişim adresi: https://romeorim.com/thermoset-vs-thermoplastics/
- Saçak M. (2018). Polimer Kimyası.
- Saçak M. (1998). Polimer Kimyasına Giriş
- Sobieraj M.C. , Rimnac C.M. (2013) Ultra High Molecular Weight Polyethylene: Mechanics, Morphology, and Clinical Behavior, J Mech Behav Biomed Mater
- Teknik Tekstiller(2017) Erişim Adresi: http://www.tekniktekstiller.com/articles/uhmwpe-ultra-yuksek-molekuler-agirliga-sahip-polietilen-lifleri/
- Timoçin E.M. (2012). Baraj ve Hes Yapılarında Kullanılan Hidromekanik Teçhizat Örnekleri. 1. Barajlar Kongresi
- Wagner J.R. ve Giles H.F. (2014) Extrusion (second edition)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Erkan DEMİRCAN

E-Posta : [redacted]

İş Deneyimi : 27 yıl

05.2005-06.2020 N TG PLASTİK A.Ş. Sakarya, Türkiye

Arge Müdürü (15 yıl)

Firma içme suyu ve doğalgaz hatları için PE100 ekleme parçası üretmektedir. Robot otomasyonlu plastik üretim tesisi 20 gr dan 60 kg kadar enjeksiyon üretim yapmaktadır. Üretiminin %85 ini ihraç 60'ın üzerindeki ülkeye ihraç etmektedir.

2005 yılında Onur Elektrik firmasının diğer firması olarak, kuruluşundan itibaren tüm süreçlerinde yer aldım. Ürün geliştirme, kalıphane, laboratuvar, CNC işleme, metal işleme, plastik enjeksiyon bölümlerinin kurulum süreçlerini yönettim. Sakarya'daki yeni fabrikasının devreye alınması süreçlerinde rol aldım. Tüm kalıplarının ve robotlu otomasyon sistemlerinin tasarımı yapımı ve devreye alınmasında süreçleri yönettim.

2017 yılında arge merkezi kurulumunu ve belgelendirmesi sürecini yönettim. 2020 yılı haziran ayına kadar arge müdürü olarak görev yaptım.

09.2001-05.2005 ONUR ELEKTRİK A.Ş. İstanbul, Türkiye

Kalıphane Müdürü (4 yıl)

Elektrik sektöründe grup priz, akıllı sayaç, sigorta gibi ürünler üreten firmanın kalıphane, plastik üretim ve metal üretim bölümlerini yönettim. Plastik enjeksiyon, kesme ve sıvama kalıpları yapımı devreye alınması, plastik ve metal üretimlerinin yapılması ile ilgili tüm süreç ve işlerin koordinasyonunu gerçekleştirdim. Daha sonra aynı grubun diğer şirketinin kuruluş ve organizasyonunda görev aldım.

09.1999-09.2001 AKKURT HAVACILIK A.Ş. İstanbul, Türkiye

Kalıphane Müdürü (2 yıl)

Havacılık ekipmanları ve uçak içi kabin aksamı üreten firmada ürün geliştirme ve devreye alma süreçlerinde çalıştım. kabin içinde kullanılan koltuklardan, yemek taşıma arabalarına, ısıtma sistemlerinden acil durum ekipmanlarına kadar pek çok ürünün dizaynı kalıplarının yapılması ve ürünlerin devreye alma süreçlerini yönettim.

09.1994-09.1998 GÜÇLÜ KALIP LTD ŞTİ İstanbul, Türkiye

Teknik Müdürü (4 yıl)

Yurtiçi ve Yurtdışı Müşteriler için alüminyum ve plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Müşteri ilişkileri yönetilmiştir.

EĞİTİM

09.2016-01.2019 Fen Bilimleri Fakültesi – Mühendislik Yönetimi Yüksek Lisans

2.64/4.00

Sakarya Üniversitesi

Sakarya, Türkiye

09.1990-09.1994 Makina Mühendisliği

63/100

Gazi Üniversitesi

Ankara, Türkiye

09.1987-09.1990 Makina

Kartal Endüstri Meslek Lisesi

İstanbul, Türkiye

YABANCI DİL

İngilizce

YETENEKLER/YETKİNLİKLER

Ürün yönetimi
Proje yönetimi
Plastik enjeksiyon teknolojisi
Kalıp teknolojisi
Cad/Cam
Arge
Teşvik Yönetimi

KULLANDIĞI PROGRAMLAR

Solidworks
Autocad
Surfcam
Esprit
Cimatron

YAYINLAR

1- Erkan DEMİRCAN , Polietilen Zincirlerinin Yönlendirilmesi. IMASCON 2020 Spring 19-20.06.2020- http://imascon.com/dosyalar/imascon2020bahar/imascon_fen_bildiriler_tammetin_bahar_2020.pdf