

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C. YÖNEKLEME VE İZLENME BAKANLIĞI
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ

TESİSATLARDA KULLANILAN PLASTİK
BORULARIN SICAKLIK ve BASINÇ ETKİSİ İLE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ

Mak.Müh. Hüdaverdi UĞURLU

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Isı Proses Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. İsmail TEKE

Prof. Dr. Hasan Heperkan

Prof. Dr. Bahri Şahin

İSTANBUL, 1997

67755

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
1.GİRİŞ.....	1
2.İÇME ve ATIK SU BORULARINDAKİ EN YAYGIN PLASTİKLER..	2
3.PLASTİKLERİN YAPISI.....	5
3.1.Plastiklerin Kimyasal Yapısı.....	5
3.1.1.Monomerler.....	5
3.1.2.Molekül Zincirlerinin Şekli.....	10
3.2.Plastiklerin Fiziksel Yapısı.....	13
3.2.1.Plastiklerin Molekül Ağırlığı.....	13
3.2.2.Plastiklerin Fiziksel Halleri.....	13
3.2.3.Stero Düzen.....	14
3.2.4.Amorf ve Kristalin Yapı Yönlenme Özelliği.....	16
3.2.5.Plastiklerin Mekanik Davranışı ve Özellikleri.....	19
3.2.6.Amorf Plastik Mekanik Davranışı.....	19
3.2.7.Kısmi Kristalin Plastiklerin Mekanik Davranışı.....	20
3.3.Stabilizatörler.....	22
3.4.Plastiklerde Yorulma.....	23
3.5.Kimyasal Yıpranma.....	24
3.6.Kimyasal Direnç.....	24
3.7.Aşınma Direnci.....	26
3.8.Oksidatif Yıpranma	28
3.9. Hidroliz	28
3.10.Çözülme ve Yumuşama.....	29
3.11.Ortam Etkisi İle Gerilmeli Çatlak Oluşumu.....	29
3.12.Eriyik Akış Hızı.....	30
4.POLYOFİNLER	33
4.1.Polietilen.....	33
4.2.Polipropilen	39
4.3.Polivinil Klorür.....	45
4.4.Cam Takviyeli (Glass-Reinforced) Polyester Borular.....	47
5.ÜRETİM.....	49
5.1.Boru Ekstrüyonu.....	49
5.2.Polipropilen Fitinglerin Enjeksiyon Kalıplaması.....	51
6.DÖŞEME TEKNİKLERİ.....	52
6.1.Sıcaklık ile Doğrusal Genleşme.....	52

6.2.Sihhi Tesisat Döşenmesi.....	53
6.3.Döşmeden Isıtma Tesisatı.....	53
7.PLASTİK BORULAR İÇİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	54
7.1.HDPE, MDPE ve PP.....	54
8.KAYNAK KALİTESİNİ ETKİLEYEN DİĞER FAKTÖRLER.....	55
8.1.Çalışma Ortamı.....	55
8.2.Hizalama.....	55
8.3.Erime Akış Hızı.....	55
9.KAYNAK VE BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ.....	56
9.1.Alın Kaynağı.....	56
9.2.Elektrofüzyon Kaynağı.....	59
9.3.Ekstrüzyon Kaynağı.....	60
9.4.LDPE Boruları.....	61
9.4.1.Mekanik Eşleme.....	61
9.5.PEX, PP-r ve PB Boruları.....	61
9.6.PVC Basınçlı Borular.....	61
9.6.1 Elastik Yuvarlak Conta ile Soket ve Musluk Birleştirmeleri.....	61
9.6.2.Çözücü ile Birleştirme.....	62
9.7.Sürtünme Kaynağı.....	62
9.8.GRP Boruları.....	62
10.PLASTİK BORULARIN DİZAYNI.....	63
10.1.İç Hidrostatik Basınç.....	63
10.2. Dış Hidrostatik Basınç.....	69
10.3 Birleştirme Fitinglerin Sebep Olduğu Sürtünme Kayıpları.....	71
11.BORULARDA PATLAMA TİPİ.....	73
12.PP ve PE İLE İLGİLİ BORU STANDARDLARI.....	74
12.1.PP İle İlgili Boru Standartları.....	74
12.1.1.Avrupa Standardı.....	74
12.1.2.Alman Standartları.....	75
12.2.PE İLE İLGİLİ BORU STANDARDLARI.....	76
12.2.1.Avrupa Standardı.....	76
12.2.2.Türk Standartları.....	76
12.2.3.Alman Standartları.....	77
13.SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	83

Ülkemiz için son derece yeni olan ve sanayi açısından teknik elemanlara ihtiyaç duyulan "Tesisatlarda Kullanılan Plastik Borular" konusunda Tezimi hazırlamamda yol gösteren, şahsımın meslek içerisinde meslek sahibi olmasına vesile olan Kıymetli Hocam Prof.Dr. İsmail TEKE'ye en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Bizlere mühendisçe düşünmeyi öğrettiği, kendimize olan güvenimizi kazandırdığı, bilgi ve tecrübelerini hiçbirzaman bıkmadan, usanmadan defaatle bizlere aktardığı için, bizim gibi talihli talebelerin sayısının artması için, kendilerine sağlıklı ve uzun ömürler diliyorum.

Tezimi hazırlamamda Fabrika imkanlarını kullanmamda hiçbir fedakarlığı esirgemeyen, bilime katkılarından dolayı Dizayn Teknik Plastik Boru ve Elemanları San.veTic.A.Ş.adına Yönetim Kurulu Başkanı İbrahim MİRMAHMUTOĞULLARINA, AR-GE bölümünün kıymetli elemanları; Zekeriya ZENGİ, Erhan TÜREDİ ve Serkan ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Son yıllarda, bütün dünyada şebeke sularının ve endüstriyel atıklarının naklinde kullanılan plastik boruların önemi artmıştır. Belki de bu sektörde dünya üzerinde bilginin ve tecrübenin artması plastikten yapılan borulara olan güveni artırmıştır.

Kullanılan plastik miktarı özellikle boru sektöründe, çok hızlı bir genişleme göstermektedir. Bu esas olarak bina içi ve dışı, temiz ve atıksu borularının dizaynı için doğrudur. Bütün ülkeler aynı eğimi göstermektedir. Cazip fiyat eğilimi de inşaat sektöründeki konvansiyonel borular ile rahatlıkla rekabet etmesine katkıda bulunmaktadır.

Yeni gelişmeler karşısında plastik boru hakkındaki daha fazla bilgilerin yayılması, su tedarikinde ve atıkların tahliyesinde en uygun yolların öğretilmesi gerekmektedir.

1. ve 2. bölümde, boru üretiminde kullanılan plastikler hakkında genel bilgi ve en yaygın tipleri tanıtılmaktadır. 3. bölüm, polimerlerin fiziksel ve kimyasal yapısı hakkındadır. Bölüm 4'te Polietilen, Polipropilen, Polivinil Klorid ve Cam Takviyeli Polyester ile ilgili bilgiler sunmaktadır. 5., 6. ve 7. bölümler sırasıyla üretim, döşeme teknikleri ve plastik boruların birleştirme yöntemlerinden bahsetmektedir. Sekizinci bölüm, kaynak parametreleri ve özellikle PE100 hammaddesinin alın kaynak metodu hakkındadır. 9. Bölüm kaynak kalitesini etkileyen faktörler, 10. Bölüm kaynak teknikleri, birleştirme ve fittinglerin neden olduğu sürtünme kayıpları, 11. Bölüm patlama tiplerinin açıklanması, 12. Bölüm PP ve PE hakkındaki normlardır.

13. bölüm ise sıcaklık ve basıncın Polietilen ve Polipropilen materyalleri üzerindeki etkilerinin incelendiği test sonuçlarının verilmesidir. Bu materyaller tekrar işlenebilme özelliğine sahiptirler ancak içerisinde ihtiva ettikleri bazı katkı maddelerinin eksilmesi ve moleküler zincirlerin kopması ile malzemenin özellikleri kötüleşir, mekanik mukavemeti ve direnci azalır. Materyal üzerindeki bu olumsuz etkiler, kendisini MFR ve yoğunluk değerlerinin değişmesi olarak ortaya çıkar.

ABSTRACT

In recent years throughout the world, the importance of plastic pipes in the design of piping systems for public and industrial water supply and sewage transport has gradually increased. This reflects a growing confidence in plastics as a piping material, perhaps due mainly to greater worldwide knowledge and experience in this field.

The use of plastics is expanding rapidly, and especially in the case of plastic pipes. This is particularly true for pipes designed for water pipes and sewers outdoor and indoors. All industrial countries show the same tendency. The favourable price trend has also contributed to the fact that today plastic pipes are competitive with conventional pipes within the total civil engineering infrastructure branch.

Against the background of such developments, it seems suitable to spread further knowledge of plastic pipes and how they should be used in proper way for water supply and sewage disposal.

First and second chapters are related with general knowledge of plastics that used in pipe manufacturing and common types of plastics for this subject. Third chapter is about physical and chemical structure of polymers. Fourth chapter dealing with polyolefins which comprise polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride and glass-reinforced polyester pipes. Fifth, sixth and seventh are about manufacturing, installation techniques and jointing methods for plastic pipes, respectively. Chapter 8 new welding parameters for PE pipes, especially for type of PE 100. Chapter 9 factors which affect welding quality. Chapter 10 welding techniques and later loss of friction caused by joints and fittings. Chapter 11 is explain kind of fracture. Chapter 12 norms about PE and PP pipes.

Last part gives result of the test that what is the effect of heat and pressure on material. Polyethylene and Polypropylene are recyclable material that it can be used again for producing same product but each time material lost its additives and broken long chains into small ones. At the same time deteriorate their mechanical strength and resistance. Change of density and MFR relatively show these effects on the material.

1.GİRİŞ

Son yıllarda dünyada kamunun ve endüstrinin içme suyu tedarikinde ve atık suların naklinde, plastik boruların kullanılması tedrici olarak artmaktadır. Bu eğilim, plastik boruya olan güvenin metal boruya olan güvene erişmesini, belkide dünyadaki kullanım bilgisinin ve tecrübelerin artmasını yansıtır.

Plastik, hammadde olarak petrolün kimyasal bileşimlerinden üretilir. Dünya üzerinde tüketilen petrolün %4 'ü plastik üretimi için geri kalanı ise nakil ve ısıtma sistemlerinde kullanılır. Plastik boru kullanımı hakkında bir fikir vermesi açısından aşağıda yıllara göre tespit edilen üretim miktarları verilmiştir.

1960'tan 1970'e kadar kadar İskandinav ülkelerinde toplam PVC kullanımı 30 000 tondan 150 000 tona artmıştır ve 1985 yılında bu rakam 270 000 tona erişmiştir. Aynı zaman diliminde Yüksek Yoğunluk Polietilenin artışı 20 000'den 60 000, 1985'te de 175 000 tona çıkarken, Alçak Yoğunluklu Polietilen 85 000'den 500 000'e çıkmıştır.

Plastiğin özellikle boru olarak kullanılması hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu özellikle içme ve atık sularının bina içi ve dışı kullanımları için doğrudur. Tüm endüstriyel ülkelerde de aynı eğilimler görülmektedir. Batı Avrupa ülkelerindeki boru üretimindeki artış 1985'te 1.4 milyon ton iken, bunun 1993'te 2.2 milyon ton değerine ulaştığı misal olarak verilebilir. Amerika'daki değerlere bakılınca 1986'da 1.8 milyon ton ve 1993'te 2.2 milyon ton 'dur.

İleriki yıllarda Avrupadaki artış miktarı yıllık Polietilende %7, Polipropilen %10 ve PVC % 2 olarak tahmin edilmektedir.

Elverişli fiyatı da, altyapı mühendisliğinde yaygın olan klasik boruların yerine kullanılmasına katkıda bulunmaktadır.

2.İÇME VE ATIK SU BORULARINDAKİ EN YAYGIN PLASTİKLER

Termoplastik polietilen ve UPVC (Plastikleştirilmemiş Polivinil Klorür) boru sistemlerinde en çok kullanılanlarıdır. Üçüncü plastik malzemesi ise cam takviyeli polyeester olan termoset borulardır. Değişik üretim metodları, takviyelendirilmiş ipliklerin çeşitlendirilmesinde, reçine ve dolgu malzemesi için mümkündür. Hepsi termoplastik olan Polipropilen, Polibütlen, Acrilik Bütaden Stiren (ABS) vs. üretimi aynı metod ile dir.

Tablo2.1 (Janson,1995) Daha basit olması açısından aşağıda ifade edilecek kısaltmalar kullanılacaktır.

Polietilen	PE
Plastikleştirilmemiş Polivinil Klorür	PVC
Cam Takviyeli Polyester	GRP
Düşük Yoğunluklu Polietilen	LDPE
Orta Yoğunluk Polietilen	MDP
Yüksek Yoğunluk Polietilen	HDPE
Polipropilen	PP
Polietilen Çapraz Bağlı	PEX veya XLPE

Son yıllarda mukavemet özellikleri HDPE gibi hatta daha mukavim ve yüksek sıcaklıklar için, daha yüksek esnekliğe sahip birkaç değişik tipte MDPE üretilmiştir. Halihazırda ısıtma sistemlerindeki sıcak su hatlarında kullanılmakta olan PP borularla birçok konuda rekabet edebilirler. PEX borular, PP ve PB gibi yüksek sıcaklık mukavemeti gösterdiğinden döşmeden ısıtma sistemlerinde de kullanılabilir. Moleküllerin kroslink hale getirilmesi için birkaç yöntem geliştirilmiştir.

Mevcut amaç uzun dönem mukavemetinin artırılması, sıcaklığa mukavemetinin artırılması ve işlenebilirliğinin geliştirilmesidir. Plastiklerin akış özellikleri kalıplama yöntemiyle fitting üretimi için özellikle geliştirilmiştir. Boru uygulamalarında istenilen mukavemetinde herhangi bir azalma meydana gelmeden esnekliğinin artmasıdır. En son geliştirilen; LDPE kadar esnek olan, mukavemeti HDPE'den çok az düşük olan LLDPE (lineer düşük yoğunluklu polietilen)'dir. Diğer son bir gelişme ise mukavemet özellikleri önemli derecede, mevcut HDPE'den yüksek olan yeni cins HDPE'dir. Bu yeni cins PE 100 olarak adlandırılmaktadır, ve klasik polietilenlerle karşılaştırıldığında takribi olarak %35 et kalınlığında malzeme tasarrufu sağlar ve özellikle basınçlı su hatlarında (PN10) kullanılır.

Tablo 2.2 (Janson,1995)

Plastik Tipi	Kısalt.	İlk Üretim	Yoğuluk (Kg/m ³)	Dizayn Çev Gerilim (+20) MPa	Boru Çapı Ø (mm)
Polivinil Klorür	PCV-U	1935	1400	10.0-14.0	40-630
Polietilen	LDPE	1945	930-940	2.5-3.2	16-160
Polietilen	HDPE	1955	950-965	5.0-6.3	25- 1600
Polipropilen	PP	1955	910-925	5.0*	25-1200
Polibütan	PB	1955	920	5.0*	25-160
Polyester	GRP	1955	1700	100	200-2400
Polietilen	PEX	1968	930-965	5.0*	25-160
Polietilen	MDPE	1971	940-950	5.0-6.3	25-1600
Polietilen	LLDPE	1986	935-940	5.0	16-160
Polietilen	HDPE100	1990	950-965	8.0	2.5-1600

(*)+20 °C 'den yüksek sıcaklıklarda verilen gerilme değeri kabul edilebilir. (PE için verilen yoğunluk değeri Karbon Siyahı ilave edilmiş bileşik değerini göstermektedir.)

LDPE küçük çaplı borular için (genellikle Ø100 mm 'nin altında) bilinen en iyi malzemedir. Galvanizlenmiş çeliğe göre göz önüne alınacak derecede ucuzdur. LDPE'ler uzun metrajlı kangallar halinde yaygın olarak kullanılır. Kullanılması ve döşenmesi çok basittir. Kentin her bölgesi için, yoğun veya seyrek, plastik ve metal aksamlarla rahatlıkla birleştirilebilen en popüler borudur, LLDPE gelişmesi ile birlikte nihayetinde LDPE'nin yerini alacaktır.

HDPE ve MDPE , mevcut çap aralığı olarak Ø40-1 600 mm olmak üzere, esas olarak büyük çaplı borularda kullanılmaktadır. Bu tip borular özellikle çok uzun metrajlarda hatta mobil boru ekstrüderleri ile döşeme sahasında istenildiği kadar üretilebilir. Bu borular özel fittingler yardımıyla veya alın kaynağı yöntemi ile birleştirilir. Genellikle büyük çaplı HDPE ve MDPE borular isale , hatta denizaltında, ve endüstriyel atıkların nakillerinde kullanılır. Küçük çap HDPE ise su dağıtım şebekesinde bina bağlantılarında kullanılır. Son 15 yıl içerisinde MDPE özel bir uygulama olarak düşük basınçlı doğal gaz hatlarında kullanılmaktadır. PEX ise esas olarak döşemeden ısıtmada, bölgesel ısıtmada ve bina içi dağıtım hatlarında sıcak su için kullanılmaktadır. PP ise iyi ısı direncine sahip olmakla tanımlanır. 1955 yılından beri özellikle endüstriyel sıcak su atıklarının nakillerinde kullanılmaktadır. Günümüzde bina içi ısıtma borularında ve döşeme altı ısıtma borusu olarak kullanımı artmıştır. Bu boru aynı zamanda bina içi ve dışı toprak altına gömülen atık su borusunda olduğu kadar normal sıcaklıktaki içme suyu hatlarında da kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan boyutları sıcak su için Ø10- 63 mm ve atık sular için ise Ø400 mm'dir. Endüstriyel atıklar için ise Ø1000 mm'ye kadar üretim yapılabilmektedir, bu çaplı borunun kullanım ömrü takribi olarak 20 yıldır.

PVC bina içi su tesisatlarında Ø40 mm'den Ø400 mm'ye kadar kullanılmaktadır. Toprak altı atık sular için ise 1960'lardan beri beton boruya alternatif olarak

kullanılmaktadır. Kolay birleştirme yöntemleri, düşük fiyatı, mukavemeti, PVC'nin boru pazarında muazzam bir pazar payına sahip olmasına katkıda bulunmaktadır. 70'li yılların sonlarından itibaren, HDPE ve PVC drenaj borusu olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Oluklu (corrugated) boruların üretim metodları ile bu hammaddeler için, toprak altına gömüldükleri zaman , boru deformasyonuna karşı dirençleri geliştirilmiştir. Boru ring stiff'liğini (Halka sıklığı-çevresel şekil değiştirmeye karşı mukavemet) arttıran metodların geliştirilmesi ile, iç yüzeydeki pürüzsüzlüğü muhafaza ederken, lightweight (LWP) boruları olarak adlandırılan borular piyasada görülmeye başlanmıştır.

GRP boruları ise başlıca korozif endüstriyel ve sıcak atıklarda ve aynı zamanda büyük çaplı ana su hatlarında kullanılır.

3.PLASTİKLERİN YAPISI

3.1.Plastiklerin Kimyasal Yapısı

3.1.1Monomerler

Plastikler , monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen , yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Bir monomer, polimerizasyon neticesinde başka monomer molekülleri ile birleşerek, tekrarlanan ünitelerden oluşan, çok uzun bir zincir şeklinde bir makro molekül meydana getirmektedir. Böylece çeşitli monomerler veya monomer kombinezonu kullanılarak çeşitli tipte plastikler elde edilmektedir.

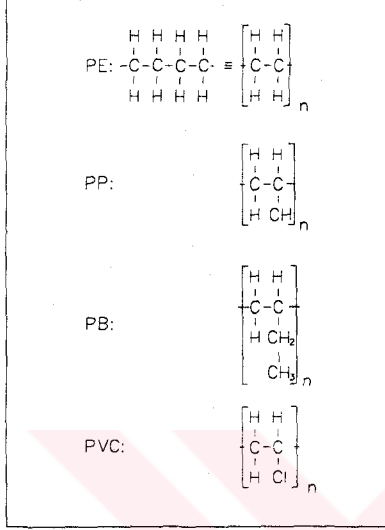
Kimyasal bakımından plastikler, herhangi bir polimer gibi başka elementlerin atomları ile bağlanmış karbon atomlarından meydana gelmektedir. Plastikleri imal etmek için bilinen 100'den fazla elementlerden sadece 8'i kullanılmaktadır. Bunlar karbon, hidrojen, azot, oksijen, flour, silisyum, kükürt ve klor'dur. Bu elementlerin

çeşitli yöntemlere göre birleşmesi makromolekül adını taşıyan çok büyük ve kompleks moleküller meydana getirmektedir. Burada şu hususu hatırlatmakta fayda vardır. Her atomun başka atomlarla bağlanarak bir molekül meydana getirmesi için belirli bir bağ kapasitesi (bağ enerjisi) vardır. Ayrıca stabil bir molekül meydana getirmek için her atomun enerji bağlarının doymuş olması gerekmektedir.

İlke olarak bir plastik malzemenin elde edilmesini açıklamak için , doğal gazın ana formülü ve bileşeni olan Metan'ı (CH_4) ele alalım. Burada karbonun tüm enerji bağlarının doymuş olması nedeniyle molekül stabil bir bileşiktir. Molekülün molekül ağırlığı , bileşen atomlarının atomik ağırlıklarının toplamıdır; yani $12(\text{C}) + 4 \cdot 1(\text{H}) = 16$ dır. Bu moleküle zincir şeklinde daha çok karbon atomları ilave edilirse daha ağır bir molekül elde edilir; mesela Metana bir karbon ve iki hidrojen ilave edilirse , bundan daha ağır ve molekül ağırlığı 30 olan Etan gazı (C_2H_6) elde edilir. Molekül ağırlığı arttıkça molekül gaz niteliğini kaybeder ve sıvı halini alır: mesela molekül ağırlığı 72 olan Pentan (C_5H_{12}) oda sıcaklığında sıvı haldedir. Moleküle CH_2 grubunun ilavesi devam edilirse daha ağır moleküller elde edilir. Molekül belirli bir ağırlıkta sıvı niteliğini kaybederek katı halini alır; mesela molekül ağırlığı 254 olan Parafin ($\text{C}_{18}\text{H}_{38}$), katıdır. $\text{C}_{100}\text{H}_{202}$ 'de plastik malzeme olarak, pratikte kullanılabilme tokluğuna erişir. Bu malzeme, en basit termoplastik olan alçak molekül ağırlıklı polietilendir. CH_2 grubunun ilave işlemine devam edilmesiyle malzeme daha tok ve mukavim olur. Enyüksek tokluğa sahip polietilen 500 000 CH_2 grubuna sahiptir ve buna çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen denilmektedir. Bu iki çeşidin arasında 1000 ila 5 000 karbon ihtiva eden orta molekül ağırlıklı ve 5 000 ila 50 000 karbon ihtiva eden yüksek molekül ağırlıklı polietilen de vardır.

CH_2 grubu kararlı bir bileşik değildir, dolayısıyla bunlar yukarıda ifade edildiği gibi kolay bir şekilde ilave edilemezler. Bu nedenle pratikte bu grupların yerine monomer denilen kimyasal bileşikler kullanılır. Bir monomerin elde edişi şu şekilde açıklanabilir. Mesela kimyasal formülü ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$) olan Etan molekülü ele alınsın. Bu molekül sıcaklığın ve basıncın etkisi altında iki hidrojenini kaybeder ve elektronların yeniden tertiplenmesi ile karbon atomları arasında çift bağ ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) oluşur. Bu

şekilde karbon atomunun dört bağı doymuş olur ve Etilen Monomeri denilen stabil bir ünite elde edilir. Plastik imalatında kullanılan monomerlerin bir kısmı ve onların meydana getirdiği polimerler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

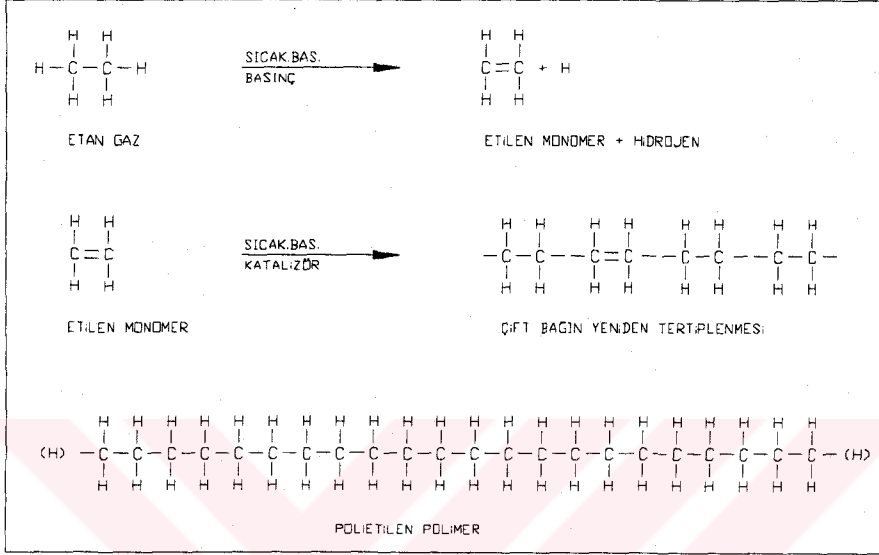


Şekil 3.1.1. PE, PP, PB ve PVC'nin formülleri

Monomerlerden polimerizasyon yöntemi ile plastikler elde edilir. Bu amaçla reaktöre konulan binlerce monomer, sıcaklığın ve basıncın etkisi altında tutulur. Belirli katalizörlerin de mevcut olduğu bu ortamda, monomerleri oluşturan karbon çift bağları yeniden düzenlenir ve karbon atomlarının her iki tarafında serbest bağ oluşmakla beraber, karbon atomların arasındaki çift bağ tek bağa dönüşür. Serbest bağlar başka monomerlerin serbest bağları ile bağlanır ve zincir şeklinde kararlı bir bileşik meydana gelir. Monomerlerin devamlı olarak bağlanması ile zincir gittikçe büyür ve reaksiyon, zincirin serbest uçlarına bağlanan başıboş hidrojenlere rastlayıncaya kadar devam eder. Bu anda reaksiyon durur ve zincir tamamlanmış olur. Bu esasen tek bir moleküldür. Bu şekilde monomerlerden polimerizasyon yolu ile elde edilen malzemelere polimer denilir.

Polimer zincirini oluşturan monomer sayısı büyük önem taşımaktadır. Polimerizasyon derecesi olarak bilinen bu sayı $DP = n$ ile ifade edilirse, polimerin kimyasal formülü, mesela Etilen Monomerinden ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) elde edilen polietilen

$(-CH_2-CH_2-)_n$ ve zincirin molekül ağırlığı $\bar{M} = n \cdot M_m = DP \cdot M_m$ şeklinde yazılır. Burada M_m monomerin molekül ağırlığıdır. Polimerin molekül ağırlığı aynı zamanda polimer zincirinin uzunluğunu da ifade etmektedir.

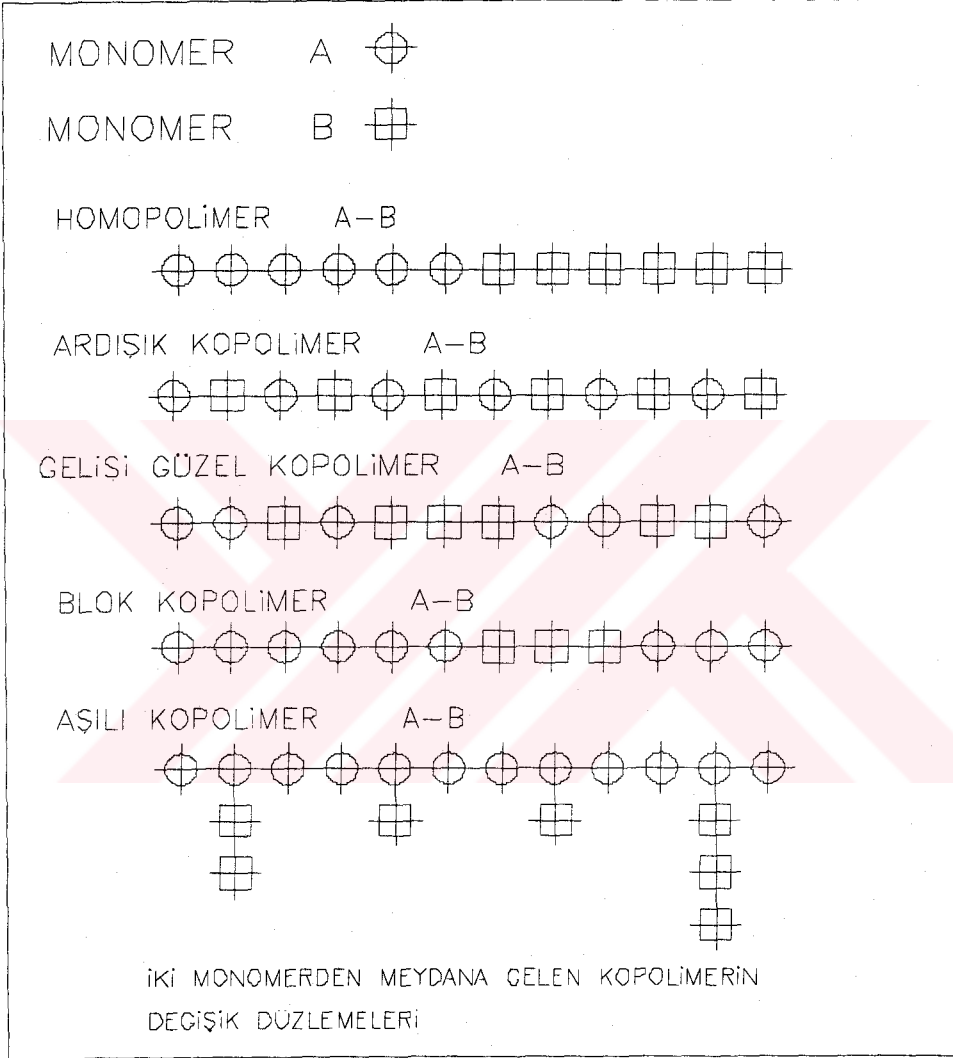


Şekil 3.1.2. (Akkurt,1991) Polietilen Polimerizasyonu

Polimerizasyon sırasında birbirinden bağımsız olan milyonlarca polimer zinciri mevcut monomerler bitinceye kadar aynı anda uzunluğu doğrultusunda büyür. Belirli miktarda hidrojen veya zincir durdurucu elementler ilave edilerek, az çok uzunlukları yaklaşık olarak eşit olan zincirler elde edilebilir. Zincirin uzunluğu, plastik malzemenin özelliklerini ve teknolojisini önemli şekilde etkiler zincirin uzunluğunun büyümesiyle plastiğin tokluğu, sürünme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ergime viskozitesi büyür ancak teknolojisi daha zor olur. Plastiği oluşturan tüm zincirler aynı uzunlukta imal edilemez, aralarında belirli farklar mevcuttur. Bu bakımdan bir polimeri oluşturan zincirlerin uzunluğu belirli bir istatistik dağılım göstermektedir. Dolayısı ile polimerin molekül ağırlığı yukarıdaki formüle göre esasen tüm zincirlerin ortalama ağırlığıdır. Ancak aynı ortalama molekül ağırlığında zincirlerin uzunluk farklarına bağlı olarak daha dar veya daha geniş bir istatistik dağılım karşı gelebilir. Bu bakımdan dağılımın

genişliği de önem taşıtmaktadır. Dar bir dağılım çok daha düzgün özellikler verir, ancak geniş bir dağılıma sahip olan polimerlerin teknolojisi daha kolaydır.

İki farklı monomerin polimerizasyonu ile elde edilen polimere kopolimer denilir.



şekil 3.1.3. (Akkurt,1991) İki monomerden meydana gelen kopolimerin değişik düzenlemeleri

A ve B monomerlerden meydana gelen bir kopolimer ele alınırsa bu malzemenin özelliği : A monomerinin B monomerine göre yüzdesine, A ve B monomerlerinin özelliklerine ve zincir içinde monomerlerin konumuna bağlıdır. Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi monomerlerin konumu ardışık (alternatif) gelişigüzel , blok (düzenli)

ve graft (aşılı) şeklinde olabilir. Blok kopolimerde , oldukça uzun bir bölgede aynı monomerler bulunur; 'graft' kopolimerler ise A monomer zincirine B monomer dalları ilave edilerek elde edilir.

3.1.2.Molekül Zincirlerinin Şekli

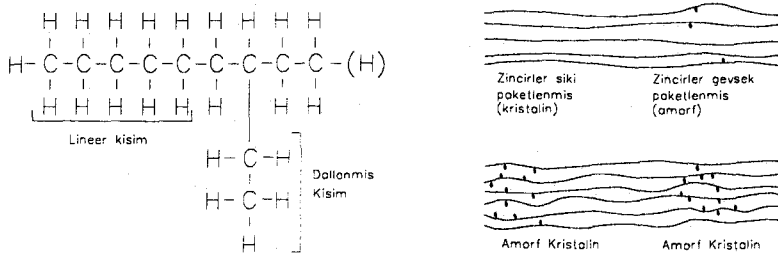
Daha önce belirtildiği gibi monomerler başka monomerlerle her iki tarafında bulunan birer serbest bağ ile birleşirler: bu tip monomerlere 'bifonksiyonel' denilir. Bunların yanısıra her iki tarafında birden daha fazla bağ bulunan ve 'polifonksiyonel' adını taşıyan monomerler de vardır. Monomerlerden oluşan molekülün (zincirin) şekli büyük ölçüde monomerlerin fonksiyon sayısına bağlıdır: şöyleki 'bifonksiyonel' monomerler lineer (zincir) şeklinde moleküller meydana getirmektedir, bunun yanısıra 'polifonksiyonel' monomerler üçboyutlu çapraz bağlı 'uzay ağı' yapı oluştururlar. Lineer (zincir) şeklindeki moleküller düz lineer (zincir) veya dallanmış lineer (zincir) olabilirler.

Bilimsel olarak termoplastik ve termoset plastikler arasında ayırım esasen moleküllerin şekline göre yapılır. Bu bakımdan termoplastikler lineer moleküllere, termosetler ise üç boyutlu çapraz bağlı moleküllere sahip malzemelerdir.

Lineer moleküllerde, zinciri oluşturan ünitelerin arasında çok kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır; bu bağlar esasen zincirin mukavemetini sağlamaktadır. Moleküller arasında ise fiziksel bir bağ bulunmaktadır, sadece zincirleri birbirine yakın tutan zayıf elektrostatik çekme (Van der Waal's) kuvvetleri vardır. Bu moleküller arası kuvvet, zincirlerinin birbirine göre hareketlerini engelleyen, ısıya karşı duyarlı kuvvettir; plastik ısıtıldığında daha zayıf, soğutulduğunda daha kuvvetli olur. Dolayısıyla lineer molekül zincirlerinden oluşan bir termoplastik ısıtıldığında moleküller arasındaki kuvvetler zayıflar, molekül zincirleri birbirine göre hareket bakımından sıvılara benzer şekilde serbest haline gelir ve malzemeye bir kalıpta kolayca istenilen şekil verilebilir. Malzeme soğutulduğunda, moleküller arası kuvvetler büyür ve molekül zincirlerini verilen yeni şekilde dondurur. Ancak çok ısı verilirse,

molekül zincirleri kopar ve malzeme özelliklerinde bir yıpranma meydana gelir. Aynı şekilde, oluşturulan parça sürekli basınç altında tutulduğunda, eğilme ve şekil değiştirme gibi durumlarda zincirler birbiri üzerinden kaymaya başlar; bu da parçanın boyutlarını etkileyen sürünme veya soğuk akma gibi olaylara neden olur.

Molekül zincirleri arasındaki kuvvetler, zincirler arası mesafenin altıncı kuvveti ile ters orantılıdır. Zincirler arası mesafe küçüldükçe, zincirler arası çekme kuvveti büyür ve malzeme daha mukavim bir hal alır. Belirli bir mesafe yarıya indiğinde, zincirler arası çekme kuvveti 64 kat büyür. Zincirlerin birbirine yaklaşmasında zincirlerin lineer veya dallanmış olması büyük önem taşımaktadır. Lineer zincirler birbirine daha çok yaklaşabilir, aralarındaki çekme kuvveti daha büyük olur ve dolayısı ile sıkı olarak paketlenmiş bir yapı meydana getirirler. Bu zincirler kristalin bir yapı dahi oluşturabilirler. Dallanmış yapılar birbirine çok yaklaşamazlar, moleküller arası çekme kuvveti zayıf kalır ve gevşek paketlenmiş amorf bir yapı meydana getirirler. Dallanma plastik malzemenin yoğunluğu arasında sıkı bir bağıntı vardır. Az dallı zincirler birbirine daha çok yaklaştıkları için daha yoğun, dallanmış zincirler birbirinden daha uzak kaldıkları için yoğunluğu daha düşük bir malzeme oluştururlar. Yüksek yoğunluklu polietilende 1000 karbon atomuna 1 ila 3 dal karşılık gelmektedir; lineer sayılan bu malzemenin zincirler kristal yapıya çok yakın bir yapı meydana getirmektedirler. 1000 karbon atomuna 10 ila 30 dal karşılık gelen alçak yoğunluklu polietilende molekül zincirleri daha uzak ve dolayısı ile amorf kısımları çoğunlukta bulunan gevşek bir yapı oluştururlar.



Şekil.3.1.4 Polietilende Zincir Paketlenmesi

Üç boyutlu çapraz bağlı yapıya sahip olan termoset plastiklerin polimerizasyonu iki kademe meydana gelmektedir: birinci reaktörde ikincisi ise kalıpta. Polimerizasyonun birinci kademesinde, lineer zincirlerin çoğunluğu oluşturulduktan sonra reaksiyon durdurulur; bu durumda lineer zincirlerde reaksiyona girmeyen kısımlar mevcuttur. Kalıpta meydana gelen polimerizasyonun ikinci kademesinde, sıcaklığın ve basıncın etkisi ile reaksiyona girmeyen kısımlar sıvı haline gelir ve molekül zincirleri arasında çapraz bağ oluşturan reaksiyon meydana gelir. Bu şekilde termoplastik malzemenin aksine burada, molekül zincirleri arasında kuvvetli kovalent bağları oluşur. Şöyleki: yapıyı oluşturan tüm moleküller, birbirine sıcaklığa karşı tersinir olmayan, kuvvetli bağlarla bağlanmış olur; yani tüm yapı fevkalade büyük bir tek molekül halini alır. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar ancak çok yüksek sıcaklıklar altında kopabilirler, bu kopma, aynı zamanda malzemenin yıpranmasına neden olan zincirlerin kopması anlamına da gelmektedir. Bu nedenle termoset plastikleri bir kere kalıpta şekillendikten sonra, tekrar ısıtılıp yumuşatılamaz ve kalıpta şekillendirilemez veya çözülemez. Genellikle termoset plastikleri yüksek sıcaklığa dayanıklı ve oldukça büyük bir boyut kararlığına sahip malzemelerdir. Bir bakıma termoplastiğin davranışı balmumunun davranışına, termoset plastiğin davranışı ise yumurtanın davranışına benzetilebilir. Balmumu tekrar ısıtılarak istenilen şekilleri alabilir, yumurta ise birkere pişirildikten sonra tekrar ısıtılsa yumuşamaz ve dolayısı ile başka bir şekil alamaz.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşıldığı üzere, molekül ağırlığının yanısıra plastik malzemenin özelliklerini önemli şekilde etkileyen ikinci bir faktör molekül zincirlerinin şeklidir.

3.2. Plastiklerin Fiziksel Yapısı

3.2.1. Plastiklerin Molekül Ağırlığı

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşıldığı üzere zincir uzunluğu ile orantılı olan plastiklerin molekül ağırlığı , malzemenin mekanik özelliğini ve moleküller arası bağ kuvvetlerini önemli şekilde etkilemektedir.

Belirli bir plastik malzemeyi oluşturan zincirlerin molekül ağırlıklarının dağılımı, polimerizasyon kinetiğine istatistikî analiz yöntemleri uygulayarak tahmin edilebilir, bu dağılımlardan da malzemenin ortalama molekül ağırlığı elde edilebilir. Ancak ortalama molekül ağırlığının değeri ölçme sistemine bağlı olarak farklı deyimler taşımaktadır. Bunların en çok kullanılanları sayıca-ortalama molekül ağırlığı (M_n) ve ağırlıkça-ortalama molekül ağırlığı (M_w)'dir.

Sayıca ortalama molekül ağırlığı M_n polimer numunesinin ağırlığının , numunede bulunan molekül sayısına bölerek elde edilir. M_n 'yi elde etmek için osmotik basınç, kaynama noktasının yükselmesi ve donma noktasının alçalması gibi yöntemler kullanılır. Tüm yöntemlerde bilinen bir polimer kütlesinin her fraksiyonuna ait molekül sayısı sayılmakta ve Avagadro sayısının yardımıyla sayıca ortalama molekül ağırlığı tayin edilmektedir.

Ağırlıkça-ortalama molekül ağırlığı, M_w , polimer zincir fraksiyonlarının W_i ağırlıklarını ve M_i moleküller ağırlıklarının çarpma değerinin, polimer numunesinin toplam ağırlığına bölünmesi ile elde edilir.

3.2.2. Plastiklerin Fiziksel Halleri

Plastiklerin fiziksel halleri sıcaklığa ve yapının amorf, kısmikristalin ve kristalin olmasına bağlıdır. Sıcaklık, molekül zincirlerini oluşturan ünitelerin dönme hareketini etkiler. Sıcaklığın artması ile bu hareket hızlanır, molekül zincirleri arasında bağ kuvvetleri zayıflar ve zincirler birbirine göre daha bağımsız hale gelir. Sıcaklığın

azalması ile ünitelerin dönme hareketi yavaşlar ve belirli bir sıcaklıkta durur, sadece atomların kendi konumları etrafındaki titreşim hareketi kalır. Bu duruma camı duruma geçiş sıcaklığı (T_g) denir. T_g sıcaklığının altında, malzeme camı hal denilen rijid , sert ve gevrek olur. Camı duruma geçiş sıcaklığına ikinci derece sıcaklığı da denir.

Daha önce belirtildiği gibi, yüksek sıcaklıklarda, molekül zincirlerini oluşturan üniteler arasında kopmalar meydana gelir ve plastik malzeme yıpranır, buna T_d yıpranma sıcaklığı denir. T_g , T_m ve T_d sıcaklıkları esasen plastiklerin kullanma alanlarını ve teknolojisini tayin etmektedir. Amorf polimerler T_g sıcaklığı altında kullanılırlar, teknolojileri T_g ile T_d sıcaklıkları arasında yapılırlar, bu sıcaklıklarda kalıplara kolay dökülebilir, lastik gibi yumuşak ve sıvı halinde bulunurlar. Kısmikristalin plastikler, kristalinite derecesine bağlı olarak T_m ergime sıcaklığına kadar kullanılabilirler. Ancak T_m ve T_d arasında sıcak olarak ve T_g ve T_m arasında soğuk olarak şekillendirilebilirler.

Bir plastik malzemenin kimyasal yapısı tayin edildikten sonra bilinmesi gereken ikinci önemli husus zincir içinde atomların tertiplenme şeklidir. Bu konu iki tarzda incelenir. Stereo-düzen denilen birinci inceleme şekli, komşu zincirleri dikkate almaksızın tek bir zincir içerisinde atomların tertiplenmesidir. İkincisi ise zincirlerin birbirine göre tertiplenmesidir; bunun sonucu olarak amorf , kristalin ve yönelme gibi yapı özellikleri ortaya çıkmaktadır.

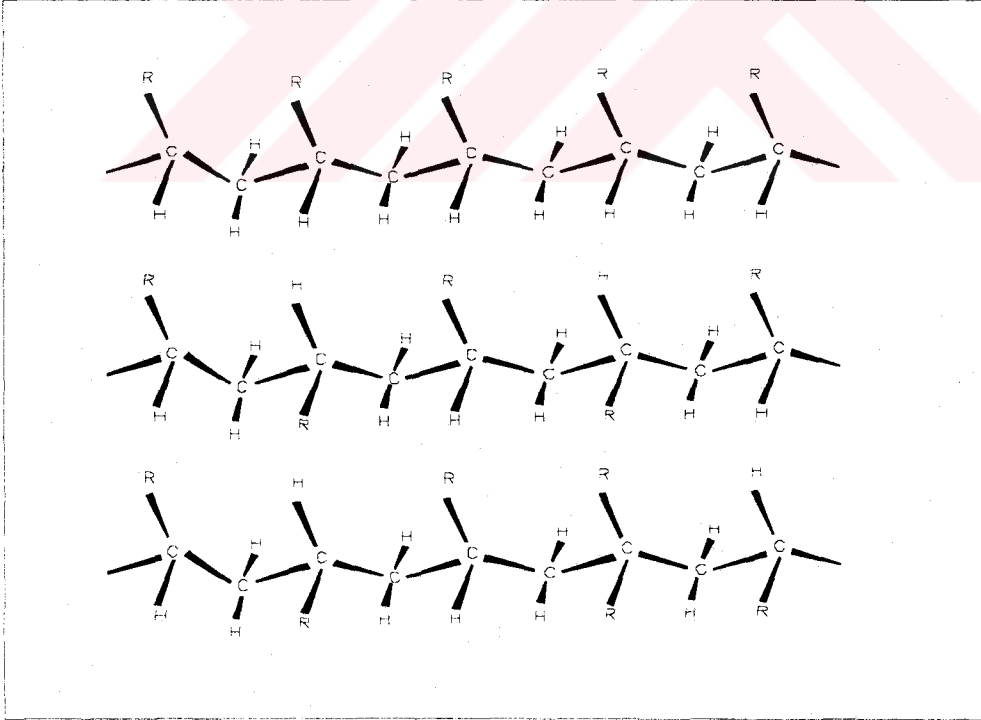
3.2.3.Stero Düzen

Bir polimer zinciri ele alınırsa, kovalent bağlar ile bağlı bulunan ana zincirlerin (bel kemiğinin) atomları, birbirine göre belirli açılarda bulunurlar. Bu açılarının değeri ana zinceye bağlı olan substitue atomların veya atom gruplarının çeşitlerine bağlıdır. Bu tertipleme tarzı zincirlerin konfigürasyonlarını tayin eder. Zincirlerin konfigürasyonu ancak zincirlerin kopması (yıpranması) veya kovalent bağların yeniden oluşması ile bozulur. Bunun yanısıra zinciri oluşturan üniteler birbirine göre zincir eksenine etrafında dönme serbestliğine sahiptirler. Bu şekilde zincir üniteleri birbirine göre düzlemde

değilde uzayda değişebilen ve zincir konformasyonu denilen konumlar alabilmektirler. Zincir ünitelerinin dönme kabiliyeti ünite bağlarının esnek olduğunu göstermektedir.

Zincir konfigürasyonu içerisinde, ana zinciri oluşturan monomerlerin birbirine bağlanma şekli ve substitue atomların veya atom gruplarının ana zincire bağlanma şekilleri de yer almaktadır. Bu şekillere gelince. Burada izotaktik, sindiotaktik ve ataktik olmak üzere üç tertipleme düzünü vardır.

Izotaktik düzende substitue olmuş R grupları ana zincirin aynı (sağ veya sol) tarafında bulunmaktadır. Syndiotaktik düzende ise düzenli bir şekilde heriki tarafında bulunmaktadır. Ataktik düzende ise substitue olan R grupları gelişigüzel bir yerleşim gösterirler. Izotaktik ve sindiotaktik tertiplemeler düzenli tertipleme şekilleridir; bu nedenle malzemenin mekanik özelliklerini iyileştiren, kristalin bir yapı meydana getirebilirler. Ataktik tertipleme ise düzensiz olduğundan, kristalin bir yapının gelmesini engeller.



Şekil 3.2.1 (Akkurt,1991) $(-CH_2-CHR)_n$ Polimerlerin tertiplenmesi

3.2.4. Amorf ve Kristalin Yapı Yönlenme Özelliği

Molekül zincirlerinin birbirine göre tertiplenme şekilleri plastiklerin fiziksel yapısını meydana getirmektedirler. Bu bakımdan amorf ve kristalin olmak üzere esasen iki yapı vardır. İfade edildiği gibi, termoplastikler yoğun olarak çok uzun zincirlerden ve nadir olarakta dallanmış olarak teşekkül ederler. Yoğun olarak dallanan molekül zincirlerine nazaran seyrek dallanmış olanlar daha kolay kristalin olur. Bu zincirler birlikte çok veya az sıklıkta dizilir ve bu bölgelere kristalinite denilir. Polimer zincirleri eğer düzensiz dizilir ise kristalinite içerisinde amorf bölge olarak adlandırılırlar. Amorf yapıda molekül zincirleri, birbirine göre gelişigüzel karışık bir şekilde bulunurlar. Amorf yapıya sahip olan plastiklerin çoğunda çekme zorlamalarının etkisi altında, molekül zincirleri çekme yönünde bir yönlenme göstermektedirler ve bu özelliğe sahip amorf yapılar daha yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.

Kristalin yapıda molekül zincirleri birbirine göre üç boyutlu düzeni andıran bir şekilde bulunurlar. Kristalin yapının oluşması, molekül zincirlerinin arasındaki kuvvetlere ve sterodüzene bağlıdır. Lineer molekül zincirlerine sahip plastikler oldukça büyük bir kristalleşme kabiliyeti gösterirler. Dallanmış zincirler birbirine çok yaklaşamazlar ve bunlar genellikle amorf bir yapı oluştururlar. Aynı şekilde termosetler amorf bir yapı meydana getirirler. Aynı kimyasal bileşime sahip fakat lineer ve dallanmış molekül zincirleri olan polimerler, mesela polietilen, amorf ve kristalin yani kısmikristalin bir yapıya sahip olabilirler.

Molekül zincirleri arasındaki bağlara gelince, bu bağlar kuvvetli olursa kristalin yapının meydana gelmesi kolaylaşır. Daha önce de ifade edildiği gibi zincirler arasında Van der Waals ve Hidrojen bağları bulunabilir. Van der Waals bağları zayıf (enerjisi = 1kcal/mol) , hidrojen bağları ise daha kuvvetli (enerjisi = 10kcal/mol) bağlardır. Bu bakımdan zincirler arası hidrojen bağlarının bulunması kristalleşme olayını kolaylaştıran bir etkendir. Zincirlerin uzunluğu boyunca monomerler arasında çok kuvvetli (enerjisi = 80 kcal/mol) kovalent bağlar bulunur. Polimerlerde meydana gelen

kristaller, zincir uzunluğunda kovalent bağların ve zincirler arasında ise zayıf bağların bulunmasından dolayı kuvvetli bir anizotropi gösterirler.

Kristalin yapının özellikleri, amorf yapının özelliklerinden bir hayli farklıdır. Kristalin yapı daha rijid olmakla beraber, daha yüksek ve daha keskin bir ergime sıcaklığına, daha büyük çekme, sürünme, ısı mukavemetine ve daha yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Yüksek ergime ve yüksek ergime viskozitesinden dolayı teknolojisi zordur. Ayrıca kalıplamada yüksek bir şekil değiştirme gösterir. Amorf yapı ise daha yumuşak ve tok, ergime sıcaklığı, çekme mukavemeti ve yoğunluğu daha düşüktür. Amorf polimerlerin teknolojileri daha kolaydır, ancak kalıp içerisinde kristalin yapılar gibi kolay akmazlar.

Kristalinite derecesi kopolimerizasyonla kontrol edilebilir. Kopolimerizasyon genellikle zincirin simetrisini bozmakta ve dolayısı ile kristalleşme kabiliyetini azaltmaktadır. Bu şekilde daha esnek bir malzeme meydana gelmektedir. Kristalinite derecesi soğutma hızı ile kontrol edilebilir. Hızlı bir soğutmada, kristalleşme önemli bir şekilde azalır ve kristalleşme hızı oldukça düşük olan bazı plastiklerde tamamen amorf bir yapı meydana getirebilir. Monomerlerin içinde polar grubu bulunan polimerlerin kristalinite derecesi daha yüksek olur. Kristalin yapı genellikle polimer eriyiğın ve çözeltilsinin soğutulması ile elde edilir. Ancak bazı plastiklerde, çekme kuvvetinin etkisi altında uzama sırasında da bir kristalleşme görülür. Bu şekilde oluşan yapıya yönlendirilmiş kristalin yapı denir. Polimer elyaflarının en belirgin özelliğidir.

PE polimerinin erime derecesi, ki bu son kristalin yapının amorf haline dönüştüğü sıcaklıktır, ne kadar yüksek ise kristalinite derecesi de okadar yüksektir. Sonuç olarak, eriyik haldeki polimer amorf yapıdadır ve tekrar soğutma ile daha fazla kristalin yapı oluşturulur. Az dallanmış polimerlerde ne kadar yavaş soğutulursa okadar fazla kristallenme sağlanır.

Ekstrüzyon, amorf polimer ipliksi moleküllerinin aynı doğrultuda uzunlamasına yönleneşine neden olabilir, böylece malzeme izotropik yapıya dönüşür. Boru numuneleriyle çekme deneyi yaparken çevresel olarak kesilen numuneler ile boyuna doğru kesilenler arasında önemli farklılıklar olduğu görülür.

Belli bir dereceye kadar daha uzun moleküller yani, ne kadar büyük anma moleküler ağırlıklarına sahipse okadar yüksek polimer mukavemetine sahiptir. Eğer moleküller temel olarak doğrusal yönlendirilirse, çevresel olarak uzama mukavemeti sadece moleküller arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı kalır. Eğer moleküller çok sayıda dallanmaya sahip ise birbirlerine sıkıca yaklaşamaz ve böylece kristalinite derecesi azalır. Kısmikristalin polimerlerden LDPE ve HDPE arasındaki başlıca fark, HDPE'nin molekül zincirlerinin çok az dallanmış olmasıdır ki bu da sıkı bir yapı oluşmasını sağlar (yüksek yoğunluk, yüksek kristalinite) ve böylece onların arasında çekim kuvveti artar. Bu da HDPE'nin LDPE'den daha yüksek çekme mukavemeti olduğunu gösterir. Bununla birlikte LLDPE de HDPE'nin sahip olduğu molekül yapıya benzer yapıdadır. Sonuç olarak LLDPE, LDPE'den daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşır.

PVC ise düzensiz zincir yapısı ile geniş bir amorf yapıya sahiptir, ama yine de çekme mukavemeti LDPE ve HDPE'den daha yüksektir. Bu olaya moleküller arasındaki çekim kuvvetleri yani elektrostatik yapıdan kaynaklanan tali Valans kuvvetleri neden olur. PE'nin zayıf olduğu bu polar kuvvetleri, PVC'de daha güçlüdür. Bundan dolayı PE'nin non-polar, PVC'nin ise polar karakteristikte olduğu söylenebilir.

Yukarıdaki açıklamaların ışığı altında plastik malzemenin yapısı amorf, yönlendirilmiş amorf, kısmikristalin ve yönlendirilmiş kristalin olabilir. Genelde amorf kristalin yapıya doğru malzemenin ergime (yumuşama) sıcaklığı, rijitliği, çekme ve sürünme mukavemeti artar, ancak teknolojisi zorlaşır.

3.2.5. Plastiklerin Mekanik Davranışı ve Özellikleri

Genellikle mekanik davranış, yükleme altında bulunan malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeleri açıklayan engenal kavramdır. Plastiklerin mekanik davranışlarını incelerken dikkate alınması gereken birkaç husus vardır. Birinci husus plastiklerin mekanik davranışlarının, malzemenin yapı ve fiziksel haline bağlı olmasıdır. İkinci husus plastiklerde meydana gelen şekil değiştirmeler, gerilmelerin yanısıra sıcaklık ve şekil değiştirme hızına bağlıdır. Üçüncü bir husus ise plastiklerin aynı zamanda hem elastik, hem viskoz davranış gösterdikleri yani viskoelastik malzemeler olduklarıdır ki; buna bağlı olarak bu malzemelerde normal sıcaklıklarda dahi, sürünme ve gevşeme olayları görülmektedir.

Plastiklerin elastik şekil değiştirmesi, molekül zincirlerinin (veya iki bağ arasında bulunan zincir segmanlarının) uzama kabiliyetine bağlıdır. Bu bakımdan amorf polimerler T_g sıcaklığı altında (cam gibi) az şekil değiştirme gösterirler. Küçük gerilmede bu şekil değiştirme, gerilme ile orantılıdır. Bu gibi davranış gösteren malzemelere elastik malzeme denir. T_g 'nin üstünde amorf polimerler çok büyük şekil değiştirme gösterirler, bu malzemelere lastik gibi malzeme denir. Kristalin plastikler genellikle elastik malzemelerdir.

3.2.6. Amorf Plastik Mekanik Davranışı

Amorf polimerler sıcaklığa bağlı olarak, camsı duruma geçiş sıcaklığından (T_g) daha düşük sıcaklıklarda cam gibi, camsı duruma geçiş sıcaklığı ile ergime sıcaklığı (T_m) arasında lastik gibi ve ergime sıcaklığından daha büyük sıcaklıklarda viskoz-sıvı halde bulunurlar. Buna bağlı olarak aynı malzeme çeşitli sıcaklıklarda farklı mekanik davranış gösterebilir. Camsı duruma geçiş sıcaklığının çok altında, malzeme gevrek bir davranış gösterir. Bu durumda kopma oldukça düşük şekil değiştirmelerde, yaklaşık %10 meydana gelir. Daha yüksek fakat yine T_g nin altındaki sıcaklıklarda sünek malzemelerde olduğu gibi malzemede kopmadan önce akma meydana geldiği görülür.

Camsı duruma geçiş sıcaklığına yaklaştıkça akma bölgesi artar ve plastik tam sünek bir malzeme gibi davranır. T_g 'nin üstünde, çok büyük şekil değiştirmelerin meydana geldiği, lastik gibi davranış gösterir. Bu durumda kopma çok büyük şekil değiştirmelerde (yaklaşık %30 ila 1000 arasında) meydana gelir.

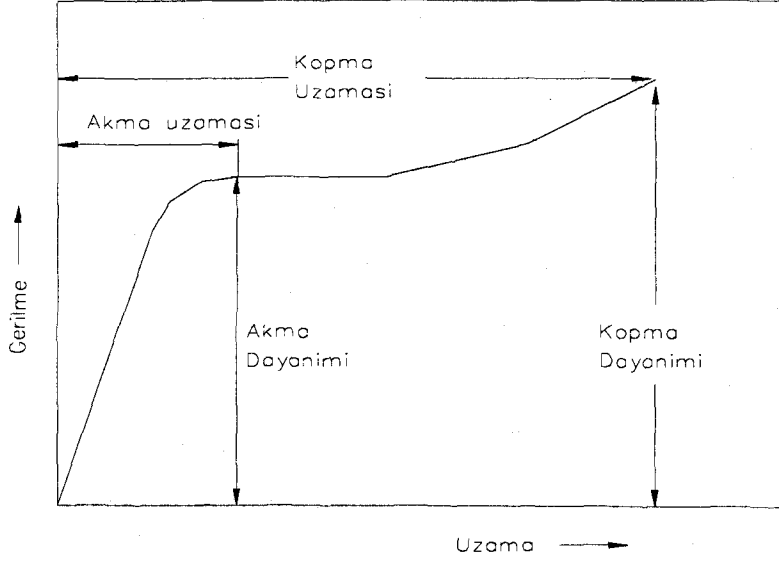
Cam halindeki polimerler, düşük gerilmelerde sadece elastik şekil değiştirme gösterirler; bu durumda elastik modülü, $E = 2000-6000 \text{ N/mm}^2$ arasındadır. Yüksek gerilmelerden malzemenin davranışı oldukça farklıdır. Gerilmeler alçak elastisite sınırı denilen değere eriştiğinde deney çubuğunda 'boyun' şeklinde bir büzülme meydana gelmekte, bu boyun tüm kesite yayılmakta ve incelmış deney çubuğu bir miktar daha gerilmeye maruz kaldıktan sonra kopmaktadır. Elastisite değeri sıcaklığın düşmesi ile artmakta, şöyleki belirli bir T_{br} (gevrek kopma) sıcaklığında, malzemenin kopma mukavemetinden daha büyük olmakta ve kopma elastisite değerine ulaşmadan gevrek kopma şeklinde olur. Aynı sonuç malzemenin molekül ağırlığının azalması veya şekil değiştirme hızının artması ile elde edilir. Cam gibi durumlarda polimerler elastisitenin altında elastik, üstünde viskoelastik şekil değiştirme gösterirler.

3.2.7.Kısmi Kristalin Plastiklerin Mekanik Davranışı

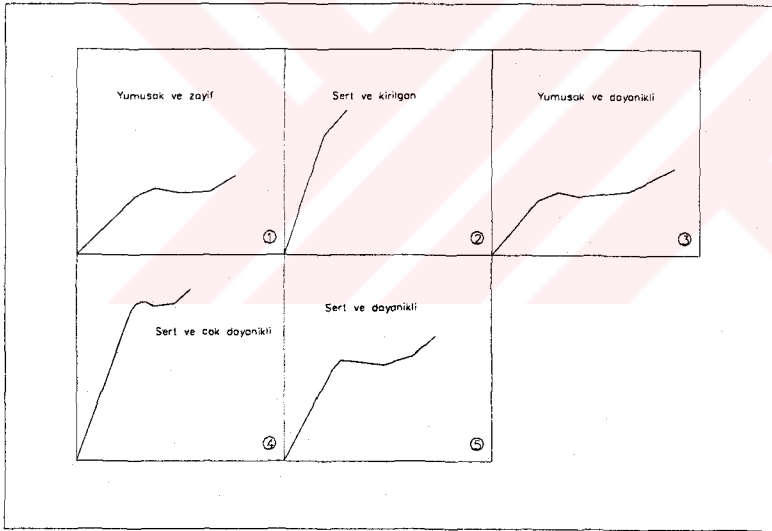
Kısmikristalin plastiklerin Stress-Strain (Gerilme-Şekil Değiştirme) diyagramı, ölçütü farklı olmakla beraber, şekil bakımından metalik sünek malzemelerinkine benzemektedir.

Burada elastik bölge, üst ve alt akma sınırı ve kopmadan önce büyük şekil değiştirme bölgesi bulunur.

Şekil değiştirmelerin özelliği bakımından, kısmikristalin plastikler ile metaller arasındaki benzerlik sadece küçük şekil değiştirme bölgesindedir. Büyük çekme gerilmelerinin etkisi altında, gerilmelerin belirli bir kritik değerinde plastik malzemede bir yapı değişikliği meydana gelmektedir. Yeniden kristalleşme denilen bu yapı değişikliği orjinal kristalin fazın çekme yönüne yönelmiş yeni bir kristalin faza dönüşmesi şeklinde olmaktadır. Gerilmenin kritik değerinin altında olduğu durumlarda,



Şekil 3.2.2 (Yaşar,1992) Plastiklere ait tipik gerilme-uzama grafiği



Şekil3.2.3. Değişik mekanik özelliklerdeki plastiklerin gerilme-uzama grafikleri

yüklemenin birinci kademesinde küçük şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Eşit olduğu durumlarda deney çubuğunda bir boyun oluşmakta ve gerilmeler aniden düşmektedir. Daha sonra boyun, tedricen deney çubuğunun tüm uzunluğuna yayılmakta ve belirli bir noktada kopma meydana gelmektedir. Boyunun oluşması yeniden kristalleşme olayının başladığını göstermektedir. Ayrıca kristalinite derecesine bağlı olarak diyagramın kopma bölgesi değişmektedir. Kristalinite derecesi yüksek olan plastiklerde, boyun çubuğun tüm uzunluğuna yayıldıktan sonra çubuğun kopması için

gerilmelerin büyümesi gerekir. Bu durumda kopma daha yüksek gerilmelerde meydana gelir. Kristalinite derecesi azaldıkça kopma sınırı diyagramın sol tarafına kaymaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar neticesinde, boyunun oluşmasına sadece kristalin fazın yönlenmesi değil, yapıda yer alan hatalar, mikro yapının yeniden düzenlenmesi ve sferulitlerin şekil değiştirmesine bağlanmaktadır.

Kısmikristalin malzemeler kritik değerin altındaki bölgelerde elastik, büyük olduğu bölgelerde viskoelastik bir davranış gösterirler. Elastik bölgede şekil değiştirmeler daha küçük ve stress-strain doğrusu daha diktir; bu da elastiklik modülünün daha büyük olduğunu gösterir.

Elastik davranış, bir cisimde yükleme sırasında meydana gelen şekil değiştirmeleri yük kaldırıldığında tamamen kayboldukları davranış olarak tanımlanır. Viskoelastik davranış ise plastiğin aynı anda hem elastik hem de viskoz davranış göstermesidir. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Buna göre sabit bir gerilmenin etkisi altında, malzemenin sürekli olarak şekil değiştirmesi; gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme halinde bulunan malzeme, gerilmelerin sürekli olarak azalması olarak ifade edilir. Gerilme ve şekil değiştirme arasında Hooke ve Newton kanununda olduğu gibi lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya dayanarak incelenmektedir. Birinci duruma lineer viskoelastisite teorisi, ikincisine ise nonlinear viskoelastisite teorisi denilmektedir.

3.3.Stabilizatörler

Stabilizatörler, plastiklerin ışık, hava ve diğer çevre faktörlerin etkisi altında yıpranmalarını önlemek için kullanılan malzemelerdir. Mesela aynı zamanda kuvvetlendirici elyaf olan karbon siyahının, polietilene ilave edilmesiyle malzemenin fotokimyasal yıpranması önlenir. Plastiklerin oksidasyonunu önleyen antioksidantlar da bir çeşit stabilizör sayılırlar. Bunlar genellikle havada oksijen ile reaksiyona girme özelliğine sahip olan fenoller, aromatik, aminler, aminofenoller, aldehitler ve ketonlar gibi bileşimlerdir.

3.4. Plastiklerde Yorulma

Bilindiği üzere değişken gerilmelerin etkisi altında malzemelerin iç bünyesinde meydana gelen ve kopmasına neden olan değişikliklere yorulma denir. Değişken zorlamalar zamana göre maksimum ve minimum arasında değişen zorlamalardır. Değişme tarzı herhangi bir şekilde olmakla beraber, genellikle sürekli tekrarlanan zorlamalar kabul edilmektedir.

Plastiklerde yorulma olayı, metallerde olduğu gibi gevrek kopma şeklinde olup, bir çatlağın oluşması ve yayılması sonucu olarak meydana gelmektedir. Ancak metallerin yorulması ile plastiklerin yorulması arasında önemli farklılıklar vardır. Birincisi, metallerde genellikle yorulma çatlağının yüzeylede oluşmasına karşın, plastiklerde kalıplama sırasında ürün yüzeyinde, yorulma çatlaklarının yayılmasını önümleyen bir koruyucu tabaka meydana gelmektedir. Genellikle burada çatlak cidarların içinde ve en çok çizgi, küçücük boşluklar, yolluk noktaları gibi kalıplama hatalarında oluşmaktadır. Yük altında bu hatalarda, yerel gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Oldukça büyük yüklerde, bu gerilme yığılmaları malzemenin mukavemet sınırını aşmakta ve hata yerinde bir çatlak oluşturmaktadır. Değişken bir yükün etkisi altında yükün her tekrarlanmasında çatlak büyümekte ve kesitte yayılmaktadır.

İkincisi; plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı, yüksek önümleme ve düşük ısı iletkenliğinin sonucu olarak oluşan ısının, malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmesidir. Bu olaya ısıl yorulma veya yumuşama hasarı denilmektedir. Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkının sonucu olarak, her yük tekrarlanmasında, uygulanan enerjinin bir bölümü ısıya dönüşüp kaybolmaktadır. Plastikler düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilememektedir ve ısılar toplanmaktadır. Bunun sonucunda da iki olay meydana gelebilir. Sıcaklığın belirli bir değere yükselmesinden sonra oluşan ısı; konduksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile dışarıya iletilen ısı ile eşitlenir, bir ısı dengesi kurulur ve sıcaklık sabit kalır. Bu durumda sıcaklığın etkisi altında malzeme mukavemetinde ve rijidliğinde bir azalma meydana gelir; ancak malzeme düşük değişken gerilmeleri

taşıyabilir. Diğer durumda; oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyüktür. Bu durumda sıcaklık devamlı büyür, sıcaklığın belirli değerinde malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Dolayısı ile malzemenin yumuşamasına ve çatlağın yayılmasına bağlı olarak iki çeşit yorulma vardır.

Bu iki çeşitin yanısıra bazı araştırmacılar statik yorulmadan da bahsetmektedirler. Genellikle statik zorlamada, nominal gerilmelerin malzemenin kopma mukavemeti ile eşit veya daha büyük olduğu durumlarda kopmanın meydana geldiği varsayılmaktadır. Yapılan son araştırmalara göre, malzemenin kopması sadece gerilmenin büyüklüğüne göre değil, o gerilmeye maruz kaldığı zamana da bağlıdır. Uzun süre gerilmelere maruz kalan parçalar, kopma mukavemetinden çok daha küçük gerilmeler altında kopmaktadır. Bu kopma şekline statik yorulma, ve kopuncaya kadar geçen zamana ömür denir.

3.5.Kimyasal Yıpranma

Plastiklerin metallere göre en önemli bir üstünlüğü su, asidler, aminler, alkoller veya oksijen gibi çeşitli kimyasal ajanlara karşı daha dirençli olmalarıdır. Gerçi bazı plastikler su emerler ve bundan dolayı elektrik, mekanik veya boyutsal özellikleri etkilenir. Ancak hiçbir zaman çelik, bakır ve alüminyumda görülen korozyona maruz kalmazlar. Plastikler, metalleri çok çabuk çözen asidlere karşı dayanıklıdır. Bunların başında fluoroplast ailesi ve bunların arasında en inert malzeme olarak politetrafluoretilen (teflon) gelir.

3.6.Kimyasal Direnç

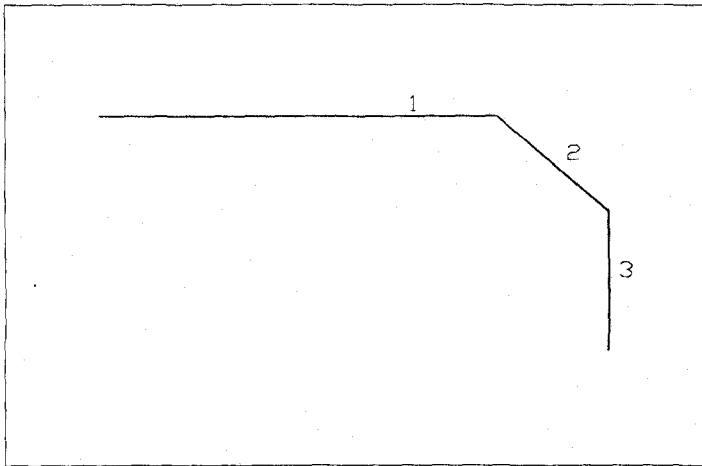
Konvensiyonel kullanımda başlıca elastik boruların materyalleri genellikle korozif bozunma derecesine göre adlandırılır. Birleşme kısımlarındaki materyalin üzerine kimyasal etki, mekanik yorulma ve incelmeye yol açar. Sonuçta boru etindeki gerilim kademe kademe artar ve nihayetinde materyalde bozunma meydana gelir. Korozif bozunmanın derecesi başlıca suyun ve materyalin kalitesine bağlıdır. Zaman ilişkisi

korozif çevre ile değişik materyalin direnç kapasitesi arasında sınırlı derecededir. Bunun bir sonucu olarak temiz ve atık su borularının gerçek ömrü belirlenemez ve bu seçilen materyale bakmaz. Tabii ki boru materyali ve korozif çevre için tecrübeler varsa bu geçerli değildir.

Plastik boru materyallerinde yukarıda ifade edilen durumlar servis ömrünü az çok değiştiren faktörlerdir. İlk önce not edilmesi gereken şudur ki boru üretiminde kullanılan materyaller için en yaygın korozif ortamlar dahi tehlikeli değildir.

Yine de plastiklerin kimyasal dirençlerini derin bir şekilde sorgulamadan önce polimer ömrünü belirleyen bozunma olaylarına dikkat çekmekte fayda vardır. Plastikler de bütün organik materyaller gibi zaman içerisinde bozunur. Bozunma prosesinde etkili olan UV radyasyonu, termal oksidasyon, su absorpsiyonu vs.'dir. Bunu önlemek ve geciktirmek için polimere değişik tipte katkı maddeleri katılır. Sıcaklık arttığında bozunma prosesi ivme kazanır ki bunun sebebi polimer içerisindeki katkıların ömründen önce tükenmesidir. Son yıllarda PEX, PB, ve PP üzerinde yoğun çalışmalara girişilmiştir. 80°C ve 120°C aralıklarında mekanik gerilme ve patlama zamanı arasındaki ilişkinin tespiti çalışmaları belli bir zamandan sonra olumsuzluk olayını açığa çıkarmıştır ki patlama zamanı artık gerilme seviyesine bağlı değildir.

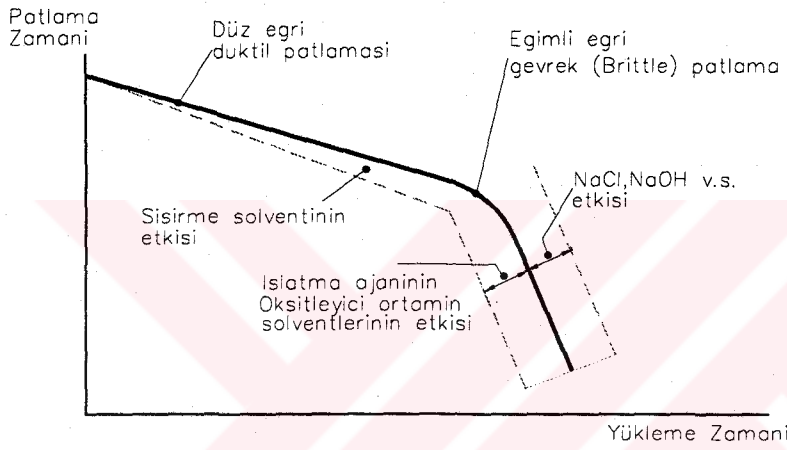
Log Q



Log t

Şekil 3.4.1. (Janson,1995) Gerilme ve paplama zamanı arasındaki ilişki, teorik olarak üç safhada ifade edilir. 1. Safha Uzamalı (Ductile) tipte patlama, 2. Safha Kırılgan (Brittle) tipte patlama ve 3. Safha plastik materyalindeki bozunmadan kaynaklanan patlama.

Genel olarak PP'nin kimyasal direnci çok iyidir. PP, PE'ye göre biraz daha fazla sıcaklık dayanımına sahiptir. Özellikle endüstriyel uygulamalar için temel gruplar olarak bilgiler aşağıda verilmiştir. Kimyasal dayanım için detaylı bilgi ISO/TR 747'den temin edilebilir.



Şekil 3.6.1 Yüksek Yoğunluklu Polietilenin değişik ortam etkilerini gösteren gerilim- zaman eğrisi.

3.7.Aşınma Direnci

Dizayn tekniğinde daha çok dikkatle gözönüne alınan genellikle su ve atık borularının boyutlarıdır. Boru patlamasına, mekanik mukavemetinin aşılması neden olmaktadır ki bu da doğru şekilde dizayn edilen borularda yaygın bir durum değildir. Borunun zamanla korozyon ve aşınma neticesinde dekompoze (çürümesi) olması, patlaması için alışılmadık bir sebep değildir. Bu problem boru sisteminin planlanmasında ve hammadde seçiminde esas olarak ele alınmayı hakeden bir husustur.

Plastiklerin aşındırıcı bir ortama karşı dirençlerinin yüksek olduğu genellikle bilinen bir durumdur. Yeter ki sürtünme ısısı az ve kolayca dağıtılabilir olsun.

Birçok çalışma plastikler ile diğer materyaller arasındaki aşınma dirençlerini, az veya çok doğru, değişik yöntemler ile yaparak aydınlatıcı kayıtlar sunmuşlardır. Ekseriyetle aşındırıcı etki borunun kum ile karıştırılmış su içerisinde döndürülmesi sonucu canlandırılır. Materyaldeki ağırlık kaybı ve hacimdeki değişikliğin karşılaştırılması ile yapılır. En uygun metod aşındırma testi sonucunda boru etindeki kaybı orijinali ile ilişkilendirerek gösteren metoddur. Çünkü çatlamanın başlama zamanı dayanıklılık ile özel olarak ilişkilidir. Duvardaki gerilmenin artışı da zamana bağlıdır.

HDPE ve çelik boru dirseğinde deney şu şekilde gerçekleştirilir. Ø 50 mm borunun içerisi hacminin %15 kum olan su ile doldurulur, suyun hızı 7-8 m/s kadardır, sıcaklığı ise 30-35 °C arasındadır. Bu şekilde HDPE boru 4 mm'ye kadar incelmeye maruz bırakılır ki 1600 h sürmüştür. Bu değer çelik boruda 1000 h'tan sonra meydana gelmektedir. Düz borudaki aşınma dirsekten daha uzun zaman alır.

Norveç standartları 4 adet boru materyalini 1:20 su-kum karışımını aşındırıcı taşlarla deneyi yapmıştır. Ø 250 çapındaki boruların etindeki incelmeyi neden olduğu sonuçlar çekme gerilmesine dönüştürülerek verilmiştir. Boru etindeki gerilmenin nispi artışı aşınma yorulması olarak adlandırılır.

Tablo 3.7.1 (Janson,1995)

Materyal	Gerilmenin nispi artışı, %
PVC	3
LDPE	0.3
Asbest çimento	13
Çelik	7

Kullanılan birçok değişik test metoduna bağlı olarak farklı materyallerde değişik sonuçlar alınabilmektedir. Yine de eğilim açıkça göstermektedir ki, plastik diğer materyallere göre bu konuda en iyi durumdadır. Endüstriyel çözeltilerin taşınmasında HDPE, MDPE ve PVC diğer borulara kıyasla en uzun ömürlü borular olmuşlardır. PE tiplerinde mutlak aşınma direncini tesbit için ASTM D 4060 'a göre testler yapılmıştır.

LDPE 40 aşınmayı ifade eden aşınma indeksi (mg/1000 devir) en yüksek bulunmuştur. Bu değer HDPE63-80 ve LLDPE'nin 2 katıdır. Bu bakış açısıyla en iyi polimer MDPE tipidir. Sıcak su dayanımı en iyi olan ME0909 ise LDPE40 'in üçte biri aşınma indeksine sahiptir.

3.8.Oksidatif Yıpranma

Oksidatif yıpranma, havada bulunan oksijen ve ozon gibi oksidantların etkisi altında meydana gelen yıpranmadır. Sıcaklığında mevcut olduğu bir ortamda ısısızlaşma adını taşıyan bu yıpranma çok daha çabuk oluşmaktadır.

Plastiklerin oksidatif yıpranmaya direnci, malzemenin yapısında ve özellikle makromolekülde kolayca oksitlenebilen grupların ve bağların bulunmasına bağlıdır. Oksitlenebilen karbon zincirli makromoleküller, doymamış hidrokarbonlardır. Ana zincirde bulunan çift bağlar, yan zincirlerin çift bağlarından oksidasyona daha elverişlidirler. Bu nedenle lineer polietilenler oksidatif yıpranmaya maruz kalırlar; dallanmış polietilenler ise yıpranmazlar fakat üç boyutlu yapı oluştururlar.

Polietilen gibi karbon-zincirli doymuş polimerler, oksidasyona karşı daha dirençlidir. Oda sıcaklığında bu malzemeler havada bulunan oksijenin etkisi ile yıpranmazlar. Ayrıca polimerlerin yapısına klor ve florun girmesi oksidlenmeye karşı direnci artırır.

3.9.Hidroliz

Suyun ve ayrıca asitlerin, alkalilerin ve tuzların sulu çözeltilerin etkisi altında meydana gelen yıpranmaya hidroliz denilmektedir. Bu yıpranma, molekül bağlarının koptuğu yerde su moleküllerinin ilave edilmesi ile oluşur.

Heterozincirli plastiklerden; asetal, amid, ve eter veya ester bağları ihtiva edenler hidrolize daha hassastır. Herhangi bir kimyasal yıpranmada olduğu gibi burada da yıpranma hidroliz ajanına, bunun çözelti içerisindeki yoğunluğuna ve sıcaklığa bağlıdır.

Bu faktörlere bağı olarak yıpranma hızlı veya yavaş olabilir ve malzeme özelliklerinde meydana gelen değişiklikler daha kısa veya uzun zamanda ortaya çıkabilir.

3.10.Çözülme ve Yumuşama

Plastikler yüksek molekül ağırlıklarına sahip olduklarından dolayı genellikle zor çözülürler. Bununla beraber her plastiğin belirli bir çözücüsü vardır. Plastiklerde bu çözücülerin etkisi altında çözülme çok yavaş olmakla beraber, şekil boyutlarda değişiklikler ve ayrıca şişme meydana gelmektedir. Kimyasal ajan mükemmel olduğu durumlarda emme (absorbsiyon) ve yumuşama (plastikleşme) meydana gelmektedir. Emmenin az olduğu durumlarda plastik kullanılabilir; buna misal olarak naylonun su emmesi gösterilebilir.

Yumuşama; boyut genişlemesi, çarpılma, mukavemet ve rijitliğin azalması, camsı duruma geçiş sıcaklığının azalması gibi etkiler meydana getirmektedir. Bununla beraber bazı plastiklerin (selülozikler, viniller, akrilikler) camsı duruma geçiş sıcaklıklarını (T_g) düşürmek için plastikleştiriciler kullanılır. Bilindiği üzere plastikler T_g 'nin altında plastikler camsı ve kırılğandırılar. Bu sıcaklığın üzerinde ise lastik gibi davranış gösterirler ve darbe dirençleri yüksektir. Buna tipik bir misal PVC'dir. PVC'nin T_g 'si 80 °C'dır. Plastikleştirici ilavesi ile 0°C'ye kadar düşürülebilir. Bu şekilde daha düşük sıcaklıklarda daha esnek ve darbelere karşı dayanıklı olur.

3.11.Ortam Etkisi İle Gerilmeli Çatlak Oluşumu

Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşumu, kimyasal ajan tarafından plastiğin gerilmesiz olduğu durumda onu çok az etkileyen veya çözen fakat gerilmeli olduğu halde, çatlaklar ve çizgisel çatlaklar oluşturarak onun bozulmasına neden olan yıpranmadır. Bu yıpranma şekli çok karmaşık olmakla beraber önceden tahmin edilmesi de çok zordur.

Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşması şu şekilde açıklanabilir. Ajan, malzemenin yüzeyinde kimyasal bir etki sonucu zayıf bir nokta oluşturur. Daha sonra

bu nokta, bilhassa çekme eğme gerilmelerinin etkisi altında çatlağa dönüşür. Oluşan çatlak bir gerilme konsatrasyonu gibi davranmakla beraber, ajanların etkisi ile çatlak veya kesite yayılmaya başlar ve malzemenin bozulmasına (kopmasına, büyük çatlaklar oluşturmasına) neden olur.

3.12.Eriyik Akış Hızı

Yoğunluk ve kristalinite yanında PE'nin davranışlarını tespitite yaygın olarak yardım eden karakteristik parametreleri vardır. Bunlardan bir tanesinde eriyik viskozitesi veya eriyik akış hızıdır ve MFF-MFI kısaltmaları ile gösterilir. MFI, gram cinsinden , özel çap ve uzunluktaki ölü bölgeden geçen erimiş malzeme miktarıdır. Polietilenin bu özelliği, molekül ağırlığına bağlı olarak değişir.

Eriyik akış hızı, MFR, termoplastik polimerlerin standard şartlar altında akış özelliklerinin ölçülmesidir. MFR'nin ölçülmesi, bu işe uygun cihazlar ile yapılmaktadır. Numuneler ısıtılmış silindir (190°C) içerisine doldurulur. Silindirin üzerine belli bir değerdeki ağırlık bırakılır. Eriyik hale gelen materyal uygulanan kuvvet neticesinde silindirin altındaki orifisten (Ø 2.1 mm) dışarıya akar, bu esnada belli zaman aralıkları ile bu materyal kesilir ve tartılır. MFR gram/10dak. birimiyle ifade edilir. Belirlenen zaman aralıklarında geçen materyal miktarı uygulanan piston ağırlığına bağlıdır. Piston ağırlığı ile materyale uygulanan basınç arasındaki basınç ilişkisi aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 3.12.1 (Borealis Firmasının Teknik Dökümanı, 1996)

Gösterim	Ağılık (kg)	Basınç (bar)
MFR ₂₁	21.6	31.0
MFR ₅	5.0	7.8
MFR ₂	2.16	3.1

Ağırlığın büyüklüğü hammaddenin viskozitesine bağlı olarak değişir. 2.16, 5 ve 21.6 kg ağırlıkları kullanılır, sondaki özellikle HDPE için kullanılır. Farklı basınçlardan elde edilen MFI değerlerini ayırmak için MFI_2 , MFI_5 ve MFI_{21} sembolleri kullanılacaktır. En çok kullanılan sembol 190 °C'de ve 5 kg ağırlığında ölçülen değeri gösteren MFR 190/5'tir.

MFR değeri esas olarak anma moleküler ağırlığına bağlıdır. Sıkı paketlenmiş moleküller, az paketlenmişlere göre daha az akış eğilimi gösterir. Moleküler ağırlığın artması MFR'nin düşmesi demektir.

21.6 kg'lık pistonlar kullanılarak yapılan ölçümler (MFR_{21}) genelde Akış İndeksi (FI) olarak adlandırılır.

Eğer elde ettiğimiz MFR_{21} değerini MFR_2 değerine bölersek Akış Hız Oranı (Flow Rate Ratio-FRR) diye adlandırılan bir değer elde ederiz. FRR bizlere basınç ile akış miktarı arası ilişkiden ortaya çıkan eğimi verir. Biz materyallerin Basınç/Akış eğrilerini karşılaştırabiliriz ve buradan akış özelliklerinin farklarına varabiliriz.

İki farklı materyalin 2.16 kg'daki MFR'leri aynı olabilir ancak bu durumda 21.6'daki MFR'sinde farklı bir değere ulaşırız. Yani FRR'leri aynı olmaktadır, peki bu bize neyi ifade etmektedir. Bir örnek ile ifade edecek olursak;

İki adet eşit büyüklükte kova alalım ve bunların dibine eşit büyüklükte delikler açalım. Birinci kovanın içerisine hepsi aynı boyutlarda olan çakıl taşlarını dolduralım. İkincisini ise farklı boyularda olan ve aralarında kum tanecikleride bulunan çakıllarla dolduralım. Belli bir zaman zarfında ikinci kovanın içerisinden birincisine göre daha fazla ağırlıkta çakıl boşaldığı tartılarak ölçülür. Birinci kovadaki çakıllar birbirleri arasında daha fazla boş yüzeye sahip iken ikincisinde bu açıklar kum tanecikleri tarafından doldurulmaktadır.

Bu olay, molekülleri orifisten veya ekstrüzyon kalıbından dökülüyor şeklinde düşündüğümüzde benzerdir. Bazı materyallerin molekülleri hemen hemen aynı büyüklükte ki, bunlara dar moleküler ağırlık dağılımlı materyaller denilir. Diğer materyeller ise değişik ebatlarda moleküllere sahiptirler, bunlara ise geniş moleküler ağırlık dağılımlı moleküller denilir.

Dar moleküler ağırlık dağılımlı materyallerin (düşük FRR) orifise doğru madde akışı geniş moleküler ağırlık dağılımlı moleküllere (yüksek FRR) göre daha yavaştır. Diğer ifade ile eğimi fazla olan daha hızlı akış göstermektedir.

Üretim esnasında aynı basınç şartlarında FRR'si daha büyük olan birim zamanda daha fazla ürün vereceğinden seçeceğimiz ürünün FRR'sine bakılarak tercih yapılmasında fayda vardır.

Farklı MFR'deki polimerlerin diğer özellikleri ile ilişkisi nasıldır?

MFR artarsa (kısa moleküller):

- kimyasal direnç azalır
- eriyik mukavemeti azalır
- filmin yırtılma mukavemeti azalır
- darbe mukavemeti azalır
- gerilme çatlama direnci azalır
- hava direnci azalır
- sıkılık biraz azalır
- akış özellikleri artar
- sertlik ve gaz bariyeri özellikleri MFR değişimiyle alakalı değildir.
- MFR materyalin moleküler uzunluğunun ölçülmesidir. Daha kısa zincir, daha yüksek MFR.

- MFR materyalin ortalama moleküler ağırlığının ölçülmesidir. Daha yüksek ortalama moleküler ağırlığı, daha düşük MFR.

4.POLYOFİNLER

Polyofin homopolimerleri, propilen, butilen ve metil penten gibi monomerlerden elde edilir. Bunun yanısıra penten ve heksen monomerlerinden polyofin kopolimerleri oluşturulur. Polyofin ailesine ait en önemli reçineler polietilen ve polipropilendir; bunların yanısıra etilen-vinil asetat, ionomer, poliallomer, polibütülen ve polimetil penten gibi reçineler de vardır. Poliolefinlerin çekme, eğilme ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri ve kullanma sıcaklıkları kristalinite derecesine bağlı olarak oldukça farklıdır. Ancak elektriksel ve kimyasal özellikler bu aileyi oluşturan reçineler için pek değişmez.

4.1.Polietilen

Günümüzde plastikler içinde en fazla üretilen polietilen, toplam plastiklerin % 40'ı kadar bir tüketim oranına sahiptir. Alçak, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluk türlerinde üretilen polietilenin yaygın olanları alçak ve yüksek olanlarıdır.

Petrol kaynaklı etilenden elde edilen ürün, ilk defa ICI-İngiltere laboratuvarlarında sentez edilmiş, 1936'da da Fawcett tarafından tanımlanmıştır.

Birçok proseslere uygun düşen polietilen granül, film, levha, profil vs. şekillerde piyasaya sürülen, yurdumuzda da üretilen bir plastiktir.

Polietilen, etilenin polimerizasyonu neticesinde elde edilen (C_2H_4) formülüyle gösterilen bir polimerdir. Üretilen polietilenin molekül ağırlığı birkaçbinden başlayarak milyonları aşar. İstenilen molekül ağırlığında elde edilebilen polietilenin sertlik ve kristallik gibi özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak değişmektedir. Polietilenin üretim metoduna göre sınıflandırılır.

1.Yüksek basınç polietileni-alçak yoğunluk polietileni

(0.910-0.930 gr/cm³)

2.Orta basınç polietileni-orta yoğunluk polietileni

(0.930-0.950 gr/cm³)

3. Alçak basınç polietileni- yüksek yoğunluk polietileni (0.950-0.965 gr/cm³)

Polietilenin özelliklerini etkileyen faktörler sırasıyla şunlardır:

1. Dallanma
2. Kristallenme
3. Çapraz bağların oluşması
4. Molekül ağırlığı ve akış indisi

Polietilen yapısını oluşturan zincirler lineer bir şekilde dizilmişlerdir. Dizideki düzensizlik kristal yapıyı, düzensizlik ise amorf polietileni verir. Alçak yoğunluklu polietilen gibi yüksek sayıda dallanma halinde, polimerin sertliği ve katılığı iyi olmasına rağmen kristallenmesi ve yoğunluğu düşüktür. Çok az dallanma gösteren yüksek yoğunluk lineer polimeri ise maksimum derecede kristallenme, yoğunluk, katılık ve sertlik gösterir.

Kristal yapıdaki moleküller arası kuvvet fazladır, bu yüzden kristal polietileni sert ve mukavimdir. Polietilende hem kristal yapı hem de amorf yapı mevcuttur. 150 °C'ye kadar kristal yapı devam eder ve bu sıcaklıktan sonra amorf yapıdaki polimer meydana gelir.

Polietilenin en önemli üç özelliği özet olarak şöyle sıralabilir.

1. Yoğunluk
2. Erime akış indisi
3. Molekül ağırlığı dağılımı

Genellikle yoğunluk artarsa:

- a. Lineerlik artar
- b. Sertlik artar
- c. Çekme gerilimi artar
- d. Yumuşama sıcaklığı artar
- e. Kırılma artar

Erime akış indisi artarsa, yumuşama sıcaklığı azalır ve sertlik azalır. Erime akış indisi molekül ağırlığının bir göstergesidir. Erime indisi ortalama molekül ağırlığı ile

ters orantılıdır. Yüksek erime akış indisi olan polietilenin molekül ağırlığı düşüktür. Yüksek molekül ağırlığı olan polietilen sert , çatlama ve kimyasal maddelere karşı dirençlidir, fakat işlenmesi zordur.

Kural olarak yoğunluk (yani kristalinite) sadece erime noktası, yüzey sertliği, geçirgenlik ve su absorpsiyonu için kesin sonuç verirken Eriyik akış hızı ve yoğunluk, malzeme için mukavemet özelliklerini kesin olarak belirleyicidir. LDPE için normal yoğunluk değeri 930 kg/m^3 ve MFR_2 için 0.8 g/10 dak. 'dir. MDPE'e karşılık gelen yoğunluk 945 kg/m^3 ve MFR_5 için 0.7 g/10dak. veya $\text{MFR}_2 = 0.2 \text{ g/10dak.}$ 'dir. HDPE ise günümüzde yaygın olarak 955 kg/m^3 ve uzun dönem malzeme mukavemetini sağlayan $\text{MFR}_5 = 0.5 \text{ g/10dak.}$ 'dir. (karbon siyağının karışımından dolayı yoğunluk takribi olarak 10 kg/m^3 artar.)

Polietilen ağırlık olarak; ortalama molekül ağırlığının, sayısal olarak ortalama molekül ağırlığına oranı, molekül ağırlığı dağılımı olarak tanımlanır. Bu oran 3:1-18:1 arasında değişir. Bu oran arttıkça gerilme direnci azalır, çarpma direnci ve sertlik azalır.

Polietilen viskoelastik bir malzeme olduğundan, gerilim altındaki kuvveti ve bozunumu, tatbik edilen yükün tatbik süresine bağlıdır. Polietilen belli yükler altında ne kadar kullanılabileceğinin bilinmesi gerekir. Polietilen kopmaya karşı direnç gösteren sert ve kuvvetli bir polimerdir. Yüksek erime akış indisi ve yüksek yoğunluk polimerinde çarpma direnci düşüktür.

Polietilen dış etkenlere, çevresel etkenlere maruz bırakılıp, çeşitli maddelerle temas ettiğinde deformasyona uğrayarak çatlar. Bu tür çatlama çevresel gerilim çatlaması denir. Çevresel etkenlerle çatlamayı önlemek ve polietilene direnç sağlamak amacıyla, polietilene %5-10 arasında bütül veya poliizobütül kauçuğu katılır. Polietilene etkileyen çevresel etkenler arasında, polar organik maddeler, yüzey aktif maddeler ve silikon bileşikler yer alır.

Alçak yoğunluk polietileninde kristal yapı %65, yüksek yoğunluk polietilende ise %90 civarındadır. Polietilenin üretimi esnasında oluşan çapraz bağlar polietilene gevreklik ve kırılabilirlik verirler. Dallanma, kristallenme ve çapraz bağlanma polietilenin yoğunluğunu etkiler.

Yüksek yoğunluk polietileni su, hava ve vakum gibi aktif olmayan çevrelerle temasta iken, baskı altında tutulursa çatlama görülür. Erime akış indisi aynı olan polimerlerde çatlama sıcaklık ve yoğunluk artışı ile artar. Sabit yoğunlukta termal gerilim çatlama sıcaklığı ve yoğunluk artışı ile artar. Polietilenin elektriksel özellikleri genellikle çok iyidir ve elektriksel kayıpları azdır. İletkenliğin azoluşu, dielektrik direncinin yüksek oluşu polietilenin izolasyon işlerinde başarı ile kullanılmasını sağlar. Polietilenin güç faktörü sıcaklıkla çok az değişir. Polietilenin elektriksel özellikleri antioksidant katkısıyla devamlı kınılır.

Polietilen kalın parçalar halinde iken opaktır. Film haline getirildiği zaman şeffaf ve berrak hal alır. Bu durumda pusluluk problem teşkil etmektedir. Pusluluk, yansıyan ışık altında polietilenin dumanlı görünüşü olarak tarif edilir. Filmde pusluluk ekstrüderin ağzından meydana gelen eriyik-akış yüzünden ortaya çıkar. Ekstrüzyonda meydana gelen bir hata yüzünden filmde oluşan küçük zerrecikler, ışığın yayılmasına neticede pusluluğun olmasına yol açar. Pusluluk yüzde olarak ifade edilir ve polietilen için %2-20 arasında değişir.

Polietilen kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Çözücüler, organik ve inorganik asitler, alkaliler polietileni etkilemez. Polietilen oda sıcaklığında tüm çözücülerde çözünmez, ancak yumuşayabilir ve çözücülerini absorblayabilir. 70°C'nin üzerinde ksilen, toluen, amil asetat, trikloroetilen, parafin ve terepeptin gibi çözücülerde çözülür. Polietilenin direnci suya karşı çok fazladır. Ayrıca su buharı geçirgenliği de küçüktür. Yoğunluk arttıkça bu geçirgenlik azalır.

Genellikle malzemede yüksek mukavemet gereklidir ki bunun manası da yüksek yoğunluk ve yüksek kristalinitedir. Yine de hammaddenin moleküler ağırlığının artması, boru üretimi esnasında yüksek eriyik viskozitesi ile karşılaşılmasına yolaçar. Bu işlemin esnasında yüksek sıcaklık ve basınç gerektirir, böylece ekstrüzyon tekniği özellikle et kalınlığının yüksek olduğu büyük çaplı borularda ve enjeksiyon kalıp fitinglerinde daha güç ve karışık hal alır.

Genel bir kural olarak yüksek moleküler ağırlığındaki polimerden boru üretilmesi düşük olana göre çok daha zordur. Sonuç olarak istenilen malzemenin mukavemetinin

artarken moleküler ağırlığının artmamasıdır. MDPE, MFR5'te 0.7 g/10dak veya daha fazla iken yüksek uzun dönem mukavemete sahip materyal olarak güzel bir örnektir. Diğer benzer gelişmiş bir malzeme de basınçlı boru hatlarında PE100 olarak kullanılmaktadır. MDPE işlenebilirliğini kolaylaştırmak için akış özellikleri geliştirilmiş bir materyal olarak enjeksiyon kalıplamada kullanılır.

Son yıllarda polietilen üreticileri tarafından genişletilmiş geliştirme çalışmaları üstlenilmiştir ki bunların neticesinde birinci nesil diye tabir edilen ürünlere göre çok uzun süreli mukavemetlere ve sıcaklık dayanımlarına sahip ürünler meydana çıkarılmıştır. Önceki DIN satandırdı onları Tip 1 olarak sınıflandırmaktadır. 1970'lerin sonlarında yeni Tip 2 olarak üretilen geliştirilmiş HDPE 'in sınıflandırıldığı DIN normu çıkarıldı. Tipik olarak bu borular da ikinci nesil olarak adlandırıldı ve standardta 80°C de testleri yapılan yüksek sıcaklık mukavemeti olan borulardır. 1987 yılında DIN standadındaki Tip 1 ve 2 kavramları iptal edilip yerine bir standard çıkartılarak LDPE, MDPE ve HDPE tanımlamaları konulmuştur.

Yeni sınıflandırma, boruların +20°C'de 50 yıl ömrü olmasını sağlayacak, istenilen minimum mukavemet (minimum required strength MRS) değerine dayanmaktadır. Bu esasa göre sınıflandırma tablosu aşağıda verildiği gibidir.

Tablo 4.1.1 (Janson,1995) Polietilenin çevresel gerilme değerine sınıflandırılması

MRS (MPa)	Sınıflandırma Numarası	Dizayn	σ_D (su C= 1.25) (MPa)
3.2	32	PE 32	2.5
4.0	40	PE 40	3.2
6.3	63	PE 63	5.0
8.0	80	PE 80	6.3
10.0	100	PE 100	8.0

MRS= istenilen minimum mukavemet C'ye bölüldüğünde bize dizayn gerilmesini verir.

$$\sigma_D = MRS / C$$

(4.1.1)

Alçak yoğunluklu polietilen iyi tokluk ve esneklik, düşük sıcaklıklarda darbe mukavemeti ve film şeklinde berraklık gibi özelliklere sahiptir, ancak sıcaklığa karşı mukavemeti oldukça düşüktür. Oda sıcaklığında iyi kimyasal mukavemeti sıcaklığın artması ile azalır. Bu malzemenin bir çeşidi de lineer alçak yoğunluklu polietilendir. Bilhassa film şeklinde kullanılan bu polietilen darbeye, yırtılmaya, sıcaklığa ve çevre koşullarına dayanıklıdır. Orta yoğunluklu polietilen de benzer özelliklere sahiptir. Yüksek yoğunluklu polietilen çok daha büyük rijidliğe ve çekme mukavemetine sahiptir. Darbe mukavemeti biraz daha düşüktür ancak düşük sıcaklıklardaki değeri birçok termoplastikle mukayese edilirse oldukça iyidir. Pratikte çeşitli istekleri karşılamak için molekül ağırlık dağılımı geniş, orta ve dar olan çeşitleri üretilir. Ayrıca iyi tokluğu ve dayanıklı olan yüksek molekül ağırlıklı çeşidi vardır. Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenin molekül ağırlığı ASTM D4020'ye göre 3100000 ve daha yüksektir; önceleri molekül ağırlığı 2000000 veya bunun üstünde olan polietilen bu gruba dahil edilirdi. Malzeme çok iyi darbe, aşınma ve kimyasal mukavemete ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Çalışma sıcaklığı yaklaşık 93°C 'ye kadardır. Yüksek ergime viskozitesinden dolayı işlenmesi oldukça zordur; bu amaçla daha çok basınçlı kalıplama, ram ekstrüzyon ve sıcak dövme kullanılır.

En çok kullanılan termoplastik olan polietilen çok değişik özellikleri olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir. Polietilenin özellikleri katkı maddeleriyle değiştirilebilir. Bu değişme ile polietilenin kullanıldığı yerler daha da artırılmış olur. Polietilen film olarak ambalaj sanayiinde, çeşitli malzemelerin saklanması, kırılmaması, su almaması ve korunması maksadıyla kullanılır.

Kroslink polietilen (PEX) HDPE esaslı bir malzemedir. Kroslink prosesinde moleküller birbirine güçlü kimyasal bağlar ile bağlanır. Kimyasal ve fiziksel kroslink yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal metodda ajan olarak Peroksit, AZO bileşik veya Silan kullanılırken fiziksel yöntem de Elektron veya Gama ışını kullanılır.

4.2.Polipropilen

Alçak yoğunluklu bir reçine olan polipropilen tabi olarak yarı saydam ve süt beyaz rengindedir. Ayrıca çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Genellikle malzemenin sınırlı ısısız, kimyasal ve elektriksel özellikleri ve orta derecede mukavemeti vardır; bu son özellik cam elyafı ile kuvvetlendirme ile iyileştirilebilir. Polipropilenden yapılan parçaların ömrü 120 °C'de 5 sene, 110 °Cde 10 senedir.

Polipropilen kalıplanabilen, ekstrüzyonla çekilebilen, elyaf ve film haline gelebilen yegane plastiktir. Polipropilen izotaktik ve ataktik olmak üzere iki grupta incelenebilir. Izotaktik polipropilen kristal yapıya sahip bir polimerdir. Ataktik olan ise amorfür ve polimer yapısı gelişigüzeldir. Ayrıca moleküller arasında simetri yoktur.

Polipropilen propilenin polimerizasyonu ile elde edilir. Reaksiyon için özel katalistler kullanılır. Izotaktik polipropilen elde edilirken çok az miktarda ataktik polipropilen teşekkül eder. Bu tür polipropilenin sistemde bulunması izotaktik polipropilenin fiziksel özelliklerini etkiler. Izotaktik olmayan bu polimerin sistemden atılması, polipropilen üretiminin en önemli problemidir. Polimerizasyon ve saflaştırmadan sonra polipropilen tane olarak elde edilir.

Polipropilenin üstün özellikleri olmasına rağmen, bazı katkı maddeleriyle daha değişik ve üstün özellikler verilebilir. Polipropilenin düşük sıcaklıklarda çarpma direnci düşüktür. Poliizobütülen veya bütül kauçuğu gibi elastomerlerle bu özellik geliştirilebilir. Polipropilenin olefinik monomerlerle olan kopolimerizasyonu, polipropilene kauçukumsu bir özellik verir. Propilenin etilen ve bütlen-1 ile yaptığı kopolimer, düşük sıcaklık özelliklerini geliştirir. Böyle bir polimer sert, kristalimsi plastik yerine elastomer gibi hareket eder.

Polipropilenin blok kopolimerlerinin teşekkülü, reaktör sistemine katılan monomerlerin durumuna bağlıdır. Kopolimerlerin büyük bir kısmı kristallik ve yüksek sıcaklık özelliği sağlayan polipropilen, geri kalan kısım etilen ve/veya propilen-etilen elastomeridir. Blok kopolimer daha çok enjeksiyon kalıplamada kullanılır. Etilen-propilen kopolimerinin kristal yapısı düşüktür.

Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak değişir. Molekül ağırlığı yüksek olan polimer yumuşaktır, düşük olan polimer ise sert ve kırılımandır.

Molekül ağırlığı ve moleküllerin dağılımı ve akış ve reolojik özelliklerini etkiler. Yüksek molekül ağırlığı bulunan polimerin erime direnci yüksektir. Düşük moleküllu olan ise daha iyi akışkan ve reolojik özellikleri iyidir. Bu tür polipropilen ince elyaf ve ince cidarlı kalıplama işlerinde kullanılır.

Polipropilen halojenleri içeren, nitrik asit ve çok kuvvetli oksitleyici maddelerden başka kimyasal maddelerce etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropileni çözebilecek hiçbir çözücü yoktur. Deterjanlar polimeri etkilemez.

Polipropilen borular PE'de olduğu gibi ekstrüzyon yöntemi ile üretilir. Özellikle pazarda PP'nin birkaç değişik molekül yapıları türleri bulunmaktadır. En basit durumda molekül zincirler bir birim molekülün tekrarlı birleşmesinden teşekkül olur. Bu polimer homopolimer olarak adlandırılır. Şayet farklı iki birim molekülün (A ve B) tekrarlı birleşmesinden teşekkül ise Kopolimer olarak adlandırılır. PP-h olarak gösterilen homopolimerde tekrarlanan birim A propilen monomeridir. PP-c işaretiyle gösterilen Kopolimerdeki birim B, etilen monomeridir. Molekül zincir içerisinde tekrarlanan A ve B birimlerinin düzenlenmesine bağlı olarak Kopolimer değişir.

"AAAA..." (PP-h) Polipropilen homo polimer

"ABABAB..." (PP-c) Polipropilen copolimer

"AAAA... BBB... AAA..." (PP-b) Polipropilen blok copolimer

"AABABBAABBAAA..." (PP-r) Polipropilen random copolimer

Bu son diziliş A ve B birimlerinin rastgele dizilmesi ile teşekkül olur.

PP'nin sertliği şu sıra ile azalır. PP-h→PP-b→ PP-r ve sonuç olarak darbe mukavemeti aynı zamanda artar. PP-h'tan PP-r'e gidildiğinde yüksek sıcaklıktaki (60°C) uzun dönem mukavemetinin arttığı bulunur. Daha fazla yaygın olarak atık sularda PP ve soğuk su borularında PP-b boruları kullanılır. PP-r tipi ise yakın zamandaki geliştirme neticesinde sıcak akışkana mukavemeti nedeniyle ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bunlar tekrar işlenebilme özelliği yanında PEX'ten daha kolay ekstrüde edilebilmesi ve

PB'den daha güvenli olması hasebiyle pazarda yarışabilmektedir. Dahası, PP boruları kaynak yapmak suretiyle birleştirilebilir ki bu olay PEX'te mümkün değildir.

PP oksitleyici olmayan tuzların sulu çözeltilerine karşı çok dirence sahiptir. Yine de, 70°C 'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda belli metal iyonlarında, bakır gibi, malzemede ısıl oksidasyonun ivmelenmesine neden olur.

Oksidatif olmayan asidlere karşı hatta yüksek sıcaklıklarda dahi çok iyi direnç göstermektedir. Sülfirik asid gibi oksitleyici asidlere karşı dayanımı özellikle yüksek sıcaklıklarda ve %60'ın üzerindeki konsantrasyonlarda az iyidir. Bu durum nitrik asid içinde geçerlidir. Sülfirik asid ile karşılaştırıldığında nitrik asid kolayca PP içerisine nüfuz edebilir. %30'un üzerindeki konsantrasyonlarda ve özellikle yüksek sıcaklıklarda malzemenin mekanik özelliklerinde azalmaya neden olur.

Tablo 4.2.1.Sıcak su boruları için PP-r polimerinin tipik fiziksel özellikleri (Daplen Firmasının Teknik Dökümanı)

ÖZELLİKLER	TEST METODLARI	SONUÇLAR
Yoğunluk	DIN 53479	0.900 g/cm ³
Yüzey direnci	DIN 53482/VDE 0303 part 2	>10 ¹² Ohm
Akma noktasındaki mukavemet	ISO 527/1A, 50mm/dak	26.1 Mpa
Kopma noktasındaki mukavemet	ISO 527/1A, 50mm/dak	21.5 MPa
Kopma noktasındaki uzama	ISO 527/1A, 50mm/dak	>400%
Elastisite modülü	ISO 527/1A, 50mm/dak	808 MPa
Esneklik modülü	ISO 178, 2mm/ dak	874 MPa
Esneklik mukavemeti	ISO 178, 2mm/ dak	30.5 Mpa
Charpy, çentikli	ISO 179/1A	
23 °C	1.00 J	22.9 Kj/m ²
0 °C	0.50 J	4.5 Kj/m ²
-20 °C	0.50 J	1.9 Kj/m ²

Charpy, çentiksiz, 23 °C 0 °C -20 °C	ISO 179/1D 4.0 J 4.0 J 4.0 J	NB NB 53.7 Kj/m ²
Izod, çentikli 23 °C 0 °C -20 °C	ISO 180/1A 2.75 J 1.0 J 1.0 J	22.5 Kj/m ² 5.6 Kj/m ² 3.4 Kj/m ²
Izod, çentiksiz, 23 °C 0 °C -20 °C	ISO 180/1 C 5.5 J 5.5 J 2.75 J	NB NB 38.4 Kj/m ²
Shore D sertliği	ISO 868	60
Rockwell sertliği	ISO 2039-2	50
Vicat yumuşama sıcaklığı	ISO 306,metod A,50K/h	131.3 °C
Erime aralığı	ISO 3146-19	142.4 °C
20 °C'de Isınma ısısı	DSC	2.0 J/gK
(30-90°C) Uzama katsayısı	Dilatometre (DIN 53752)	1.8 10 ⁻⁴ 1/K
(10-60°C) Isıl iletkenlik	DIN 52612	0.21 W/m°C
HDT	ISO 75, Metod A	45.2 °C
Eriyik akış hızı		
230/2.16	ISO 1133, Cond 12	<0.5
190/5	ISO 1133 Cond 18	<1.0

PP alkalilere çok iyi direnç gösterir. Sürünme direnci etkilenebilir. Yine de 80 °C'de % 30 konsantrasyonda sürünme direnci sudakine göre 0.7'dir.Klor ve klordioksit PP üzerinde aşındırıcıdır.

Organik asid, alkoller, veya esterler genellikle PP ile reaksiyona girmezler. Yine de bunlar malzemeyi şişirirler ve mekanik özelliklerini azaltırlar. İçinde organik sıvı varken bir uzama meydana gelirse PP'ye ihtiyatlı yaklaşmak gerekir.

Karbon siyahı ile üretilen PP borularının hava şartlarına özellikle Ultra Viyole güneş ışığına dayanımı yüksektir. Ancak diğer renklerdeki dayanım düşüktür. Bu sebeple iç tesisatlarda kullanılmasında fayda vardır. Binaya döşemedi önce de paketlenmiş halde depolanması gerekmektedir.

Birçok renkteki pigment nihai haldeki ürüne daha güzel bir görünüm vermesi için natural haldeki hammaddeye katılmak suretiyle plastik endüstrisinde kullanılmaktadır. Siyah pigment kablo kaplamalarında ve borularda kullanılmaktadır. Bu materyallerde malzemelerin uzun dönem özelliklerinin en iyi olması istenildiğinden Karbon Siyahı diğerlerine göre daha fazla hava tesirlerine karşı mukavemet sağlamak için kullanılır.

Natural Polipropilen kısa süre açık havada depolandığında kırılgan hale gelirken, %2 Karbon Siyahı katıldığında yüzey bozunmasına karşı materyali en az 50 yıl korur. Nihai ürün açık havada depolandığı veya döşendiğinde Karbon Siyahı, ürünü yüksek sıcaklıklardaki oksidasyona karşı katkıda bulunur.

Farklı üretim metodları ile farklı tipte karbon siyahı elde edilir. UV radyasyonuna karşılık verimli bir koruma isteniyorsa iyi belirlenmiş yapıda ve partikül büyüklüğünde doğru karbon siyahının seçilmesi gereklidir. Eğer yanlış tipte karbon siyahı seçilirse zayıf fiziksel özelliklerin ilavesi yanında polimere istenmeyen tat ve kokular verir. Bazı karbon siyahları aromatik maddeler içerir ki bunların yiyecek veya içecek ile temas etmemesi gerekir. Basınçlı borular için gerekler ISO DP 4427 de bulunmaktadır.

UV koruması için kullanılan karbon siyahının standard özellikleri

Yoğunluk	1500-2000 kg ³
Maksimum uçucu madde	kütleden % 9
Ortalama partikül büyüklüğü	0.010-0.025 mikron
Toluen çıkartabilme	% 0.10 'dan fazla değil

Karbon siyahının tipi yanında polimer içerisindeki konsantrasyon ve dispersiyon, nihai ürünün özellikleri çok önemli iki faktördür. % 2-3 arasındaki konsantrasyon optimum sonucunu verirken daha fazla konsantrasyon fiziksel özellikleri ters yönde etkileyebilir.

Koruyucu katkı maddelerinin yani karbon siyahı ve antioksidantlar kimyasal reaksiyon bozunması olmaması için çok iyi dağılmış olmalıdırlar. Sıcaklık ve UV'ye maruz kalındığında zamanla reaksiyon başlar. Her meydana gelen reaksiyon, bir tanesini için katalizör vazifesi yapar bu da daha fazla bozunma demektir. Bu bir zincir reaksiyonu haline dönüşür. Bu tip reaksiyonları önlemek ancak dağılım ve homojen yapının iyi olması, aynı zamanda polietilenin iyi stabilize edilmesi ile sağlanır.

Editivlerin (katkı maddeleri) dispersiyonu, özellikle de karbon siyahı, polietilenin mekanik özelliklerini etkiler. Eğer iyi dağılmamış ise yük altında gerilme yığılmaları meydana gelir. Kötü dağılımın sebep olduğu zayıf kısım tahmin edilen servis ömründen önce yarıma olumsuzluğu meydana gelebilir. İyi bir karışım elde edilmesi için hammaddeye karbon siyahı ve diğerlerinin üretici firmanın özel operasyonlar ile karıştırılması tercih edilmelidir.

Pazarda mevcut karbon siyahı direk olarak ekstrüder hunisinden katılmak üzere satılmaktadır. Kolay bir dispersiyon elde edilmesi için düşük moleküler ağırlıklı, fiyat ve kolay kullanım sebebiyle de büyük ebatlı karbon siyahı kullanılmaktadır. Bu tip mastırbeçler (pigment ihtiva eden hammadde) sadece siyah renk verirler. Taşıyıcı olarak düşük moleküler ağırlıklı materyaller kullanıldığından ürünün mekanik özellikleri kötüleşir. Çok büyük partiküllü karbon siyahının UV koruyuculuğu yeterli değildir. Boru görünümü iyidir ancak uzun dönem özellikleri zayıflatır. Karbon siyahının dağılımı mikroskop ile incelenebilir. Mikrotom cihazı ile üründen soğan zarı gibi incelikte numune çıkartılır ve 64 defa büyütebilen polarize mikroskopta testler gerçekleştirilebilir.

Yüksek sıcaklıklarda bakır iyonlarına boylu boyunca maruz kaldığında PP'nin özelliklerinde bozulmalar göstermektedir. 60 °C'nin altında pirinç ile temasında zararlı bir şekilde etkilenme olmaz.

Isıtma sistemlerinde kullanılan PP-r'in oksijen geçirgenliğinin göz önüne alınması önemli bir husustur. Oksijen molekülleri boru ve fittinglerden nüfuz ederek sistemde kullanılan metal kısımların korozyona uğramasına sebep olur. Bu tip korozyonun önlenmesi için 3 yol vardır.

1. Korozyon inhibitöründen istifade etmek. İnhibitör tipi PP-r üzerinde zararlı etkisi olmamalıdır ve inhibitör konsantrasyonu sürekli kontrol edilmelidir.
2. Sistemde korozyona uğramayan materyaller kullanılması.
3. Boru fittinglerin üzerinin oksijen bariyeri ile kaplanmasıdır.

Uzun dönem basınç mukavemetleri, kolay işlenmeleri ve döşemeye uygun olmaları hasebiyle geleneksel borularla, bakır ve galvanizli gibi, rekabet etmekte ve onların yerini almaktadır. Bina içerisindeki su tesisatlarında hem üretici hem de kullanıcı için birçok avantajı nedeniyle tercih edilmektedir.

Hammadde için özel ekstrüder gerektirmezler. Sıcak su hatları yüksek kalitede boru imalatı için tek vidalı ekstrüderler kullanılması yeterlidir. PP-r aynı zamanda fittingler için enjeksiyon baskısında üretilebilir ve tüketici sistemini tamamlayabilir.

PP-r boru ve fittinglerindeki düz hat uygulamalarında kolay ve mükemmel kaynak kabiliyeti sayesinde bina içerisinde çok kolay döşenir. DN (boru anma çapı) Ø50'ye kadar el kaynak makinası ile işlem gerçekleştirilebilir.

4.3.Polivinil Klorür

PVC plastikleştiriciler kullanılarak veya kullanılmadan üretilebilir. İlkine örnek olarak bahçe hortumları ve ev geçeleri verilebilir. Plastikleştiricilerin ilavesi malzemenin esnekliğini artırır ama bunun yanında diğer fiziksel özelliklerinde

kötüleşmelere neden olur. Dahası plastikleştiriciler zamanla göç etme eğilimine girerler ki bu da malzemeyi kırılganlaştırır. Bu sebeplerden dolayı su ve atıklar için üretilen PVC borularda plastikleştirici kullanılmaz. Bu bakış açısıyla PVC rijid olarak karakterize olur. ISO'ya göre PVC-U (plastikleştirilmemiş PVC) olarak adlandırılır.

PE de materyalde eriyik akış oranı moleküler ağırlığını tanımlarken PVC'de bu K değeri ile tanımlanır. Bu değer birçok usül ile elde edilebildiği gibi aşağıda verilen değerler Fikentscher (25°C sıcaklıktaki siklohegzan içerisindeki % 1 PVC'ye dayanır) yönteminden elde edilmiştir. ISO/R 174-1961'e göre yapılan teste viskozitesi 105 olanın K değeri bu metoda göre 65'tir. K değeri molekülün moleküler ağırlığındaki yani daha uzun moleküllerdeki artış ile artar. PE'de olduğu gibi PVC'nin mukavemeti arttığında işlenibilirliği daha zor hale gelmektedir. K değeri PVC de 65-70 aralığındadır. PVC'nin diğer tanımlayıcı özelliği ise yumuşama sıcaklığıdır, bu da yumuşama noktası (Vicat Noktası) olarak ifade edilir. Normalde 70°C ve 80°C arasında bulunur. Bu sıcaklık değerinin artması özellikle sıcaklığa dayanımın artmasına ve bunun yanında mukavemet özelliklerinin de gelişmesine yol açar.

Hammadde de emülsiyon, suspansiyon ve bulk resin arasında farklar mevcuttur. Üretim prosesinde hammadde de saflığın artması ve az suabsorbsiyonu bu sıradadır. En yaygın tip suspansiyon PVC (S-PVC) dir, yine de emülsiyon PVC (E-PVC) mevcuttur. Yıkamış ve yıkanmamış E-PVC arasında fark vardır, yıkanmış tipi daha az emülsifayır ihtiva eder. Saflıktaki farka ilave olarak, tane büyüklükleri farklıdır: S-PVC kaba taneli, E-PVC ise ince tanelidir. İkinci durum E-PVC'nin lehine açık bir avantajdır ki yıkama ile materyalin saflık artıyorsa bu kullanılan bir faydadır. E-PVC'nin küçük taneli olması demek S-PVC'den daha çabuk erimeye müsait demektir. Aynı proseste daha yüksek K değerli E-PVC, S-PVC yerine kullanılabilir. Yine de diğer sebeplerden dolayı S-PVC tercih edilir.

PE de olduğu gibi PVC materyalinin mukavemetinin geliştirilmesini realize etmek hammaddenin moleküler ağırlığının artması ile olmaktadır ki bu da K değerinin artması demektir. Yine de bu boru üretim güçlüğüünün artması sonucunu verir. Yeterli miktarda düşük eriyik viskozitesini sağlamak için gerekli olan yüksek sıcaklıkta PVC'nin ısısı

kararsızdır, yani değişkendir. Bu problem ilk olarak özellikle borunun şeklinden daha karmaşık yapıda bulunan enjeksiyon fittinglerinde mevcuttur. Bu durumlarda, hammaddedeki moleküler ağırlığının seçimi için düşük eriyik viskozitesi belirleyici bir özelliktir. Pratik sonuç olarak basınçlı boru için enjeksiyon fittinglerinde borulara göre daha düşük K değerindeki hammadde yapılmalıdır.

Basınçlı atıklar için üretilen fittinglerin herikisinde de günümüzde K değeri 65 ve Vicat noktası 0°C'nin üzerinde olan PVC ile üretim yapılmaktadır.

4.4.Cam Takviyeli (Glass-Reinforced) Polyester Borular

GRP borular başlıca iki farklı metoda göre üretilir. Birisi iplik sarma prosesi, diğeri ise merkezkaç kalıplama tekniğidir.

Birinci durumda cam iplik örtü boru üzerine sarılarak üretilir veya cam iplik, kademe kademe polyestere doyurulur iken cam çelik çekirdek üzerine örülülür. Termoseting işlemi özel fırında ısıtma işleminden sonra tamamlanır. Yaygın boru tipi ise 'Drosthalm-Process' ne göre üretilen borular olup bunlar sürekli bir üretimdir. Burada iplik boru eksenini ile ilişkili durumda spiral olarak açılı verilir. Belli bir değere kadar borunun aksenal mukavemeti ipliğin eğiminin değişmesinden etkilenir. Çevresel mukavemeti aksenal mukavemetten önemli miktarda daha büyüktür. Polyester malzemenin Ring Stiffness (Halka Sıklığı-çevresel şeklini muhafaza etme değeri) arttırmak için bazen boru etinin arası dolgu kumu (Verog tipi) ile doldurulur. Bu hammadde artışı olmadan boru etinde kalınlaşmaya neden olur. Diğer iplik örme prosesi (Wavin, Bondstrand tipi vb.) cam ipliğin çapraz olarak sarılmasıdır ki bu da Drosthalm borusuyla karşılaştırıldığında aksenal yönde mukavemet artışı sağlar. Santrifuj kalıplama metoduna (Hobas tipi) göre değişik kompozit materyaller - polyester reçine, kıyılmış cam iplikleri, quartz kumu- çelik borunun ekseninden santrifuj olarak fırlatılır ve borunun içerisi kalıp vazifesi yapar. Santrifuj esnasında yapraksı komponent polimerizasyon başlamadan önce kalıba doğru çok yüksek ivmede fırlatılır. Bu

laminatın yüksek derecede sıkı yapı oluşturmasına ve standard materyal kalitesinin kolaylaştırılmasına neden olur.

En iyi kalitedeki GRP, vinlester reęinesinden ię yūzey kaplamasına sahiptir. İę katman cam iplięe sahip deęildir ama normalde takviye olarak polyester ipliksi Őrtūye sahiptir. Çekirdek katman Ortophtalacid reęineden veya en iyi durumda Bisphenol reęineden teřelkūdūr. Cam iplik E-Glass tipi olabilir, tercihen korozyon direncini arttırmak ięin deęiřtirilebilir (E-CR).

GRP 12 m uzunluğunda ũretilir. Uę kısımları borunun geğmesine mūsait çift taraflı parçalar ile birleştirilir. Fitingleri dilim dilim kesilmiş boru parçalarından birleştirme tekniği kullanılarak yapılır.



5.ÜRETİM

5.1.Boru Ekstrüzyonu

PE, PP ve PVC boruları eriyik haldeki malzemenin, özel olarak dizayn edilen kalıptan ekstrüde edilerek çekilmesi ile üretilir. Boru hat sonunda soğutma suyu ile soğutulur. Boru üretimi süreklidir ancak pratik açıdan sınırlıdır. Eğer PE boru fabrikası sahil kıyısında veya mobil olarak inşa edilebilse , deniz altı döşemeleri için çok uzun boruların üretilmesi mümkündür. 5 km uzunluğunda boru halihazırda üretilmiştir.

PP hammaddesi değişik tek vidalı hatlarda, yivli veya yivsiz besleme bölgesi ekstruderlerde başarılı bir şekilde çekilebilir.Aşağıda verilen parametrelere göre çekilir.

Silindir: 180, 190, 200 ve 210 °C

Kafa : 210°C

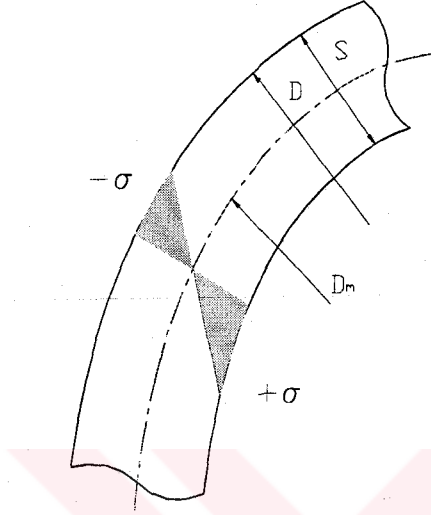
Kalıp: 210°C

Erime derecesi : 210-220°C

Araçlar: ticari mevcut bulunan ekstruder kafaları

Bütün termoplastik borularda materyallerin içinde üretim prosesinin soğuma safhasında gerilmeler meydana gelir. Bunlar iç gerilmeler (frozen-in stresses) olarak adlandırılır. Ekstrüde edilmiş su banyosunun içindeki borunun soğuması dış yüzeyinden olmaktadır ki bu da dış yüzeyde eğilme gerilmesine sebebiyet verir. Bu gerilme aşağıdaki davranışlarla artar. Soğuma esnasında dış yüzey katmanı termal olarak büzülür, bu arada eş zamanlı olarak borunun iç kısmındaki ılık yüzey katmanı plastik olarak baskı (compress) yapar. İç kısmın müteakip olarak soğuması, boydaki ısı değişiminin neticesi olarak, kendisinin yüzey katmanını büzmeye gayret gösterir ancak halihazırda daha hızlı soğumuş ve formunu almış dış yüzey tarafından engellenir. Sonuç olarak iç yüzey çekme gerilmesine dış yüzey ise basma gerilmesine maruz kalır. Daha hızlı soğumanın meydana gelmesi ve kalınlığın daha fazla olması ile birlikte eğme gerilmeleri daha keskin olur. Boru aksenal yönde kesildiğinde, borunun çevre ölçüsünde

azalma olur. Karşılıklı olarak eşit zıt kuvvetler birbirlerini dengeler ve ısıtma esnasında kesilmemiş borularda herhangi bir şekil değişikliği gözlenmez.



Şekil 5.1.1 (Janson,1995) Boru üretiminde etkilinliğindeki gerilmeler

HDPE de yapılan ölçümlerde gerilme ve zamanın log-log diyagramındaki ilişkisinin doğrusal olduğu tesbit edilmiştir. Ekstrüze edilmiş bir borunun 2 saat sonraki donmuş gerilmeleri 3 MPa iken bu değer 10000 h sonunda 1.5 MPa'a düşmüştür. Gerçekte, borunun içerisinde de bir hava sirkülasyonu olduğundan belli bir derecede ıckısımda soğuma olur ve neticesinde boru etindeki gerilmelerin dağılımı üçgen biçiminde olmamaktadır. Daha fazla enjeksiyon kalıp fittinglerinde, büyük çaplı ve kısa uzunluktaki borularda olduğu gibi soğuma her iki taraftan da gerçekleşebilir ve neticesinde basma gerilmeleri her iki taraftan da meydana gelir. Eğer çekme ve basma gerilmeleri birbirlerini dengeleyebiliyor ise fittingin, borunun kesme anında çevresinin ölçüleri değişmez.

Sabit uzamanın neden olduğu eğme gerilmesi uzun zaman zarfında gevşeme (relaxation) nedeniyle düşer. İfade edildiği gibi bu tip gerilmeler yalnız başına olumsuzluğun artmasında neden olmaz. Sonuç olarak ilk bakışta donmuş gerilmelerin büyüklüğü için bir formül dizayn edilmesine gerek yoktur. Yine de iç hidrolik basıncın neden olduğu sürünme (creeping) altındaki çekme gerilmesi ile büyük donmuş

gerilmelerin konbinasyonu, tam olarak değerlendirmesi yapılmayan yük durumunun artmasına neden olacaktır. Normalde bu gerilmeler PE borularda 2.5-3.0 MPa ve PVC borularda ise 4.0-5.0 MPa'dır. Bu durum düşünöldüğünde donmuş gerilmelerin bu değerler limitinde tutulmasında fayda vardır.

Diğer bir pratik sebep ise PE borular alın kaynağı ile birleştirildiğı içindir. Eğer bu gerilmeler yüksek olursa boruların kaynak esnasındaki hizalamasında büyük problemler ortaya çıkacaktır. Kaynak gerçekleştirildikten sonra da tahmin edilemeyecek çok eksenli gerilmeler kaynak bölgesinde teşekköl edecektir. Bu açıdan donmuş gerilmelerin mümkün olduğunca düşük ve alın kaynağı ile birleştirilecek PE borularda 2.5 MPa'dan aşağı tutulması tavsiye edilmektedir.

5.2.Polipropilen Fitinglerin Enjeksiyon Kalıplaması

PP sıcak kaynak birleştirmeleri, enjeksiyon kalıp fittingleri için çok uygundur. Enjeksiyon kalıplamasında en önemli mesele kılıbın akışı kolaylaştıracak şekilde dizayn edilmesi ve kalıp hat pozisyonlarının optimum olmasıdır. Aynı zamanda materyal üzerinde transformasyon esnasında polimerin kırılmasına yol açacak gerilmelerin oluşturulmamasıdır. Bu faktörlerin ikisi de fittinglerin basınç testi esnasında başarısızlığa neden olur. Parametreler tesbit edilirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Enjeksiyon basıncı şunlara bağlıdır.

1. Polimerin akışkanlığı
2. Erime sıcaklığı
3. Enjeksiyon hızı
4. Et kalınlığı ve akış uzunluğu

Erime sıcaklığı: 190-240°C

Enjeksiyon hızı: yüzeyde düşük kristalinezasyondan kaçınacak ancak yırtılmadan kaçınacak kadar hızlı

Basınçta tutma: düşük basınç ve uzun süre.

6.DÖŞEME TEKNİKLERİ

6.1.Sıcaklık ile Doğrusal Genleşme

PP borular nispeten yüksek doğrusal genleşmeye sahiptirler. Bu özellik mutlaka döşeme için gözönüne alınmalıdır ve boyca değişimleri absorbe edebilmelidir. Bu sabit ve kayan noktaların kombinasyonu ve kompanse eden yaylar ile gerçekleştirilir. Uzunluk değişimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta L = \Delta T * L * \alpha \quad (6.1.1)$$

ΔL = Boyca değişme (m)

ΔT = montaj ile azami çalışma sıcaklıkları arasındaki fark (°C)

α = genleşme kasayısı (K⁻¹)

L = boru uzunluğu (m)

Örnek:

$$\Delta T = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.18 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta L = 60 * 5 * 0.18 \cdot 10^{-3} = 54 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 54 \text{ mm}$$

Boyca değişiminin büyük kısmı doğrusal uzama ile kompanse edilir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda sönümleyici yaylar kullanılır. Bu yay uzunluğunun hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$X = F * (dy * \Delta L)^{0.5} \quad (6.1.2)$$

F = materyal sabiti (PP için 30)

dy = mm olarak boru için dış çap

ΔL = önceki işlemde hesaplanmış olan uzunluk değişimi (mm)

$$dy= 40$$

$$X=30*(40*54)^{0.5} = 1394 \text{ mm}$$

Sececeğimiz Ø 40'lık yayın uzunluğu 1394 mm olacaktır.

Sabit nokta, fitting ile bina arasına bağlıdır. Kayar nokta ise borunun dış yüzeyi ile bina arasına tutturulmuştur.

6.2.Sıhhi Tesisat Döşenmesi

PP-r boru ve fittingleri ile bina içi bütün sıhhi tesisat tamamlanabilir. Bu boruların boyutları $\phi 16-75$ 'e kadar kullanılabilir. Boru oldukça kalın ve rijiddir. Döşemede düz borular ve dönüşler içinde dirsekler kullanılır.

PP-r boru sistemleri DIN E 8077 'e göre PN (basınç numarası) 20 olarak maksimum 60 °C'de ve maksimum 10 bar basınçta kullanılır. 70°C operasyon sıcaklığı için aynı standarda göre PN25 boru kullanılacak olup maksimum 10 bar olacaktır. Sıcak su tedarikinde servis durumları CEN draft SS 25 'te verilmiştir. 50 yıllık servis ömrü için bu standard 60°C ve 70°C olarak belirtmektedir. Maksimum operasyon sıcaklığı 80 °C için ömür 1 yıl ve 95°C için ise 100 saat olumsuzluk değeridir.

CEN draft SS 25 4, 6 ve 10 barlık boruları kaplamaktadır. Sıhhi tesisatlarda en yaygın kullanım basıncı PP-r borularında 10 bardır ve güvenlik faktörü 1.5 'tur.

6.3.Döşemeden Isıtma Tesisatı

Döşemeden ısıtmada sıcak su döşemenin altındaki borulardan taşınır. Isıtma yüzeyi geniş olduğundan su sıcaklığı radyatöre göre daha düşük olur (30-60°C, 70-90°C). Döşemeden ısıtma konforlu bir hava oluşturur. En iyi ortama döşeme sıcaklığı 27-29°C (banyoda 35°C)'a ulaşıldığında elde edilir.

Döşemeden ısıtma sistemlerinde DIN 4726'da belirtildiği üzere 3 Bar gibi düşük basınçlarda kullanım olmaktadır. Bu standarda göre boru boyutlarında emniyet faktörü 2.5 alınarak kullanılır.

Döşmeden ısıtmada küçük çaplı borular (tipik olarak Ø12, Ø16, ve Ø20) kullanılır. Çünkü ısıtma için birim hacime daha fazla yüzey düşmektedir ve kolay döşenir. İzin verilen en küçük eğme yarıçapı, boruda katlanma olmaması için, borunun dış çapının 6 katıdır.

7.PLASTİK BORULAR İÇİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

7.1.HDPE, MDPE ve PP

Sonyıllarda polyolefin malzemelerin kaynak yöntemlerinde gelişmeler olmuştur. Bu yöntemler alın kaynağı, soket kaynağı, semer kaynağı, elektrofüzyon (soket ve semer), sürtünme kaynağı, ekstrüzyon kaynağı ve özel durumlarda sıcak gaz kaynağıdır. HDPE, MDPE ve PP boruların büyük çaplı olanlarında alın kaynağı en yaygın olanıdır. Küçük çaplılarda ise soket ve elektrofüzyondur. Son zamanlarda yine kroslink borularda üzeri ince MDPE kaplamak suretiyle elektrofüzyon ve alın kaynağı yapılmaktadır.

Günümüzde kaynak noktasının uzun dönemdeki davranışlarının incelenmesi için tahribatsız test mümkün değildir. Kaynak kalitesinin garantisi ancak kaynak parametrelerinin çok iyi gözlemlenmesidir.

Elektrofüzyon normalde otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Alın kaynağında ise geleneksel olarak eğitilmiş personeller tarafından, yeteneğe dayanan, manuel aletlerle yapılmaktadır. Yine de günümüzde sıcaklığı, basıncı ve zamanı ayarlayabilen alın kanağı cihazları mevcuttur.

8.KAYNAK KALİTESİ ETKİLEYEN DİĞER FAKTÖRLER

8.1.Çalışma Ortamı

Rüzgar, kaynak kalitesi için zararlı bir ortam oluşturmaktadır. Bu ütüyü çabuk soğutmakta ve düzensiz bir ısı dağılımına neden olmaktadır. Çalışma alanının etrafı çadır ile kapatılarak güneşten, rüzgardan ve tozdan muhafaza edilir. Düşük çevre sıcaklığı kaynağın kötü olacağı manasına gelmez. -20°C'ye kadar kaliteli kaynak yapılması mümkündür. Dikkat edilmesi gereken bir husus boru uçlarının ve ütünün tozlu, kumlu ve çamurlu olmamasıdır. Kaynak bölgesinin kirli olması ürünün ömrünü azaltır.

8.2.Hizalama

Boru uçlarının hizasız olması kaynak ömrünü keskin olarak kısaltır ve kaynak mukavemetini azaltır. Buna boru sıkıştırma parçaları veya borunun oval olması neden olur. Hizasızlığın mümkün olduğunca az tutulması çok önemlidir. Eğer hizasızlık aşırı ise keskin kenarlar (çentikler) meydana gelir ve sonucunda gerilme yığılması teşekkül eder. Hizadaki sapma boru etkalınlığının %10'unu geçmemelidir.

8.3.Erime Akış Hızı

Farklı materyallerin kaynağında diğer bir kriter ise MFR (eriyik akış hızı)'dır. DIN 16776 kısım 1 farklı Melt İndeksteki materyallerin gruplarını açıklamaktadır. Boru hammaddesi için grup 003 (MFR 190/5 0.1-0.4) , grup 005 (0.4- 0.7) ve genel olan 010 (0.7-1.3)'tir. DVS 2207 005 ve 010 arasındaki grupları kaynak edilebilir olarak tanımlamaktadır (0.4-1.3). Uzun dönem kaynak faktörü DVS 2203 kısım 4'e göre yapılan testte 0.8 olarak elde edilir. En son CEN standardı gaz boruları için özetleyerek, DIN'e göre biraz aralığı genişleterek yayınlamıştır (155 N 1443 E- Şubat).

yapılan testte 0.8 olarak elde edilir. En son CEN standardı gaz boruları için özetleyerek, DIN'e göre biraz aralığı genişleterek yayınlamıştır (155 N 1443 E- Şubat).

9.KAYNAK ve BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

9.1.Alın Kaynağı

INSTA (İskandinav Ülkeleri Standardizasyon Çalışmaları) projesi polyolefin boruların optimum kaynak parametrelerini tespit etmek amacıyla, özellikle büyük çaplı borular için, standard oluşturmaya çalışmıştır. Bu proje hem hammadde üreticisini hem de boru üreticilerini ilgilendirmektedir.

INSTA Projesinde polietilen ve polipropilen alın kaynağı hassas olarak analiz edilmiştir. Parametreler değiştirilerek kaynaklar elde edilmiş ve ardından DVS 2203 Kısım 42'e göre uzun dönem testleri gerçekleştirilmiştir. Bütün testler Norveç Test Enstitüsü olan SINTEF'te yapılmıştır. Burada en önemli test parametresi olarak ısıtma süresi bulunmuştur. Bu, iyi bir kaynak kalitesi vermesi için yeterince uzun olmalıdır. Kaynak parametreleri önem sırasına göre aşağıda verilmiştir.

1.İsı yükselme zamanı

Yeterli genişlikte kaynak bölgesi elde edilmelidir. Isıtma basıncı az önemlidir.

2.Soğutma zamanı

Çok kısa soğutma zamanı iç gerilmeler nedeniyle kaynakta kırılğan bir yapı meydana getirir.

3.Basınç yükseltme zamanı

Isıtmadan sonra boru uçları süratle birleştirilmeli ancak basıncı tedrici olarak arttırmalıdır.

4. Ütü uzaklaştırma zamanı

Bu süre mümkün olduğunca kısa olmalıdır, 10 saniyeden kısa olması tavsiye edilir. Çünkü yüzey çok çabuk soğur. Yapılan incelemelerde sıcaklığın boru yüzeyinden ilk 3 san. İçerisinde 187 °C'den 170°C'e düştüğü tespit edilmiştir. Eriyik halde bulunan hammadde ise çok hızlı bir şekilde oksitlenebilmektedir. Ürünün mukavemetini etkileyen en önemli parametrelerden olan bu hususa dikkat edilmelidir.

5. Basınç

Basınç geniş bir aralık içerisinde uygulanabilir (0.10-0.22 MPa). Sürtünme kayıplarının yüksek olacağı durumlarda düşük değerleri tavsiye edilmez. Uygun görülen basınç aralığı 0.15- 0.22 MPa'dır.

6. Sıcaklık

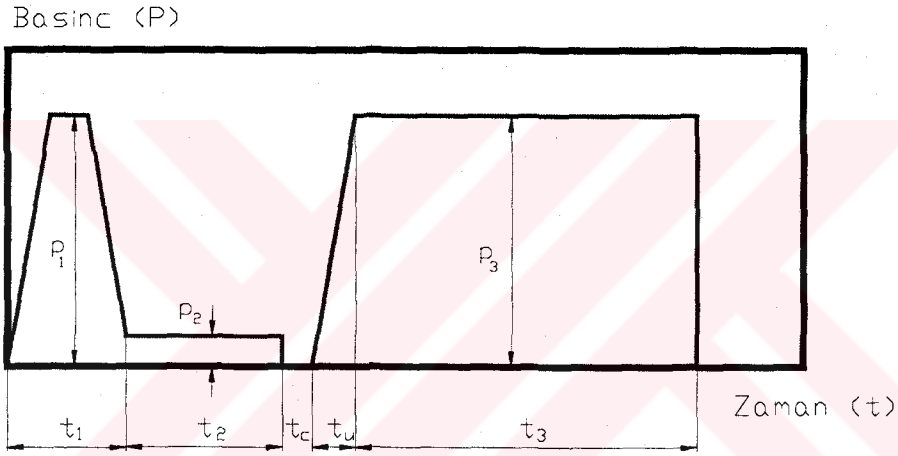
Mukavemette hiçbir değişikliğe sebep olmaksızın 200-230°C aralığı uygulanabilir. Ürünün sıcaklığının artırılması ile kaynak mukavemetinin artırılması mümkün değildir.

INSTA'nın raporunun sonucuna göre sıcaklık ve basınç çok geniş bir aralıkta uygulanabilir ve kaynak bağlantısının kalitesini çok az etkiler. Yapılan testlerde diğer bütün parametreler sabit kalmak kaydıyla sıcaklık 180-260°C arasında, basınç ise 0.05-0.7 MPa arasında değiştirilmiştir. Kaynak bağlantıları uzun ve kısa süreli testlere tabi tutulmuş ancak birbirinden ayıracak derecede farklılıklara rastlanmamıştır. Ayrıca kaynaktaki eriyiğin yer değiştirmesi yani boruda dudak (bead) yapması uygulanan basınca bağlıdır ama belli bir seviyeye kadar basınçtan bağımsızdır. Isıtma sıcaklığındaki değişimler sadece eriyiğin yer değiştirmesine ve dudak miktarının artmasına neden olur. Fiziksel proses esnasında bağ oluşumu hemen hemen hiç etkilenmez. Kaynak işleminin son safhasında materyal sıcaklığı 120-125°C olur ki bu da polietilenin erime sıcaklığına eşittir.

Kaynak prosedürü aşağıda tablo halinde sunulmuştur. Basınç (boru etindeki basma gerilmesi olarak ifade edilmiştir) zamanın fonksiyonu olarak verilmiştir. Isıtma elemanı olan ütü, kaynak sıcaklığına ulaştığında prosedür başlar ki bu normalde HDPE

için 220°C, MDPE için 210°C ve PP için ise 200°C olarak uygulanır. Ütü iki borunun uçları arasına konur ve ilk yüksek basınç P_1 uygulanır. T_1 süresi ise boru uçlarının tamamının ütü yüzeyine temas edene kadar süredir. Sonra hemen hemen sıfıra yakın bir basınçta sabit tutularak T_2 süresince beklenilir. Bu süre boru etkililiğinin fonksiyonu olarak seçilebilir ve çok uzun olarak alınır. Yaygın olarak yapılan hata T_2 süresinin çok kısa seçilmesidir. Böylece eriyik hale geçen materyalin derinliği P_3 basıncı uygulandığında yetersiz kalır. Aynı zamanda eriyik materyalinin tamamını kenara kaçırarak kadar bir kuvvet uygulanmamalıdır ki bu soğuk kaynağa neden olur.

Tablo 9.1.1. (Janson ,1995) Alın kaynak prosedürünün grafik ile gösterilmesi



T_c zamanı boru uçlarının geri çekildiğinde, yani basınç sıfır olduğunda, ütü'nün geri alınma ve boruların tekrar birleştirilmesinde geçen zamandır. Burası da en kritik durumlardan biridir. Çünkü bu süre zarfında boru yüzeyi serbest olarak havaya maruz kalır ve termal oksidasyon olur, bu arada boru sıcaklığı aşağı düşer. Sonuç olarak T_c süresinin olabildiğince kısa tutulması son derece önemlidir.

Sonra T_u süresinde P_3 basıncı teşekkül ettirilir. Bu basınca çok yumuşak biçimde ulaşılmalıdır, çok kısa sürede olmamalıdır. Kaynak basıncı P_3 , P_1 ile aynı büyüklükte olmalı T_3 soğuma zamanında sabit tutulmalıdır. Soğuma zamanının kaynak kalitesinde önemli bir etkiye sahip olduğu teyid edilmiştir. Yaygın hata ise kaynak kapasitesini arttırmak için bu sürenin çok kısa seçilmesidir.

Aşağıdaki kaynak parametreleri Danimarka standartlarına göre dir. s = boru etkalınlığı, D ise boru anma dış çapıdır.

Ütü sıcaklığı		200-220°C	
Isıtma basıncı	P_1	HDPE	0.18 MPa
		MDPE	0.15 MPa
		PP	0.15 MPa
Isıtma zamanı	T_1	kaynak dudağının yüksekliği $e = 0.5+0.1s$ 'e ulaşana kadar	
Isıtma basıncı	P_2	takribi 0.01 MPa	
Isıtma zamanı	T_2	15 sn	
Ütü uzaklaştırma zamanı	T_c	$3+0.01 D$ sn	
Basıncı teşekkül etme zamanı	T_u	$3+0.03 D$ sn	
Kaynak basıncı	P_3	P_1 'e eşit	
Soğuma zamanı	T_3	$10+0.5s$	

9.2. Elektrofüzyon Kaynağı

1970'lerde HDPE ve MDPE boruları düşük basınçlı gaz dağıtım hatlarında aygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Borular normalde toprak altına gömülü olarak, küçük çaplarda yani $\text{Ø}20\text{-}225$ mm arasında kullanılmıştır. Kaynaklarda daha güvenli ve hızlı kaynakların gerçekleştirilmesi gündeme gelmiş ve bunun neticesinde boru ve fittinglerin birleştirilmesinde elektrofüzyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu teknik günümüzde içme suyu hatlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Özel fittinglerin içerisine kaynak yapılacak bölgeye, ısıtıcı eleman olarak teller gömülmektedir. Kullanılan fittingler temelde çift taraflı olarak yapılır. Çekirdekte bulunan tellere elektrik girişi dışarıdan yapılacak şekilde dizayn edilir. Uçları temizlenmiş iki borunun ucu fitting içerisine geçirilir, daha sonra akım kontrol kutusu vasıtası ile terminalden tellere verilir. Akım neticesinde ısınan teller füzyon kaynağını fitting ve boru yüzeyini eriterek yapar. Füzyon zamanı ve güç miktarı kontrol kutusundan elle ve otomatik olarak ayarlanır. Geniş

yelpazedeki standard fittingler, braşman semerleri vs. Ø250 'ye kadar elektrofüzyon programlarında bulmak mümkündür.

Önemli bir mesele de birleşmenin uzun dönem uzama mukavemetinin özellikle analiz edilmesidir. Bu 80°C'de düzenli olarak yapılacak iç basınç testlerinde kontrol edilebilir. Ancak bu uzun dönem mukavemetinin testi için yeterli değildir. Çünkü bu testler çevresel gerilmenin yarısına tekabül eden aksenal kuvvetler oluştururlar. Kaynak kabiliyeti için ürünlerin MFI değerleri gözönüne alınmalıdır.

9.3.Ekstrüzyon Kaynağı

Büyük çaplı fittinglerin, dönüşlerin, braşmanların, redüksiyonların ve depo gibi mamüller normalde alın kaynağı ile gerçekleştirilmez. Önceleri aynı esaslı materyalden yapılan çubuklar ile sıcak gaz kaynağı kullanıldı ancak 1970'in ilk yıllarında daha güvenli ve ucuz olan ekstrüzyon kaynağı geliştirildi. Kaynak çubukları eritilerek doğrudan kaynak ağzına sıkılır. Bu bölge, sıcak hava üfleme suretiyle kaynak sıcaklığına ön ısıtma ile çıkarılır.

Ekstrüzyon kaynağı ile alın kaynağı ve sıcak gaz kaynağının uzun dönem mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Kaynaktan alınan çubuklar 2.5 ve 4.5 MPa arasında çekme gerilmesine, 80 °C'de %2 deterjan katılmış suda teste tabi tutulmuş ve aşağıdaki kaynak faktörleri elde edilmiştir.

Birleştirme Metodu	Kaynak Faktörü
Sıcak gaz kaynağı	0.57
Alın kaynağı	0.84
Ekstrüzyon kaynağı (V ağzı)	0.85
Ekstrüzyon kaynağı (X ağzı)	0.98

9.4.LDPE Boruları

9.4.1.Mekanik Eşleme

LDPE 'de normal kaynak yöntemleri kullanılmaz.Küçük çaplı boru gruplarına giren bu borular metal parçalar kullanılarak birleştirilir. Pazarda çok değişik tipte ürün kullanılmaktadır. Yine de akılda tutulması gereken birşey vardır ki o da bağlantı sonundaki boru dış çapı zamanla borunun içerisinde gerilmelerin ortadan kalkması ile azalır. Zamanla boru ucunun çap daralmasına neden olmaması için boru içine geçen metal parçalar kullanılmalıdır.

9.5.PEX, PP-r ve PB Boruları

Bu borular da küçük çaplı boru grubuna girmektedir ve özellikle ısıtma sistemlerinde kullanılırlar. Genellikle metal parçalar ile birleştirilirler. PP-r'de ise yaygın olarak sıcak sularda elektrofüzyon ve soket birleştirmeleri kullanılır.

9.6.PVC Basınçlı Borular

9.6.1.Elastik Yuvarlak Conta ile Soket ve Musluk Birleştirmeleri

PVC basınçlı borularında Soket ve Spigot (soket içerisine giren erkek uç) birleştirmeleri en yaygın kullanılan yöntemdir. Soket doğrudan özel çelik kalıbının üzerine geçirilmiş borunun ısıtılmak suretiyle çapı büyütülerek şekli verilir. Boru çapı büyütüldüğünde etkililiğinin yeterli olması için borunun sonundaki et kalınlığı artırılır. Bu olay proses esnasında kısa aralıklarla ekstrüzyon oranının değiştirilmesi ile elde edilir. Arttırılmış etkililiğine ısıtılmadan önce boru dış çapına geçirilen PVC ceketini adapte edilerek ulaşılır.

9.6.2.Çözücü ile Birleştirme

Su tedarikinde kullanılan basınçlı PVC hatlarında birleştirme için eksenel kuvvetler sözkonusu olduğunda bazen kullanılır.

Bu konu ile ilgili en önemli problem, birleştirme mukavemetinin uzun dönemde sağlanmasıdır. Önceden bahsedildiği gibi mukavemetin değerlendirilmesi sadece kısa süreli testlerle anlaşılmaz. Kısa süreli testlerde birleştirme noktasının borudan daha yüksek değerler gösterdiği nadir değildir. Oysa uzun süreli testler tam aksi sonuçlar gösterir. Yapıştırıcı birleştirmenin gerilme-zaman eğrisi esas materyal ile paralel gitmez. Diğer bir durum ise +20°C'de boruya uyumlu gözükse dahi yüksek sıcaklıklarda kaynak faktörünün düşmesidir. Bu yüzden seçilecek çözücülü birleştirme materyalinin gerilme -zaman eğrisi borunun çalışma ortamı ile uygun olacak şekilde seçilmesidir.

9.7.Sürtünme Kaynağı

1970'lerin sonlarında enjeksiyon kalıp soketlerinin birleştirilmesinde geliştirilmiş bir tekniktir. Spigot ve soket uçlarının yüzeylerinin sürtünmesi neticesinde oluşan ısının materyali eritmesi ile yapılan kaynak metodudur. Boru ve fittinglerin uçlarının birbirine değdirilerek ters yönde döndürülmesi neticesinde sürtünme sağlanır. Kaynak kalitesi, polyolefinlerin alın kaynağında olduğu gibi, son derece eriyiğin ısınması ve kaynak basıncına bağlıdır. Bu kaynak tipi bazı durumlarda polyolefinlerinde kullanılır.

9.8.GRP Boruları

GRP borularının birleştirilmesinde başlıca yararlanılan elastik çember contalı, çift taraflı soketlerdir. Bu birleştirme yöntemi Ø600'ün altındaki borularda 3 derecelik, Ø600 ile Ø1000 arasında 2 derecelik ve Ø1000'in üzerinde 1-1.5 derecelik açı sapmasına müsaade etmektedir. Birleştirmenin eksenel kuvvetlere maruz kalacağı durumlarda ise flanş ve daha yaygını ise camı iplik levhalarından, polyester reçinelerden istifade edilir. Birleştirmenin uzunluğu ve etkililiği boru çapına ve hattın amacına bağlıdır.

10.PLASTİK BORULARIN DİZAYNI

10.1.İç Hidrostatik Basınç

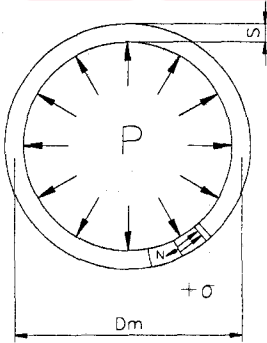
Statik Yük

Bütün plastik borular belirli bir iç basınç dayanımına göre dizayn edilir. Bu anma basıncı, P, bütün boru hattı boyunca sürekli olarak çalışacağı basıncı gösterir. Boru iç basınca maruz kaldığında, borunun birim uzunluğundaki halka uzama kuvveti (hoop tensile force) N boru etinde oluşur.

$$N = \frac{P \cdot D_m}{2} \quad (10.1.1)$$

D_m burada borunun anma çapıdır.

$$D_m = \frac{(D+d)}{2} = D - s \quad (10.1.2)$$



Şekil 10.1.1. İç hidrolik basınça maruz kalan boru.

Dış çap D ile, iç çap ise d ile gösterilir. Eğer uzama kuvveti borunun et kalınlığına (s) bölünürse, çember uzama kuvveti (σ) elde edilir.

$$\sigma = \frac{P * D_m}{2s} \quad (10.1.3)$$

Uzama gerilmesinin dizayn gerilmesini (σ_D) aşmasına izin verilmez. Çalışma basıncına, dış çapına ve hammaddenin çevresel gerilmesine bağlı olarak borunun etkalınlığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$s = \frac{P * D_m}{2\sigma} \quad (10.1.4)$$

Termoplastik borular için ISO Standardlarında borunun dış çapı basınç grubuna bağımlı olmadan sabittir. Borunun dış çapı için D_m yerine pratikte daha fazla D kullanılmaktadır. Bu durumda formülümüz aşağıdaki şekle dönüşmektedir.

$$s = \frac{P * D}{(2\sigma + s)} \quad (10.1.5)$$

PE borular için en fazla kullanılan basınç sınıfları PN2.5, PN3.2, PN4, PN6 ve PN10'dur. Burada PN bar cinsinden ifade edilen maksimum sürekli izin verilen çalışma basıncıdır.

İzin verilen uzama gerilmesi değerinin 10.1.5. formülünde yerine konulması ile aşağıdaki etkalınlığı ile basınç sınıflandırması arasındaki ilişki elde edilir.

Tablo 10.1.1. Boru etkalınlığı ile dış çap arasındaki ilişki

PN (bar)	PE63 $\sigma_D = 5$ MPa	PE80 $\sigma_D = 6.3$ MPa	PE100 $\sigma_D = 8$ MPa	PVC250 $\sigma_D = 10$ MPa
2.5	D /41	---	---	---
3.2	D /32.25	---	---	---

4	D /26	D /32.5	---	D /51
6	D /17.7	D /22		D /34.3
6.3	D /16.9	D /21	D /27	D /32.7
10	D /11	D /13.6	D /17	D /21
16	---	---	D /11	---

Taloda sunulan ifadelerde payadadaki rakam D / s oranı ile alakalıdır. Yaklaşık değer olan D / s ifadesi SDR (Standard Daimention Rate - Standard boyut Oranı) olarak ISO ve CEN'lerinde basınç sınıflandırılmasında kullanılmaktadır: SDR: 51, 41, 33, 26, 21,13.6, 11, vs. Diğer bir gösterim tarzı ise S ileidir. $S = (SDR - 1) / 2$ böylece S değerleri yukarıdaki K değerlerine karşılık gelir: 25, 20, 16, 12.5, 10, 6.3, 5, vs.

20 °C uygulamalarında ve en az 50 yıl servis ömrü gözönüne alınarak daha birçok standardta yukarıdaki hesap yöntemi kullanılarak etkilinliği hesaplanır. Sıcaklığın 20 °C'den sapması durumunda borunun basınç sınıflandırması değişecektir. Örneğin PE100 hammaddesinden imal edilen PN 10 Boruları 40 °C sıcaklığındaki su için basınç grubu PN 4'e düşmektedir.

Dinamik Yükleme

Borular kısa süreler için normal çalışma basınçlarının üzerinde yüklere, koç darbesine, maruz kalabilmektedir. Su şebeke hatlarında akış durumundaki hızlı değişimler sonucunda denge bozulmakta ve basınç artışları meydana gelmektedir. Bu tip durumlara, pompaların çalışmaya başlaması ve durması, vanaların açılıp kapanması, boru patlamaları vs. neden olur. Borudaki Suyun anma hızındaki hızlı değişme basınçtaki değişmenin büyüklüğünü verir.

$$\Delta p = c \frac{\Delta u}{g} \quad (10.1.6)$$

g yerçekimi kuvvetinin neden olduğu ivme ve c ise borudaki basınç dalgasının

hızıdır. Hız; borunun etinin, çevresinin olduğu kadar suyun elastisitesine de bağlıdır. Serbest destekli dairesel borulara aşağıdaki formül uygulanabilir.

$$c = \sqrt{\frac{E_p * g / \gamma}{\frac{E_p}{E_w} + \frac{D_m}{s}}} \quad (10.1.7)$$

E_w = Suyun elastisite modülü

E_p = Boru etinin elastisite modülü

γ = Suyun yoğunluğu

D_m = Borunun anma çapı

s = Boru etinin kalınlığı

Eğer boru uzunluğunca sabitlanmış ise E_p aşağıdaki ifade ile değiştirilmelidir.

$$\frac{E_p}{1 - \nu^2}$$

ν burada büzülme katsayısıdır.

Beton ve çelik borular için borunun ve suyun elastisitesi C değeri için önem arz etmektedir, ancak plastik borular esnek olduklarından suyun sıkıştırılabilirliği ihmal edilebilir.

$$E_p : E_w \ll D_m : s$$

Bu sebeple yukarıdaki denklem sadeleşir.

$$C = \sqrt{\frac{E_p * g / \gamma * s}{(1 - \nu^2) D}} \quad (10.1.8)$$

Boru boylu boyunca sabitlendiğinde.

Misal olarak çok kısa süreli yükleme durumlarında PE63 ve 80 için Elastisite değeri 1 000 MPa olarak tahmin edilmektedir. Denkleme (4.1.4) göre bu borular için $s / D = 0.01PN$ ilişkisi elde edilir. Basınç sınıfı için PN burada bar cinsinden ifade edilmiştir.

PE'nin kısa dönem yük altında $\nu = 0.4$ değeri için, basınç dalgasının hızı C aşağıdaki gibi olacaktır.

$$C_{HDPE63} = 108 \sqrt{PN} \quad (10.1.9)$$

HDPE 100 için nispi etkilinliği daha düşüktür ($s / D = 0.00625$) ama aynı zamanda kısa dönem E-modülü daha büyüktür veya yaklaşık olarak ifade edersek 1500 Mpa . HDPE63'te verilen basınç dalgası hızı geçerli olduğu gibi, bu iki büyüklük birbirini karşılıklı olarak etkiler.

MDPE80 için kısa süreli E-modülüsü HDPE63'ten daha küçük olup yaklaşık 800 Mpa'dır ve etkilinliği da daha azdır. Dalga hızı aşağıdaki gibidir.

$$C_{MDPE80} = 86 \sqrt{PN} \quad (10.1.10)$$

LDPE40 için kısa süreli E-modülüsü yaklaşık 200 Mpa'dır ve dalga hızı aşağıdaki gibidir.

$$C_{LDPE40} = 60 \sqrt{PN} \quad (10.1.11)$$

PVC250 için $s / D_m = 0.005 PN$, kısa süreli E-modülüsü yaklaşık 3500 Mpa'dır ve $\nu = 3.5$ 'tur. Dalga hızı aşağıdaki gibidir.

$$C_{PVC} = 140 \sqrt{PN} \quad (10.1.12)$$

A GRP basınçlı boruları davranış olarak PVC ile oldukça çok benzerdir. Kısa süreli E modülü PVC'nin yaklaşık üç katıdır ve bunun etkisi olarak nispi etkililiği ise üçtebirdir.

PP-r Basınçlı boruları oda sıcaklığındaki PE boruları ile karşılaştırılabilir. Pratikte 20 °C'de HDPE100'e verilerine sahip iken, 70 °C'de ise 20 °C'deki LDPE gibi davranır.

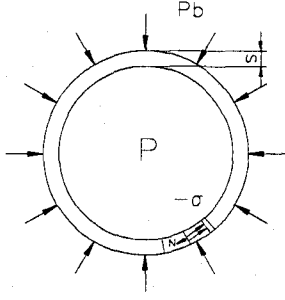
Çelik ve beton borularında basınç dalgası hızı yaklaşık HDPE'nin üç katı kadar yani 1000-2000 m/s 'dir.

Akış durumu değiştiği zaman, mesela, tahliye durumlarında veya vana ayarlarında, hızdaki basınç dalgası boru hattı boyunca yayılır. Serbest su yüzeyi negatif veya yüksek basınç değişimlerini elimine eder. Basınç dalgasının başlangıç noktasından su yüzeyine gidip geri gelmesi için gerekli olan zaman yüksek veya düşük basıncın oluşması için önemlidir. Konvansiyonel dizayn edilmiş boru hatlarında normalde suyun anma hızı yaklaşık 1 m/s'dir.

Beklenen 50 yıllık ömür için yük değişim sayısı, pompanın her 10 dakikada bir açıp kapatıldığı varsayılarak hesaplanır. Bu akışta 10^6 hızlı değişim demektir ki; basınç dalgasının yansımaları, takribi 10^7 yük değişimine karşılık gelmektedir. 10^7 yük değişimine dayanım dayanım sınırı veya yorulma mukavemeti olarak adlandırılır.

10.2.Dış Hidrostatik Basınç

Boru sürekli olarak dış basınca veya iç negatif basınca maruz kaldığında borunun etinde birim uzunlukta çevresel baskı kuvveti oluşur.



Şekil 10.2.1. Dış hidrolik basınca maruz kalan boru.

$$N = \frac{P_b * D_m}{2} \quad (10.2.1)$$

formülde çevresel baskı gerilmesini σ_c koyduğumuzda:

$$\sigma_c = \frac{P_b * D_m}{2s} \quad (10.2.2)$$

Eğer basınç artarsa borunun eti nihayetinde çökme gerilmesine σ_b maruz kalır.

Formülümüz çekme gerilmesini yerine koyduğumuzda aşağıdaki halini alır.

$$\sigma_b = \frac{E_p}{1-\nu^2} * \left(\frac{s}{D_m} \right)^2 \quad (10.2.3)$$

Stabilite de yükleme limitini bulmak için, çökme yükü P_b denklemde yerine konur.

$$P_b = \frac{2E}{1-\nu^2} * \left(\frac{s}{D_m} \right)^3 \quad (10.2.4)$$

Burada;

- E = boru materyalinin elastisitesi
- ν = boru materyalinin büzülme katsayısı
- s = boru etkalınlığı

D_m = borunun anma çapı

Çökmeden önce meydana gelen deformasyonda eliptik şekil aldığı farzedilerek iki noktadan kırılma yani düğüm olduğu kabul edilir. Teorik olarak çökme direnci aşağıdaki gibidir.

$$P_b = 8 S_R (n^2 - 1) \quad (10.2.5)$$

n burada borunun çökme anındaki düğüm sayısıdır. S_R ise aşağıda denklemi verilen halka sıklığı (Ring stiffness) ifadesidir.

$$S_R = \frac{EI}{(1-\nu^2)D_m^3} \quad (10.2.6)$$

Düğüm noktası yerine $n = 2$ koyduğumuzda ifade sade bir hal alır.

$$P_b = 24 S_R \quad (10.2.7)$$

Bu formülün geçerliliği boru elastik ve çember halinde olduğunda geçerlidir. Dahası hidrolik basınçta olduğu gibi dış yüklerin boru yüzeyine dik açıda geldiği kabul edilir. Plastik materyali elastik olmayıp visko elastik yapıdadır. Bu sebeple elastisite modülü yerine sürünme modülü konulmaktadır. Sürünme modülü ise gerilmenin büyüklüğüne, yükleme zamanına ve sıcaklığı bağlıdır. Plastik borudaki dış yükün etkisinde belli bir süre sonra viskoelastik stabilsizlik sürünme çökmesi görülür. Teoride olduğu gibi pratikte de sürünme çökmesi için, borunun halka kısmında esaslı bir deformasyonun olması gereklidir. Teorik olarak kusursuz çevresel bir halka yapıya sahip olduğunda boruda sürünme olayı meydana gelmez. Bunun yerine elastik çökmeler için tespit edilmiş E modülünün kısa süreli değeri alınabilir.

E modülü gerilme-uzama grafiğindeki gerilme σ ve uzama ϵ arasındaki ilişki hesaplanabilir.

Tablo.10.2.1. 20 °C'de PE ve PVC kısa ve dönem için kritik çökme yükü (Mpa)

PN (bar)	2.5	3.2	4	6	10
HDPE63					
3 dak	0.07	0.12	0.20	0.60	1.44
50 yıl	0.015	0.026	0.05	0.13	0.48
HDPE100					
3 dak	-	-	-	0.17	0.70
50 yıl	-	-	-	0.04	0.18
MDPE80					
3 dak	-	-	-	0.21	0.80
50 yıl	-	-	-	0.06	0.25
PVC250					
3 dak	-	-	-	0.22	1.10
50 yıl	-	-	-	0.08	0.36

10.3. Birleştirme ve Fitinglerin Sebep Olduğu Sürtünme Kayıpları

Sürtünme kayıpları halihazırda sabit kesitli düz borular ile uğraşır. Birleştirme ve fittinglerin kesit değişimi ekstra bir kayıba neden olur.

Aşağıdaki ifade yardımıyla en dar kesimdeki hız ile kayıp, Δh , karşılaştırılabilir.

$$\Delta H = c u^2 / (2g)$$

(10.3.1.)

g = yerçekimi ivmesi m/s^2

c = katsayı

u = en dar kısımdaki hız m/s

Alanların oranına göre c katsayısının değerleri aşağıda sunulmuştur.

Tablo 10.3.1. (Janson,1995) Kayıp Katsayıları Tablosu

A_1/A_2	C_c Daralma	C_e Genişleme
0.0	0.5	1.00
0.1	0.48	0.81
0.2	0.45	0.64
0.3	0.41	0.49
0.4	0.36	0.36
0.5	0.29	0.25
0.6	0.21	0.16
0.7	0.13	0.09
0.8	0.07	0.04
0.9	0.01	0.01
1.0	0.00	0.00

A_1 en küçük ve A_2 ise en büyük alandır. Hız her zaman en dar kesite göreir.

Plastik boruları birleştirme yöntemlerinde genellikle daralma meydana gelmektedir. Eğer iç çaptaki daralma % 5-7 'yi aşmıyorsa birleştirmenin sebep olduğu kayıp ihmal edilebilir ama bunun üzerinde meydana gelen kalınlık artışlarında kayıplarda hızlı bir yükselme olur.

PE borularının alın kaynağında füzyon dudağı (bead) iç çapta daralmaya neden olur ki bu mutlaka göz önüne alınmalıdır ancak sadece küçükçaplı borularda geçerlidir. Ø300'ün üzerindeki çaplarda oluşan dudağın vermiş olduğu daralma çapın %5'inden daha az olduğundan ihmal edilebilir. Küçük çaplar için bu dudağın uzaklaştırmak için aletler mevcuttur. Bu tip cihazlar geliştirilmiştir ve özellikle gaz hatlarında pratik hale gelmiştir.

11.BORULARDA PATLAMA TİPİ

Patlamalar çevresel yönde iki farklı tipte meydana gelir. Uzamalı (ductile) patlama ki çevresel gerilme-zaman grafiğinde eğrinin düz kısmında, Kırılğan (brittle) patlama ise eğrinin eğimli kısmında meydana gelir. Uzamalı patlama tipinde plastiğin uzama değeri % 1000'i aşmaktadır. Bu değer kırılğan patlamada % 3-6 arasında ölçülmektedir. Kırılğanda patlama boru eksenine paralel biçimde keskin bıçak ağzı gibi şekillenir, yani gerilme yönüne dik bir vaziyettedir. Uzamalı patlama kırılğan tipe göre daha fazla bir gerilme gerektirir ve bu olay kristalitedeki moleküllerin uzaması ile meydana gelir. Bağ kuvvetleri kristalin bölgede çok yüksek olduğundan patlamanın olması için büyük gerilmeler gerektirir. Bu olumsuzluk büyük bir uzamadan önce gerçekleşir. Kırılğan patlama kristalin bölgeler arasındaki amorf bölgelerde meydana gelir. Bu düğüm moleküllerinin bağları çok kuvvetli olmadığından küçük germe kuvvetleri neticesinde patlama gerçekleşebilir. Eğer plastikte sürünme oranı düşük ise daha az bir gerilme ile patlama anında daha az bir uzama meydana gelir. Kırılğan patlama mekaniği tamamen açık değildir ama plastik tarafından su absorpsiyonunun prosesi hızlandırdığı görülmektedir. Eğer boru sentetik deterjanlar gibi aktif materyallere maruz kalırsa, üretim esnasında oksitlenme meydana gelirse bu haller dikkat çekecek hale gelir ve patlama zamanının da epey bir azalma meydana gelir.

Erken patlama şu şekilde meydana gelmektedir. Materyalin soğumadaki katılaşma devresinde oksitlenme meydana gelirse bunun etkisi başlıca kristaliteyi birbirine bağlayan düğüm moleküllerine olur. Yani oksidasyon düğüm moleküllerinin kesilmesi demektir. Sonuç olarak uzama esnasındaki kuvvetleri az sayıdaki moleküller taşır.

Önemle ifade etmek gerekir ki bu tip degradasyon (bozunma) etkisi sadece materyalin çok ince bir yüzey tabakasında gerçekleşir. Bu durum ise ancak yüzeyden 0.1 veya daha az bir katman kesilerek incelenmesi neticesinde tanımlanabilir. Stress Cracking (gerilme çatlaması)'in neticesindeki erken patlama riski, yüksek melt flow index (eriyik akış indeksi)'li HDPE'lerde yani az sayıda ve kısa uzunluklardaki düğüm moleküllü materyallerde en fazladır. Bu erken patlama riski melt flow index ve

yoğunluğun uygun kombinesyonu ile tamamen ortadan kaldırılabılır. HDPE'de yoğunluk aynı zamanda artırılmalıdır çünkü materyalin MFI'sı yüksek olup düşük moleküler ağırlıklıdır. Şu da ilave edilmelidir ki moleküler ağırlık dağılımının daraltılması, bu demektir ki kısa moleküllerin sayısının azaltılması, düşük anma moleküler ağırlığının belli bir uzunluğa kadar tazmin (compansate) edilmesi ve uzun dönem mukavemetinin artmasıdır.

12.PP ve PE ile İLGİLİ BORU STANDARDLARI

12.1.PP ile İLGİLİ BORU STANDARDLARI

PP-r'nin soğuk sıcak uygulamalarında ilk yayın çıkartan ülke Almanya'dır. Bu çalışma 1989 yılında DIN E 8077/E 8078 olarak yayınlanmıştır. Buradaki 'Entwurf' (draft) Standardın DIN olarak yayınlanmadan önce yürürlükteki halidir. Avrupa ülkelerinde sıcak su sistemlerinin, PP gibi, hali hazırda ön safhada bulunmasında hemfikirdirler. Bunun manası Avrupa CEN standardından önce son standard yayınlanmayacaktır. DIN E 8077/E 8078 içerisindeki istekler diğer ülkeler için de temel oluşturmaktadır. Misal olarak Çek Cumhuriyeti, Polonya, Avusturya, İtalya ve Türkiye verilebilir.

12.1.1.Avrupa Standardı

Şuanda sıcak su boruları için çalışmalar devam etmektedir. Standard numarası CEN/TC 155/ WG 16 -Sistem standard 25- 'Sıcak ve soğuk plastik boru sistemleri- Polipropilen (PP)'. Standardın nihai halinin yayınlanması 1997 yılı olarak öngörülmektedir.

12.1.2.Alman Standartları

Almanyadaki standardizasyon çalışmaları CEN standartlarına adapte edilerek devam etmektedir. Yani önceki 60°C'de 50 yıl ömür beklentisi yenisinde 70°C'de 50 olarak değiştirilmektedir.

En yaygın olarak kullanılan standard günümüzde Alman Standardı olup PP ile ilgili olanların listesi aşağıda verilmiştir.

DIN 1988	Binalarda içme suyu tedariki, servis ve döşeme özellikleri
DIN 4109	Bina ses durumu, borudaki suyun ses durumu
DIN16774	Plastik kalıplama materyali, Polipropilen ve Polietilen Kopolimer termoplastik, sınıflandırma ve dizayn
DIN 16887	Termoplastik boruların testi, uzun dönem dahil basınç altındaki davranışların tesbiti
DIN 4725	Sıcak su ile döşemeden ısıtma sistemi, sıcaklık testi
DIN 4726	Ilık su ile döşemeden ısıtma sistemlerinde kullanılan plastik boru hattı materyali, genel istekler
DIN 4728	Ilık su ile döşemeden ısıtma sistemlerinde kullanılan tip 2 ve tip 3 polipropilen boru hattı, özel istekler ve test
DIN 8076	Basınç altındaki plastik boru materyali, PE dişli metal metal bağlantıları, genel kalite istekleri ve test metodları
DIN 8077	Polipropilen (PP) boruları, boyutlar
DIN 8078	PP boruları, genel kalite istekleri ve test
DIN 16928 T1-T11	Termoplastik borular, boru fittingleri, boru elementleri ve döşeme
DIN 16960	Termoplastik materyallerin kaynak edilmesi, genel direktifler
DIN 16962	Boru montajı ve Polipropilen basınçlı boru hatlarında tip 1, tip 2 ve tip 3 için elementleri,genel kalite istekleri ve test
DVS 2203	Termoplastik materyalin kaynağı için boru fittinglerinin testi
DVS 2207, part 11	Termoplastik materyal kaynağı, PP tip 1 ve 2 , boru ve aksesuarları
DVS 2208, part 1	Termoplastik materyalin kaynağı için makina ve ekipmanlar

DVGW EW 534 Boru bağlantı elementleri ve içme suyu döşemelerindeki borular için bağlantılar, istekler ve test

12.2. PE ile İLGİLİ BORU STANDARDLARI

12.2.1. Avrupa Standardı

Şuanda sıcak su boruları için çalışmalar devam etmektedir. Standard numarası CEN/TC 155/ WG 16 -Sistem standard 25- 'Sıcak ve soğuk plastik boru sistemleri- Polipropilen (PP)' . Standardın nihai halinin yayınlanması 1997 yılı olarak öngörülmektedir.

12.2.2. Türk Standardları

- TS 418 Polietilen borular
- TS 5440-TSEN 713 Polietilen boru ile bağlantı parçaları arasındaki ekleme elemanları -
- TS 5583 İç basınç altında sızdırmazlık deneyi
- TS 5584 Mekanik ekleme elemanları ile yapılmış bağlantılar- Hidrolik dış basınç altında sızdırmazlık deneyi
- TS 6270 Yüksek yoğunluklu polietilen- Doğalgaz dağıtım şebeke ve tesisatında kullanılan
- TS 6595 Soket tipi polietilen bağlantı elemanları- Petrol ve tabii gaz endüstrisi için polietilen hat borusunda kullanılan
- TS 6693 Erime akış indisi ve nominal yoğunluğuna göre polietilen tanımlanması
- 6 TS 694 Mekanik boru bağlantı sistemlerinde basınç düşmesi-Deney metodu ve özellikleri
- TS 6695 Siyah ve renksiz polietilenin referans yoğunluğunun tayini

TS 6755	Flanş boyutları
TS 6893	Erime akış hızının tayini
TS 7445	Alın eritmeli bağlantı elemanları-Petrol ve tabii gaz endüstrisi için polietilen hat borusunda kullanılan
TS 7484	İç çapları kontrollü polietilen plastik borular
TS 7712	Polietilen hat borusu boyut ve toleransları -Petrol ve tabii gaz endüstrisi için
TS 7835	Polietilen plastik borular- Dış çap kontrol esasına dayanan
TS 10643	Büyük çaplı- Spiral
TS 10735	Basınçlı sulama sistemlerinde kullanılan - kurallar
TS 10761	Çapraz bağlı polietilen (PEX) 'den imal edilen- Boyut ve toleranslar
TS 10762	Çapraz bağlı polietilen (PEX) 'den imal edilen- Muayene ve deneyler
TSEN 579	Çapraz bağlı polietilen (PEX) 'den imal edilen-Çözücü ekstraksiyonu ile çapraz bağlanma derecesinin tayini

12.2.3.Alman Standartları

3543-4	HDPE boruları için vavaların boyutları
V 4279-7	Su için basınçlı boru hatlarının iç basınç testi
4729	Ilık su döşemeden ısıtma sistemlerinde kullanılan kroslink polietilen boru hatları, özel istekler ve test
8074	Boru boyutları
8075	Genel kalite istekleri ve test
8075 Beiblatt 1	Boru ve fittinglerin kimyasal dirençleri
16963-1	Alın kaynak için dilimli yapıdaki dönüş fittinglerinin boyutları
16963-2	Dilimlerden üretilen TE ve branşların boyutları
16963-3	Alın kaynağı için boru dönüşlerinin boyutları
16963-4	Füzyon birleştirme adaptörleri, flanşlar ve conta elemanlarının boyutları

- 16963-5 Genel kalite istekleri ve test
- 16963-6 Alın kaynağı için enjeksiyon kalıplı fittinglerin boyutları
- 16963-7 Resistans kaynaklı fittinglerin boyutları
- 16963-8 Soket kaynağı için enjeksiyon kalıplı dirseklerin boyutları
- 16963-9 Soket kaynağı için enjeksiyon kalıplı TE parçalarının boyutları
- 16963-10 Soket kaynağı için enjeksiyon kalıplı kapama başlıklarının boyutları
- 16963-11 Soket kaynağı için flanş ve contaların boyutları
- 16963-14 Soket kaynağı için enjeksiyon kalıplı redüksiyon ve nipellerin boyutları
- 19533 Borular, boru bağlantıları ve boru hatları için fittingler
- 19535-1 Atık sıcak su direnci ve bina içi atıkları için boru ve fittinglerinin boyutları
- 19535-2 Teknik olarak dağıtım durumları
- 19537-1 Pissu ve atıksu boru ve fittinglerinin boyutları
- 19537-2 Teknik olarak dağıtım durumları

13.SONUÇ

Plastikler sahip oldukları özellikler sebebiyle, sanayinin her noktasında diğer materyallerin yerini almaya hızla devam etmektedirler. Plastik boru sanayii de ülkemizde PE ve PP için ağırlıklı 1990'lı yılların başından itibaren yer almaya başlamıştır. 1997 yılı itibariyle Plastik Boru üreten firmaların sayısı takribi olarak (her geçengün artmaktadır) 75 adeti bulmuştur. Bu firmalar PE ve PP hammaddesinin teknik özellikleri hakkında bilgi ve tecrübeye sahip yeterli sayıda elemanı bulup istihdam edememektedirler. Bunun neticesinde, üretim esnasında kullanılan materyalin özelliklerini tam olarak bilmeden yapılan uygulamalar mekanik özelliklerin kötüleşmesine neden olabilmektedir.

Termoplastik hammadde kullanılarak üretilen boruların, üretici açısından, en büyük avantajlarından birtanesi de ürün haline gelmiş hammaddenin granül haline getirilerek tekrar kullanılabilmesidir. Ancak yüksek sıcaklık ve basınç prosesi geçiren hammadde sahip olduğu özelliklerin bir kısmını kaybeder. Bununla beraber, kırılmış hammadde miktarının kullanımını sınırlandırmıştır. Orjinal hammadde içerisine maksimum %10 katılmak suretiyle kırılmış hammadde değerlendirilebilir. Bu ise mutlaka homojen karışım sağlanarak yapılmalıdır. Mevcut firmaların büyük bir çoğunluğu ise hatlarını besleyen pnömatik sistemlere sahip bulunmamaktadır. Karışım tamamen insan gücü ile yapılmaktadır ki, bunun da ne kadar sağlıklı olduğu şüphelidir.

Eriyik Akış Hızı (3.12) bölümünde ifade edildiği gibi plastiklerin mekanik özellikleri MFI ile doğru orantılıdır. Biz de bu hususu göz önüne alarak PE ve PP'nin sıcaklık ve basıncın etkisi altında MFI'deki değişimlerini inceledik. Aşağıdaki tabloda görüleceği üzere, MFI değeri sürekli yükselme eğilimindedir. Bununla birebir etkili olan yoğunluk değerleri de ölçülmüştür.

Tablo.13.1. Polietilen ve Polipropilen materyalinden aynı numunelere uygulana MFI ve Yoğunluk test sonuçları

Polietilen (PE100)		Polipropilen Random Kopolimer		
MFI (190/5) g/10dak	Yoğunluk g/cm	MFI (230/2.16) g/10dak	Yoğunluk g/cm	
1.	0.3258	0.947	0.26	0.900
2.	0.3320	0.943	0.31	0.891
3.	0.3318	0.947	0.40	0.895
4.	0.3484	0.947	0.45	0.894
5.	0.3528	0.946	0.55	0.887
6.	0.3504	0.942	0.61	0.887
7.	0.3606	0.946	0.75	0.888
8.	0.3866	0.951	0.81	0.888
9.	0.3976	0.950	1.0	0.888
10.	0.3952	0.947	1.2	0.888

Polipropilende meydana gelen değişimler Polietilene nazaran çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu netice bize PE'nin moleküler yapısının çok daha iyi olduğunu göstermektedir. PP ise çok daha çabuk bozunabilmektedir. Bu husus materyallerin Gerilme-Zaman eğrilerindeki değerler ile örtüşmektedir. Aynı basınç ve sıcaklık şartları için PE borusunun et kalınlığı PP'ne göre daha az olmaktadır. PP, 50 yıl ömür için değerlendirildiğinde grafikte aynı eğimi devam ettirememekte ani düşüşler göstermektedir. PE ise 50 yıl aynı eğimle, yani mukavemet değerleri düzenli bir azalma karakterine sahiptir.

Bundan sonra meydana gelen MFI'teki yükselme, basınç ve sıcaklık etkisinde uzun molekül zincirlerinin parçalanması, boylarının kısalması neticesindedir. Uzunluğu kısa olan moleküllerin hareket serbestisi fazla olduğundan rahat hareket edebilmekte ve sürtünme direnci de azalmaktadır. Neticede aynı süre içerisinde daha fazla hammadde akabilmektedir.

Boyları kısalan molekül zincirlerinin, mamül boru içerisinde oluşturduğu kristalin yapı miktarı azalacak ve amorf yapıda da bir artış olacaktır. Yapı içerisindeki moleküller arasındaki kovalent bağlar (enerjisi = 80 kcal/ mol) yerini çekim kuvvetinin sözkonusu olduğu Van der Waals bağlarına (enerjisi = 1 kcal /mol) bırakacaktır.

Bilindiği üzere basınçlı borularda hattaki akışkanın uyguladığı kuvvet, boru etinde yanal kuvvetlere dönüşmektedir ve borunun iç çapının büyümesine yol açar. Bu esnada boru akma noktası değerine kadar elastik şekil değiştirir. Bu kuvvetleri karşılayan ise kristalin yapı içerisindeki molekül zincirleri arasındaki çekim kuvvetleridir.

Van der Waals bağ kuvvetleri molekül zincirleri arasındaki mesafenin karesi ile doğru orantılı olduğundan hammaddede sıkı bir yapı oluşturulması istenilen bir durumdur. Oluşan sıkı yapıdan dolayı yoğunluk artmaktadır. Hammaddenin Ekstrüde edilmesi esnasında zincir uzunluğu fazla olanlar daha düzgün bir yapı oluşturmakta ancak sürtünmenin oluşturduğu sıcaklık ve basınç artmakta, malın çekilmesi yani proses zorlaşmaktadır. Sıkı yapıya sahip hammadde ile aynı işletme basıncını daha az etkililiğindeki boru ile sağlamak mümkün olduğundan hammaddeden tasarruf yapılabilmekte ve maliyet düşmektedir. Ayrıca iç çap büyüdüğü için bir alt grup boru çapı seçilip ilk yatırım maliyetlerinin azaltılmasında katkıda bulunur.

Netice itibariyle PP ve PE hammaddesi proses esnasında maruz kaldığı sıcaklık ve basınç sebebiyle molekül yapısı değiştiğinden mekanik özellikleri kötüleşmektedir. Bu sebeple üretici firmaların işlem geçirmiş kırma hammaddelerin kullanımında %10'luk sınırlamaya kesinlikle uymaları, karışımları homojen olması içinde otomatik hat besleyen sistemlerin kurulmasına önem vermeleri gerekmektedir. Çünkü üretim esnasında homojen karışmadan, kitle halinde bulunan hammadde daha hızlı akacak standartların dışında bir üretim yapılmasına neden olacaktır. Eğer bu ürün farkedilip tekrar hurdaya ayrılırsa aynı işlem tekrarlanacak hatta, kısır bir döngüye girilmesi dahi sözkonusu olacaktır.

Üretici firma bu hususa dikkat etmediği takdirde işletme şartlarında patlayan borular, tüketici güvenini yeni yeni sağlayarak piyasada pazar payı elde eden ürünlerin önü kapatılmış olacaktır.

14.KAYNAKLAR

1. Akkurt, S., 1991. Plastik Malzeme Bilgisi, İstanbul.
2. Biilmeyer, F.W., 1987. Textbook of Polimer Science, Singapore.
3. Borealis Firmasının Teknik Dökümanları, İsveç.
4. Daplen Firmasının Teknik Dökümanları, Avusturya.
5. Janson, L.E.,1995. Plastik Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, Stockholm
6. Kaya, F., 1983. Plastikler Katkı Maddeleri, İstanbul.
7. Modern Plastik Magazin,1994. Modern Plastik Encylopedia Handbook, USA.
8. Yaşar, H., 1992. Plastikler Dünyası, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

- 1971 Lüleburgaz doğdu.
- 1988 Lüleburgaz Lisesinden mezun oldu.
- 1989 Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümüne kayıt oldu.
- 1993 Yıldız Teknik Üniversitesinden Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Bölümü Isı Programında Yüksek Lisansa başladı.
- 1994 İngilizce hazırlık programını tamamladı.
- 1995 Dizayn Teknik Plastik Boru ve Elemanları San. ve Tic.A.Ş.'nde Laboratuvar Müdürlüğü yaptı.
- 1996 Aynı Şirketin Araştırma-Geliştirme bölümünün kurulması görevini aldı ve halen AR-GE Müdürlüğü görevine devam etmektedir.