

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK TESİSAT MALZEMELERİ İÇİN
KAYNAK TEKNİKLERİ ve CİHAZLARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

67744

Mak.Müh. Soner ÖNGÜL

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ümit Doğay ARINÇ

Prof.Dr. İsmail Tehe

prof.Dr. Ahmet Topuz

İSTANBUL , 1997

İÇİNDEKİLER

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.....	11
3.2.Plastiklerin Fiziksel Yapısı.....	15
3.2.1.Plastiklerin Fiziksel Ağırlığı.....	15
3.2.2.Plastiklerin Fiziksel Durumları.....	15
3.2.3.Stero Düzen.....	16
3.2.4.Amorf ve Kristalin Yapı Yönlenme Özelliği.....	17
3.2.5.Plastiklerin Mekanik Davranışı ve Özellikleri.....	20
3.2.6.Amorf Plastik Mekanik Davranışı.....	21
3.2.7.Kısmi Kristalin Plastiklerin Mekanik Davranışı.....	22
3.3.Stabilizatörler.....	24
3.4.Plastiklerde Yorulma.....	24
3.5.Kimyasal Yıpranma.....	25
3.6.Kimyasal Direnç.....	26
3.7.Aşınma Direnci.....	28
3.8.Oksidatif Yıpranma.....	30
3.9.Hidroliz.....	30
3.10.Çözünme ve Yumuşama.....	31
3.11.Ortam Etkisi İle Gerilmeli Çatlak Oluşumu.....	31
3.12.Eriyik Akış Hızı.....	32
4.POLİOFİNLER.....	35
4.1.Polietilen.....	35
4.2.Polipropilen.....	41
4.3.Polivinil Klorür.....	48
4.4.Cam Takviyeli (Glass-Reinforced) Poliester Borular.....	50
5.PLASTİK BORULAR İÇİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	51
5.1. HDPE, MDPE ve PP.....	51
6.KAYNAK ve BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ.....	52
6.1.Alın kaynağı.....	52
6.2.Elektrofüzyon Kaynağı.....	56
6.3.Ekstrüzyon Kaynağı.....	57
6.4.Sürtünme Kaynağı.....	58
7.KAYNAK KALİTESİNİ ETKİLEYEN DİĞER FAKTÖRLER.....	58
8.KAYNAK TESTLERİ.....	59
9.SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

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

Kullanılan plastik miktarı özellikle boru sektöründe, çok hızlı bir gelişme göstermektedir. Bu, esas olarak bina içi ve dışı; temiz ve atık su borularının dizaynı için doğrudur. Bütün ülkeler aynı eğilimi göstermektedir. Cazip fiyatı da inşaat sektöründeki konvansiyonel borular ile rahatlıkla rekabet etmesine katkıda bulunmaktadır.

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

1. ve 2. Bölümde, boru üretiminde kullanılan plastikler hakkında genel bilgi verilmekte ve en yaygın tipleri tanıtılmaktadır. 3. Bölüm, polimerlerin fiziksel ve kimyasal yapısı hakkındadır. 4. Bölümde Polietilen, Polipropilen, Polivinil Klorür ve Cam Takviyeli Poliester ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. 5. Bölümde plastik boruların birleştirilme yöntemlerinden bahsedilmektedir. 6. Bölüm, kaynak parametreleri ve özellikle PE 100 hammaddesinin alın kaynak metodu hakkındadır. 7. Bölüm, kaynak kalitesini etkileyen faktörler; 8. Bölüm ise kaynak kalitesinin belirlenmesi için yapılan testler ve sonuçlarının verilmesidir.

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 plastics pipes. This is particularly true for pipe designed for water pipes and sewers outdoor and in doors. All industrial countries show the same tendency. The favorable price trend has also contributed to the fact that today plastics 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 plastics 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 type 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 polyesters pipes. Fifth chapter, jointing methods for plastic pipes. Chapter 6, new welding parameters for PE pipes, especially for type PE 100. Chapter 7, factors which effect welding quality. Last part, gives result of the test that what is the effect of weld on 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 güvene erişmesini, belki de 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 İskandinav ülkelerinde toplam PVC kullanımı 30000'den 150000 tona artmıştır ve 1985 yılında bu rakam 270000 tona erişmiştir. Aynı zaman diliminde Yüksek Yoğunluk Polietilenin artışı 20000'den 60000'e 1985'te de 170000 tona çıkarken, Alçak Yoğunluklu Polietilen 85000'den 500000'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'de 1.4 milyon ton iken, bunun 1993'te 2.2 milyon ton değerine ulaştığı örnek olarak verilebilir. Amerika'daki değerlere bakılınca 1986'da 1.8 milyon ton ve 1993'te 2.2 milyon tondur.

İleriki yıllarda Avrupa'daki artış miktarı yıllık; Polietilende %7, Polipropilende %10 ve PVC'de %2 olarak tahmin edilmektedir.

Elverişli fiyatı da, alt yapı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan 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 polyester olan termoset borulardır. Değişik üretim metodları, takviyelendirilmiş ipliklerin çeşitlendirilmesinde, reçine ve dolgu malzemesi için mümkündür. Hepsi termoplastik olan Polipropilen, Polibütilen, Acrilik Bütaden Stiren (ABS) vs. Üretimi aynı metod iledir.

Tablo 2.1 (Janson, 1995) Daha basit olması açısından aşağıda ifade edilecek kısaltmalar kullanılacaktır.

Polietilen	PE
Plastikleştirilmiş Polivinil Klorür	PVC
Cam Takviyeli Poliester	GRP
Düşük Yoğunluklu Polietilen	LDPE
Orta Yoğunluklu Polietilen	MDPE
Yüksek Yoğunluklu 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.Hala hazırda ısıtma sistemlerindeki sıcak su hatlarında kullanılmakta olan PP borularla birçok konuda rekabet edebilirler. PEX borular, PP ve PB gibi yüksek sıcaklık mukavemeti gösterdiğinden döşemeden ısıtma sistemlerinde de

kullanılabilir. Moleküllerin kroslink hale getirilmesi için birkaç yöntem geliştirilmiştir.

Mevcut amaç uzun dönem mukavemetinin artırılması, sıcaklığa mukavemetinin artırılması ve işlenebilirliğinin geliştirilmesidir. 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 gelişme ise mukavemet özellikleri önemli derecede, mevcut HDPE'den yüksek olan yeni cins HDPE'dir. Buyeni cins PE 100 olarak adlandırılmaktadır ve klasik polietilenlerle karşılaştırıldığında takribi olarak %35 et kalınlığında malzeme tasarrufu sağlar ve özellikle basınçlı su hatlarında (PN 10) kullanılır.

Tablo 2.2 (Janson, 1995)

Plastik Tipi	Kısaltmalar	İlk Üretim	Yoğunluk (kg/m ³)	Dizayn Çev. Gerilim (+20) Mpa	Boru Çapı φ (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
Poliester	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	HDPE 100	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 $\phi 100$ mm'nin altında) bilinen en iyi malzemedir. Galvanizlenmiş çeliğe göre gözönüne alınacak derecede ucuzdur. LDPE'ler uzun metrajlı kangallar halinde yaygın olarak kullanılır. Kullanılması ve döşenmesi çok basittir. Kentin her bölgesi için, yoğun ve 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 $\phi 40$ -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 özek bir uygulama olarak düşük basınçlı doğalgaz 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 tanınlanır. 1955 yılından beri özellikle endüstriyel sıcak su artıklarının 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 $\phi 10$ -63 mm ve atık sızılar için ise $\phi 400$ mm'dir. Endüstriyel atıklar için ise $\phi 1000$ mm'ye kadar üretim yapabilmektedir, bu çaplı borunun kullanım ömrü takribi olarak 20 yıldır.

PVC bina içi su tesisatlarında $\phi 40$ mm'den $\phi 400$ mm'ye kadar kullanılmaktadır. Toprak altı atık sular için ise 1960'lardan beri beto boruya

alternatif olarak kullanılmaktadır. Kolay birleştirme yöntemleri, düşük fiyatı, mukavemeti, PVC'nin boru pazarında muazzam bir pazar payına katkıda bulunmaktadır. 1970'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. Bu 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.

GPP 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

3.1.1.Monomerler

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

Kimyasal bakımdan 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.

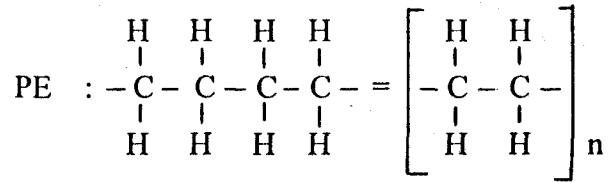
Bunlar karbon, hidrojen, azot, oksijen, flour, silisyum, kükürt ve klor'dur. Bu elementlerin çeşitli yöntemlere göre birleşmesi makromolekül adını taşıyan çok büyük ve kompleks moleküller meydana getirmektedir. Burada şu hususu

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, doğalgazın ana formülü ve bileşeni olan Metan'ı (CH_4) ele alalım. Burada karbonun tüm enerji bağlarının doymuş olması nedeni ile molekül stabil bir bileşiktir. Molekülün molekül ağırlığı, bileşen atomlarının atomik ağırlıklarının toplamıdır; yani $12 (\text{C}) + 4 \times (\text{H}) = 16$ 'dır. Bu moleküle zincir şeklinde daha çok karbon atomları ilave edilirse, bundan daha ağır ve molekül ağırlığı 30 olan Etan gazı (C_2H_4) elde edilir. Molekül ağırlığı arttıkça molekül gaz ağırlığını kaybeder ve sıvı halini alır. Mesela molekül ağırlığı 72 olan Pentan (C_5H_{12}) oda sıcaklığında sıvı halindedir. 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 düşük molekül ağırlıklı Polietilendir. CH_2 grubunun ilave işlemine devam edilmesi ile malzeme daha tok ve mukavim olur. En yüksek tokluğa sahip Polietilen 500000 CH_2 grubuna sahiptir ve buna çok yüksek molekül ağırlıklı Polietilen denilmektedir. Bu iki çeşidin arasında 1000 ila 5000 karbon ihtiva eden orta 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 edilmesi 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 kullanıla

monomerlerin bir kısmı ve onların meydana getirdiği polimerler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

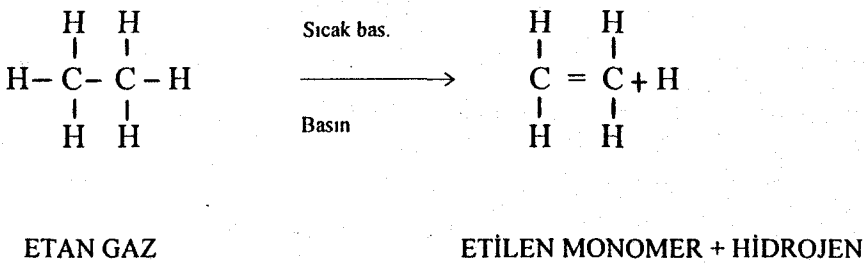


Şekil 3.1 PE, PP, PB ve PVC'nin formülleri

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 atomlarının 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 ($CH_2 = CH_2$) elde edilen polietilen $(CH_2 - CH_2)_n$ ve zincirin molekül ağırlığı $M = n \times M_m = DP \times M_m$ şeklinde yazılır.

Burada M_m monomerin molekül ağırlığıdır. Polimerin molekül ağırlığı aynı zamanda polimer zincirinin uzunluğunu da ifade etmektedir.

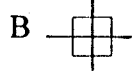


İki farklı monomerin polimerizasyonu ile elde edilen polimere kopolimer denir.

MONOMER



MONOMER



HOMOPOLİMER

A-B



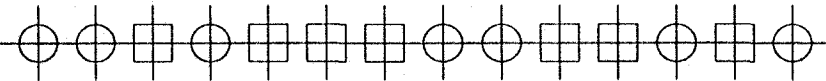
ARDIŞIK KOPOLİMER

A-B



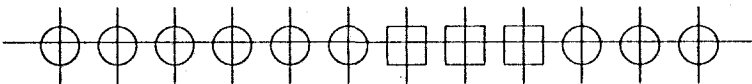
GELİŞİGÜZEL KOPOLİMER

A-B



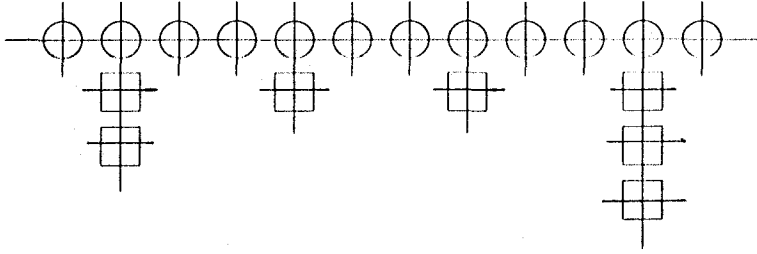
BLOK KOPOLİMER

A-B



AŞILI KOPOLİMER

A-B



İKİ MONOMERDEN MEYDANA GELEN KOPOLİMERİN DEĞİŞİK DÜZENLEMELERİ

Şekil 3.3 (Akkurt, 1991) İki monomerden meydana gelen kopolimerin 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 monomerlerde bulunur; 'graft' kopolimerler ise A monomer zincirine B monomer dalların 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:

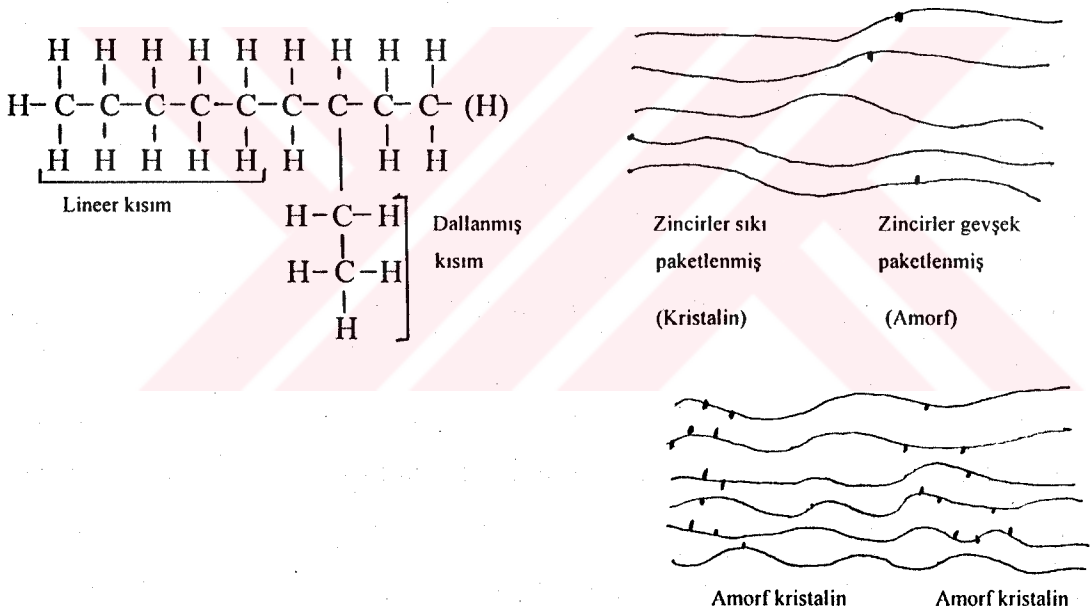
şöyle ki 'bifonksiyonel' monomerler lineer (zincir) şeklinde moleküller meydana getirmektedir, bunun yanı sıra 'polifonksiyonel' monomerler üç boyutlu çapraz bağlı 'uzay ağı' yapı oluştururlar. Lineer (zincir) şeklindeki moleküller düz lineer (zincir) veya dallanmış lineer (zincir) olabilirler.

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 birbirlerine 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 üzerinde 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 yaklaşabilirler, aralarındaki çekme kuvveti daha büyük olur ve dolayısıyla sıkı olarak paketlenmiş bir yapı meydana getirirler. Bu

zincirler kristalin bir yapı dahi oluşturabilirler. Dallanmış yapılar birbirlerine 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 3.4 Polietilende Zincir Paketlenmesi.

Üç boyutlu çapraz bağlı yapıya sahip olan termoset plastiklerin polimerizasyonu iki kademede meydana gelmektedir: birincisi 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. Şöyle ki: yapıyı oluşturan tüm moleküller, sıcaklığa karşı tersinir olmayan kuvvetli bağlarla birbirlerine 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 kararlılığına sahip malzemelerdir. Bir bakıma termoplastiğin davranışı balmumunun davranışına, termoset plastiğin davranışı ise yumurtanın davranışına benzetilebilir. Balmumu tekrar ısıtılarak istenilen şekilleri alabilir, yumurta ise bir kere pişirildikten sonra tekrar ısıtılsa yumuşamaz ve dolayısıyla başka bir şekil alamaz.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşıldığı üzere, molekül ağırlığının yanı sıra 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 özelliğine ve moleküller arası bağ kuvvetlerini önemli şekilde etkilemektedir.

Belirli bir plastik malzemeyi oluşturan zincirlerin molekül ağırlıklarının dağılımı, polimerizasyon kinetiğine istatistiki analiz yöntemleri uygulayarak tahmin edilebilir, bu dağılımlardan da malzemenin ortalama molekül ağırlığı elde edilebilir. Ancak ortalama molekül ağırlığının değeri ölçme sistemine bağlı olarak farklı değerler 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 bölünmesi ile 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 fonksiyonuna 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 moleküler ağırlığının çarpma değerinin, polimer numunesinin toplam ağırlığına bölünmesi ile elde edilir.

3.2.2. Plastiklerin Fiziksel Durumları

Plastiklerin fiziksel durumları 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 camsı duruma geçiş sıcaklığı (T_g) denir. T_g sıcaklığının altında, malzeme camsı hal denilen rijit, sert ve gevrek olur. Camsı duruma geçiş sıcaklığını 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 yapılır, bu sıcaklıklarda kalıplara kolay dökülebilir, lastik gibi yumuşak ve sıvı halde bulunurlar. Kısmikristalin plastikler, kristalinite değerine bağlı olarak T_m ergime sıcaklığına kadar kullanılabilirler. Ancak T_m ve T_d 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. Stero-düzen denilen birinci inceleme şekli, komşu zincirleri dikkate almaksızın tek bir zincir içerisinde atomların 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) atomların, birbirine göre belirli açılarda bulunurlar. Bu açılarının değeri ana zincire bağlı olan yedek atomların veya atom gruplarının çeşitlerine bağlıdır. Bu tertipleme tarzı zincirlerin konfigürasyonunu tayin eder. Zincirlerin konfigürasyonu ancak zincirlerin kopması (yıpranması) veya kovalent bağların yeniden oluşması ile bozulur. Bunun yanı sıra zinciri oluşturan üniteler birbirine göre zincir eksenine etrafında dönme serbestliğine sahiptirler. Bu şekilde zincir üniteleri birbirine göre düzlemde değil de uzayda değişebilen ve zincir

konformasyonu denilen konumlar alabilmektedirler. Zincir ünitelerinin dönme kabiliyeti ünite bağlarının esnek olduğunu göstermektedir.

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

Izotaktik düzende yedek olmuş R grupları ana zincirin aynı (sağ ve sol) tarafında bulunmaktadır. Sindiotaktik düzende ise düzenli bir şekilde her iki tarafında bulunmaktadır. Ataktik düzende ise yedek 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.

3.2.4.Amorf Ve Kristalin Yapı Yönlenme Özelliği

Molekül zincirlerinin birbirlerine 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 olarak dallanmış olarak teşekkül ederler. Yoğun olarak dallanan molekül zincirlerine nazaran seyrek dallanmış olanlar kolay kristalin olur. Bu zincirler birlikte çok veya az sıklıkta dizilir ve 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 stero düzene bağlıdır. Lineer molekül zincirlerine sahip plastikler oldukça büyük bir kristalleşme kabiliyeti gösterirler. Dallanmış zincirler birbirine çok yaklaşırlar ve bunlar genellikle amorf bir yapı oluştururlar. Aynı şekilde termosetler de 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 kristalleştirme olayını kolaylaştıran bir etkidir. 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 rijit 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 edilebilirler. 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 eriyiğinin ve çözeltisinin 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 hale dönüştüğü sıcaklıktır, ne kadar yüksek ise kristalinite derecesi de o kadar yüksektir. Sonuç olarak, eriyik haldeki polimer amorf yapıdadır ve tekrar soğutma ile daha fazla kristalin yapı oluşturulur. Az dallanmış polimerlerde ne kadar yavaş soğutulursa o kadar fazla kristallenme sağlanır.

Ekstrüzyon, amorf polimer ipliksi moleküllerin aynı doğrultuda uzunlamasına yönlendirilmesine neden olabilir, böylece malzeme izotropik yapıya dönüşür. Boru numuneleri ile 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 moleküller ağırlığına sahipse o kadar 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 arasındaki 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'den daha

güçlüdür. Bundan dolayı PE'nin non-polar, PVC'nin ise polar karakteristikte olduğu söylenebilir.

Yukardaki açıklamaların ışığı altında plastik malzemenin yapısı amorf, yönlendirilmiş amorf, kısmikristalin ve yönlendirilmiş kristalin olabilir. Genelde amorf tan 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 en genel kavramdır. Plastiklerin mekanik davranışlarını incelerken dikkate alınması gereken birkaç husus vardır. Birinci husus plastiklerin mekanik davranışlarını, malzemelerin yapı ve fiziksel haline bağlı olmasıdır. İkinci husus plastiklerde meydana gelen şekil değiştirmeler, gerilmelerin yanı sıra 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 polimerleri 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.

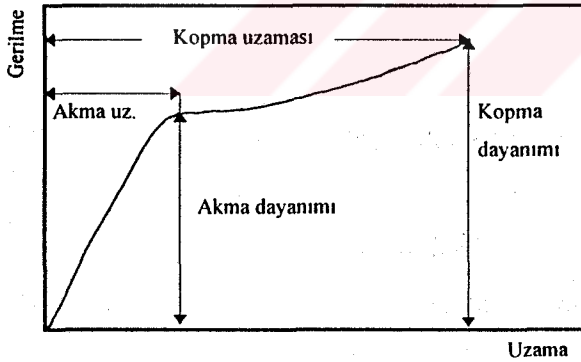
Cam halindeki polimerler, düşük gerilmelerde sadece elastik şekil değiştirme gösterirler; bu durumda elastik modülü, $E=2000-6000 \text{ N/mm}^2$ arasındadır. Yüksek gerilmelerde malzemenin davranışı oldukça farklıdır. Gerilmeler alçak elastisite sınırı denilen değere eriştiğinde deney çubuğunda 'boyun' 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, şöyle ki 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 malzemelerininkine benzemektedir.

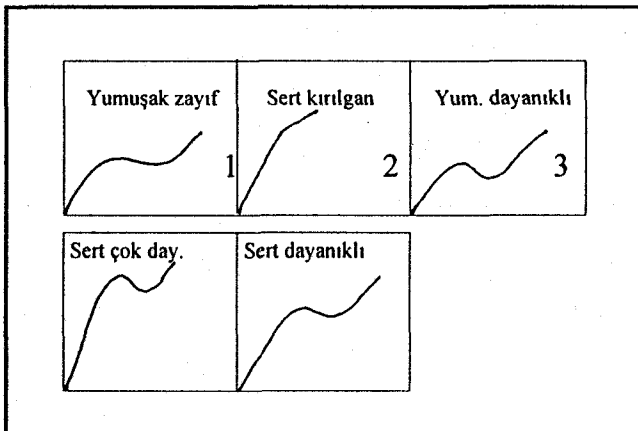
Burada elastik bölge, üst ve alt akma sınırı ve kopmadan önce büyük şekil değiştirme böldesi bulunur.

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



Şekil 3.5 (Yaşar, 1992)

Plastiklere ait tipik
gerilme-uzama grafiği



Şekil 3.6 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. Kristalinite derecesi yüksek olan plastiklerde, boyun çubuğunun 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 oluşması 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 elastik 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 malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması şeklinde ifade edilir. Gerilme ve şekil değiştirme arasında Hooke ve Newton kanununda olduğu gibi lineer ve 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 faktörlerinin etkisi altında yıpranmalarını önlemek için kullanılan malzemeleridir. Mesela aynı zamanda kuvvetlendirici elyaf olan karbon siyahının, polietilene ilave edilmesiyle malzemenin fotokimyasal yıpranması önlenir. Plastiklerin oksidasyonunu önleyen antioksidantlar da bir çeşit stabiliör sayılırlar. Bunlar genellikle havada oksijen ile reaksiyona girme özelliğine sahip olan fenoller, aromatikler, aminler, aminofenoller, aldehitler ve ketonlar gibi bileşimlerdir.

3.4.Plastiklerde Yorulma

Bilindiği üzere değişken gerilmeleri 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 kabül 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 çatlayan yüzeylerde oluşmasına karşın, plastiklerde kalıplama sırasında ürün yüzeyinde yorulma çatlaklarının yayılmasını sönümleyen 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 sınırı aşmaları 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 sönümlenme ve düşük ısı iletkenliğinin sonucu olarak oluşan ısının, malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmesidir. Bu olaya ısı 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 olduğundan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilememektedir ve ısı toplanmaktadır. Bunun sonucunda da iki olay meydana gelebilir. Sıcaklığın belirli bir değere yükselmesinden sonra oluşan ısı; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla dışarıya iletilen ısı ile eşitlenir, bir ısı dengesi kurulur ve sıcaklık sabit kalır. Bu durumda sıcaklığın etkisi altında malzeme mukavemetinde ve rijitliğinde 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 bir değerinde malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Dolayısıyla malzemenin yumuşamasına ve çatlağın yayılmasına bağlı olarak iki çeşit yorulma vardır.

Bu iki çeşidin 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 değil, o gerilmeye maruz kaldığı zamana da bağlıdır. Uzun süre gerilmelere maruz kalan parçalar, kopma mukavemetinden çok daha küçük gerilmeler altında kopmaktadır. Bu kopma şeklinin statik yorulma, ve kopuncaya kadar geçen zamana ömür denir.

3.5.Kimyasal Yıpranma

Plastiklerin metallere göre en önemli üstünlüğü su, asitler, 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

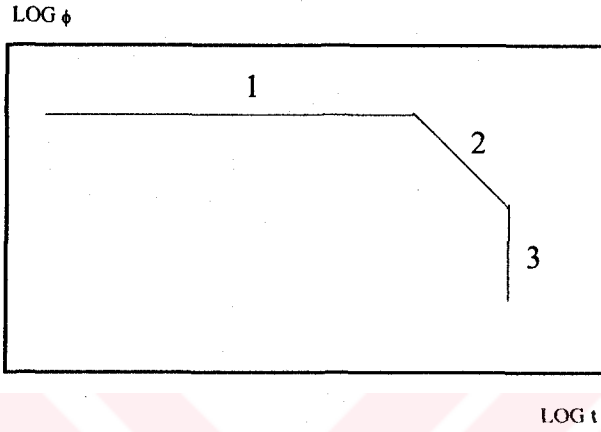
hiçbir zaman çelik, bakır ve alüminyumda görülen korozyona maruz kalmazlar. Plastikler, metalleri çok çabuk çözen asitlere karşı dayanıklıdır. Bunların başında fluoroplast ailesi ve bunların arasında en inert malzeme olarak politetrafluoretilen (teflon) gelir.

3.6.Kimyasal Direnç

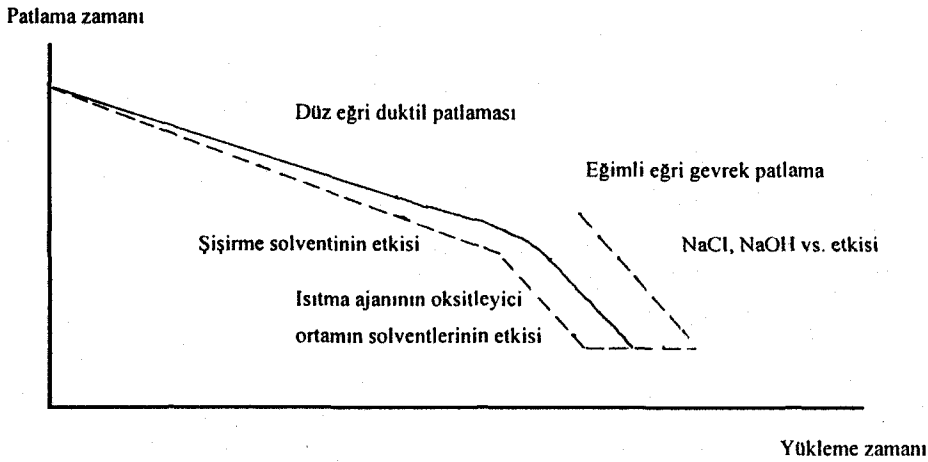
Konvensiyonel kullanımda başlıca elastik boruların materyalleri genellikle koroziif bozulma derecesine göre adlandırılır. Birleşme kısımlarındaki materyalin üzerine kimyasal etki, mekanik yorulma ve incelmeye yol açar. Sonuçta boru etindeki gerilim kademe kademe artar ve nihayetinde materyalde bozunma meydana gelir. Koroziif bozunmanın derecesi başlıca suyu ve materyalin kalitesine bağlıdır. Zaman ilişkisi koroziif 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 materyeli ve koroziif çevre için tecrübeler varsa bu geçerli değildir.

Plastik boru materyallerinde yukarıda ifade edilen durumlar servis ömrünü azçok değiştiren faktörlerdir. İlk önce not edilmesi gereken şudur ki boru üretiminde kullanılan materyaller için en yaygın koroziif 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 içersinde bozunur. Buzunma 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 içersindeki katkıların ömründen önce tükenmesidir. Son yıllarda PEX, PB ve PP üzerinde yoğun çalışmalara girişilmiştir. 80°C ve 120°C aralıklarından 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.



Şekil 3.7 (Janson, 1995) Gerilme ve patlama zamanı arasındaki ilişki, teorik olarak üç safhada ifade edilir. Birinci safha uzamalı (Ductile) tipte patlama, ikinci safha kırılğan (Brittle) tipte patlama ve üçüncü safha plastik materyalindeki bozunmadan kaynaklanan patlama.



Şekil 3.8 Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Değişik Ortam Etkilerini Gösteren Gerilim-Zaman Eğrisi

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.

3.7.Aşınma Direnci

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

Plastiklerin aşındırıcı bir ortama karşı dirençlerinin yüksek olduğu genellikle bilinen bir durumdur. Yeter ki sürtünme ısı 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 içersinde 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. $\phi 50$ mm borunun içerisi hacminin %15'i 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'dan sonra meydana gelmektedir. Düz borudaki aşınma dirsekten daha uzun zaman alır.

Norveç standartları 4 adet boru materyalini 1:20 su-kum karışımlı aşındırıcı taşlarla deneyi yapmıştır. $\phi 250$ çapındaki boruların etindeki incelmenin neden olduğu sonuçlar çekme gerilmesine dönüştürülerek verilmiştir. Boru etindeki gerilmenin kısmi artışı aşınma yorulması olarak adlandırılır.

Tablo 3.1 (Janson, 1995)

Materyal	Gerilimin kısmi 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 en iyi durumdadır. Endüstriyel çözeltilerin taşınmasında HDPE, MDPE ve PVC diğer borulara kıyasla en uzun ömürlü borular olmuşlardır. PE tiplerinde mutlak aşınma direncini tespit için ASTM D 4060'a göre testler yapılmıştır.

LDPE 40 aşınmayı ifade eden aşınma indeksi (mg/1000 devir) en yüksek bulunmuştur. Bu değer HDPE 63-80 ve LLDPE'nin iki katıdır. Bu bakış açısı ile en iyi polimer MDPE tipidir. Sıcak su dayanımı en iyi olan ME 0909 ise LDPE 40'ın üçte biri aşınma indeksine sahiptir.

3.8.Oksidatif Yıpranma

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

Plastiklerin oksidatif yıpranmaya direnci, malzemenin yapısında ve özellikle makro molekülde kolayca oksitlenebilen grupların ve bağların bulunmasına bağlıdır. Oksitlenebilen karbon zincirli makromolekül sel bileşikler, 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 dirençlidirler. Oda sıcaklığında bu malzemeler havada bulunan oksijenin etkisi ile yıpranmazlar. Ayrıca polimerlerin yapısına klor ve florun girmesi oksitlenmeye 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 sıcaklığına bağlıdır. Bu faktörlere bağlı olarak yıpranma hızlı veya yavaş olabilir ve malzeme özelliklerinde meydana gelen değişiklikler daha kısa veya uzun zamanda ortaya çıkabilir.

3.10.Çözülme ve Yumuşuma

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 örnek 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 kullanırlar. Bilindiği üzere T_g 'nin altında plastikler camsı ve kırılındırırlar. Bu sıcaklığın üzerinde ise lastik gibi davranış gösterirler ve darbe dirençleri yüksektir. Buna tipik bir örnek PVC'dir. PVC'nin T_g 'si 80°C 'dir. 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 konsantrasyonu gibi davranmakla beraber, ajanların etkisi ile çatlak veya kesite yayılmaya başlar ve malzemenin bozulmasına (kopmasına, büyük çatlaklar oluşturmaya) neden olur.

3.12.Eriyik Akış Hızı

Yoğunluk ve kristalinite yanında PE'nin davranışlarını tespitite yaygın olarak yardım eden karakteristik parametreleri vardır. Bunlardan bir tanesi de eriyik vizkositesi 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 standart 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 ($\phi 2,1\text{mm}$) dışarıya akar, bu esnada belli zaman aralıkları ile bu materyal kesilir ve tartılır. MFR gr/10 dak. Birimi ile ifade edilir. Piston ağırlığı ile materyale uygulanan basınç arasındaki basınç ilişkisi aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 3.2 (Borealis Firmasının Teknik Dökümanı, 1996)

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

Ağırlığın büyüklüğü hammaddenin vizkositesine bağlı olarak değişir. 2.16, 5.0 ve 21.6 kg ağırlıkları kullanılır, sondaki özelliklerle HDPE için kullanılır. Farklı basınçlardan elde edilen MFI değerlerini ayırmak için MFI_2 , MFI_5 ve MFI_{21} sembolleri kullanılacaktır. En çok kullanılan sembol $190^{\circ}C$ '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 ayrı 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. İkincisine ise farklı boyutlarda olan ve aralarında kum tanecikleri de bulunan çakıllarla dolduralım. Belli bir zaman zarfında ikinci kovanın içersinden 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 ve ekstrüzyon kalıbından dökülüyor şeklinde düşündüğümüzde benzerdir. Bazı materyallerin molekülleri hemen hemen aynı büyüklüktedir ki, bunlara dar moleküler ağırlık dağılımlı materyaller denilir. Diğer

materyaller ise değişik ebatlarda moleküllere sahiptirler, bunlara ise geniş molekül ağırlık dağılımlı molekül denilir.

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

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

Farklı MFR'deki polimerleri diğer özellikleri ile ilişkisi nasıldır?

MFR artarsa (kısa molekül):

- kimyasal direnç azalır
- eriyik mukavemeti azalır
- filmin yırtılma mukavemeti azalır
- darbe mukavemeti azalır
- gerilme çatlaması direnci azalır
- hava direnci azalır
- sıkılık biraz azalır
- akış özellikleri artar
- sertlik ve gaz bariyeri özellikleri MFR değişimi ile alakalı değildir
- MFR materyalin molekül uzunluğunun ölçülmesidir. Daha kısa zincir, daha yüksek MFR
- MFR materyalin ortalama molekül ağırlığının ölçülmesidir. Daha yüksek ortalama ağırlığı, daha düşük MFR.

4.POLİOFİNLER

Poliofin homopolimerleri, propilen, butilen ve metil penten gibi monomerlerden elde edilir. Bunun yanısıra penten ve heksen monomerlerinden poliofin kopolimerleri oluşturulur. Poliofin ailesine ait en önemli reçineler polietilen ve polipropilendir; bunların yanısıra etilen-vinil asetat, ionomer, poliallomer, polibütilen ve polimetil penten gibi reçineler de vardır. Poliofinler 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 polietilenden elde edilen ürün, ilk defa ICI-İngiltere laboratuvarlarında sentez edilmiş, 1936'da da Fawcet tarafından tanımlanmıştır.

Birçok proselere 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) formülü ile gösterilen bir polimerdir. Üretilen polietilenin molekül ağırlığı birkaç binden başlayarak milyonları aşar. İstenilen molekül ağırlığında elde deilebilen 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 düzgünlük 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 sıralanabilir:

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) Kırılmalık artar

Erime-akış indisi artarsa, yumuşama sıcaklığı 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, çatlamaya ve kimyasal maddelere karşı dirençlidir, fakat işletmesi 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 gr/10 dak. 'tır. MDPE'ye karşılık gelen yoğunluk 945 kg/m^3 ve MFR_5 için 0.7 gr/10dak. veya $\text{MFR}_2 = 0.2 \text{ gr/10dak.}$ 'dır. HDPE ise günümüzde yaygın olarak 955 kg/m^3 ve uzun dönem malzeme mukavemetini sağlayan $\text{MFR}_5 = 0.5 \text{ gr/10 dak.}$ 'dır. (karbon siyahının 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, çarpma direnci ve sertlik azalır.

Polietilen vizkoelastik bir malzeme olduğundan, gerilim altındaki kuvveti ve bozunumu, tatbik edilen yükün tatbik süresine bağlıdır. Polietilenin 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 çatlamaya çevresel gerilim çatlaması denir. Çevresel etkenlerle çatlamayı önlemek ve polietilene direnç sağlamak maksadıyla, polietilene %5-10 arasında bütül veya poliizobütül kauçuğu katılır. Polietileni etkileyen çevresel etkenler arasında, polar organik maddeler, yüzey aktif maddeler ve silikon bileşikler yer alır.

Alçak yoğunluk polietileninde kristal yapı %65, yüksek yoğunluk polietileninde ise %90 civarındadır. Polietilenin üretimi esnasında oluşan çapraz

bağlar polietilene gevreklik ve kırılganlık 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 görür. Erime-akış indisi aynı olan polimerlerde çatlama sıcaklık ve yoğunluk artışı ile artar. Polietilenin elektriksel özellikleri genellikle çok iyidir ve elektrik kayıpları azdır. İletkenliğin az oluşu, dielektrik direncinin yüksek oluşu polietilenin izolasyon işlerinde başarı ile kullanılmasını sağlar. Polietilenin güç faktörü sıcaklıkla çok az değişir. Polietilenin elektriksel özellikleri antioksidant katkısıyla devamlı kılınır.

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 ise işlem esnasında yüksek sıcaklık ve basınç gerektirir, böylece ekstrüzyon tekniği özellikle et

kalınlığının yüksek olduğu büyük çaplı borularda ve enjeksiyon kalıp fittinglerinde 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 mukavemeti arttarken moleküler ağırlığı artmamaktadır. MDPE, MFR₅'te 0.7 gr/10 dak. veya daha fazla iken yüksek uzun dönem mukavemete sahip materyal olarak güzel bir örnektir. Diğer benzer gelişmiş bir malzeme de basınçlı boru hatlarında PE 100 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 standartı onları Tip 1 olarak sınıflandırmaktadır. 1970'lerin sonlarında yeni Tip 2 olarak üretilen geliştirilmiş HDPE'nin sınıflandırıldığı DIN normu çıkarıldı. Tipik olarak bu borular da ikinci nesil olarak adlandırıldı ve standartta 80°C'de testleri yapılan yüksek sıcaklık mukavemeti olan borulardır. 1987 yılında DIN standartındaki Tip 1 ve 2 kavramları iptal edilerek yerine bir standart çıkarılarak LDPE, MDPE ve HDPE tanımları 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.

18. YANVAR 2011
BORULAN ENJEKSION MERMERİ

Tablo 4.1 (Janson, 1995) Polietilenin çevresel gerilme değerine göre sınıflandırılması.

MRS (Mpa)	Sınıflandırma numarası	Dizayn	$\sigma_D(suC=1.25)$ (Mpa)
3.2	32	PE 32	2.5
4.0	40	PE 40	3.2
6.3	60	PE 63	5.0
8.0	80	PE 80	6.3
10.0	100	PE 100	8.0

MRS : İstenilen minimum mukavemet C'ye bölündüğünde bize dizayn gerilmesini verir.

$$\sigma_D = MRS/C$$

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 artmasıyla 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 rijitliğe 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 dayanıklılığı olan yüksek molekül ağırlıklı çeşidi vardır. Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenin molekül ağırlığı

ASTM D 4020'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 maddeleri ile değiştirilebilir. Bu değişme ile polietilenin kullanıldığı yerler daha da arttırılmış olur. Polietilen film olarak ambalaj sanayiinde, çeşitli malzemelerin saklanması, kırılmaması, su almaması ve korunması maksadı ile 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, A20 bileşik veya silon kullanılırken fiziksel yöntemde Elektron ve Gama ışını kullanılır.

4.2. Polipropilen

Alçak yoğunluklu bir reçine olan polipropilen tabii olarak yarı saydam ve süt beyaz rengindedir. Ayrıca çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Genellikle malzemenin sınırlı ısısal, 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 beş sene, 110°C'de on senedir.

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

Polipropilen propilenin polimerizasyonu ile elde edilir. Reaksiyon için özel katalizörler kullanılır. İzotaktik polipropilen elde edilirken çok az miktarda ataktik

polipropilen teşekkül eder. Bu tür polipropilenin sistemde bulunması izotaktik polipropilenin fiziksel özelliklerini etkiler. İzotaktik 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. Poliizobütilen 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 kırılgandır.

Molekül ağırlığı ve moleküllerin dağılımı, akış ve reolojik özelliklerini etkiler. Yüksek molekül ağırlığı bulunan polimerin erime direnci yüksektir. Düşük molekül ağırlığı ise daha iyi akışkandır 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 maddelerden etkilenmez. Oda sıcaklığında polipropilene çözebilecek hiçbir çözücü yoktur. Deterjanlar polimeri etkilemez.

Polipropilen borular PE'de olduğu gibi ekstrüzyon yöntemi ile üretilir. Özellikle pazarda PP'nin bir kaç 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 işareti ile gösterilen kopolimerdeki birim B, etilen monomerdir. Moleküler zincir içerisinde tekrarlanan A ve B birimlerinin düzenlenmesine bağlı olarak kopolimer değişir.

“AAAA...”	(PP-h) Polipropilen homopolimer
“ABABAB...”	(PP-c) Polipropilen kopolimer
“AAA...BBB...AAA...”	(PP-b) Polipropilen blok kopolimer
“AABABBAABBAAA...”	(PP-r) Polipropilen random kopolimer

Bu son diziliş A ve B birimlerinin rastgele dizilmesiyle 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'den PP-r'ye 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'den daha kolay ekstrüde edilebilmesi ve PB'den daha güvenli olması nedeniyle pazarda yarışabilmektedirler. 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 sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda belli metal iyonlarında, bakır gibi, malzemede ısıl oksidasyonun ivmelenmesine neden olur.

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

Tablo 4.2 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, 50 mm/dak.	26.1 Mpa
Kopma noktasındaki mukavemet	ISO 527/1A, 50 mm/dak.	21.5 Mpa
Kopma noktasındaki uzama	ISO 527/1A, 50 mm/dak.	>400 %
Elastisite modülü	ISO 527/1A, 50 mm/dak.	808 Mpa
Esneklik modülü	ISO 178, 2 mm/dak.	874 Mpa
Esneklik mukavemeti	ISO 178, 2 mm/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	ISO 179/1D	
23°C	4.0 J	NB
0°C	4.0 J	NB
-20°C	4.0 J	53.7 Kj/m ²
Izod, çentikli	ISO 180/1A	
23°C	2.75 J	22.5 Kj/m ²
0°C	1.0 J	5.6 Kj/m ²
-20°C	1.0 J	3.4 Kj/m ²
Izod, çentiksiz	ISO 180/1C	
23°C	5.5 J	NB
	5.5 J	NB

0°C -20°C	2.75 J	38.4 KJ/m ²
Shore D sertliği	ISO 868	60
Rockwell sertliği	ISO 2039-2	50
Vicat yumuşama sıcaklığı	ISO 306, metod A, 50 K/h	131.3 °C
Erime aralığı	ISO 3146-19	142.4 °C
20°C'de ısınma ısısı	DSC	2.0 J/gK
(30°C-90°C) uzama katsayısı	Dilatometre (DIN 53752)	1.8×10^{-4} 1/K
(10°C-60°C) ısı 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 asit, 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 ultraviyole güneş ışığına dayanımı yüksektir. Ancak diğer renklerdeki dayanım düşüktür. Bu sebeple iç tesisatlarda kullanılmasında fayda vardır. Binaya döşemeden 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 materyellerde 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 kırılğan 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. Basıncılı borular için gerekler ISO DP 4427'de bulunmaktadır.

UV koruması için kullanılan karbon siyahının standart 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 içersindeki konsantrasyon ve dispersiyon, nihai ürünün özellikleri çok önemli iki faktördür. %2-3 arasındaki konsantrasyon optimum sonucunun verirken daha fazla konsantrasyon fiziksel özellikleri ters yönde etkileyebilir.

Koruyucu katkı maddelerini 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 tanesi 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 stabilaze etmesi 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 gelir. İyi bir karışım elde edilmesi için hammaddeye karbon siyahı ve diğerlerinin üretici firmanın özel operasyonları ile karıştırılması tercih edilmelidir.

Pazarda mevcut karbon siyahı direkt olarak ekstrüder hunisinden katılmak üzere satılmaktadır. Kolay bir dispersiyon elde edilmesi için düşük moleküler ağırlıklı, fiyat ve kolay kullanım sebebi ile 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 siyahını UV koruyuculuğu yeterli değildir. Boru görünümü iyidir ancak uzun dönem özellikleri zayıflatır. Karbon siyahının dağılımı mikroskop ile incelenebilir. Mikrotom cihazı ile üründen soğan zarı inceliğinde numune çıkartılır ve 64 defa büyütebilen polorize mikroskopta testler gerçekleştirilir.

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

Isıtma sistemlerinde kullanılan PP-r'nin oksijen geçirgenliğinin gözönüne alınması önemli bir husustur. Oksijen molekülleri boru ve fittinglerden nüfuz ederek sistemde kullanılan metal kısımların korozyona uğramasına neden olur. Bu tip korozyonun önlenmesi için üç 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 fittingleri üzerinin oksijen kariyeri ile kaplanmasıdır.

Uzun dönem basınç mukavemetleri, kolay işlenmeleri ve döşemeye uygun olmaları sebebi ile geleneksel borularla, bakır ve galvanizli gibi, rekabet etmekte ve onların yerini almaktadır. Bina içersindeki su tesisatlarında hem üretici hem de kullanıcı için birçok avantajı nedeni ile 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 baskısından 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) $\phi 50$ 'ye kadar el kaynak makinesi ile işlem gerçekleştirilebilir.

4.3.Polivinil Klorür

PVC plastikleştiriciler kullanılarak veya kullanılmadan üretilebilir. İkine örnek olarak bahçe hortumları ve ev gereçleri 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 rijit olarak karakterize olur. ISO'ya göre PVC-U (plastikleştirilmemiş PVC) olarak adlandırılır.

PE'de materyalde eriyik akışı oranı moleküler ağırlığını tanımlarken PVC'de bu K değeri ile tanımlanır. Bu değer bir çok usul 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 testde 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 işlenebilirliği daha zor hale gelmektedir. K

değeri PVC'de 65-70 aralığındadır. PVC'nin diğer tanımlayıcı özelliği ise yumuşama sıcaklığıdır, bu da yumuşama noktası (vicap 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 artmasına gelişmesine yolaçar.

Hammaddede emülsiyon, süspansiyon ve bulk resin arasında farklar mevcuttur. Üretim prosesinde hammaddede saflığın artması ve az su absorpsyonu bu sıradadır. En yaygın tip süspansiyon PVC (S-PVC)'dir, yine de emülsiyon PVC (E-PVC) mevcuttur. Yıkanmış 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 saflığı artıyorsa bu kullanılan bir faydadır. E-PVC'nin küçük taneli olması demek S-PVC'den daha çabuk erimeye müsait olması 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 güçlüğü'nün 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 her ikisinde de günümüzde K değeri 65 ve Vicat noktası 0°C'nin üzerinde olan PVC ile üretim yapılmaktadır.

4.4.Cam takviyeli (Glass-Reinforced) Poliester 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 poliestre doyurulur iken cam çelik çekirdek üzerine örülür. Termoseting işlemi özel fırında ısıtma işleminden sonra tamamlanır. Yaygın boru tipi ise 'Drostholm-Process'ne göre üretilen borular olup bunlar sürekli bir üretimdir. Burada iplik boru eksenini ile ilişkili durumda spiral olarak açılıverirler. Belli bir değere kadar borunun aksenal mukavemetten önemli bir miktarda daha büyüktür. Poliestre 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 Drostholm borusu ile karşılaştırıldığında aksenal yönde mukavemet artışı sağlar. Santrifüj kalıplama metoduna (Hobas tipi) göre değişik kompozit materyaller-poliester reçine, kıyılmış cam iplikleri kuvarz kumu-çelik borunun ekseninden santrifüj olarak fırlatılır ve borunun içersi kalıp vazifesi yapar. Santrifüj esnasında yapraksı komponent polimerizasyon başlamadan önce kalıba doğru çok yüksek ivmede fırlatılır. Bu laminatın yüksek derecede sıkı yapı oluşturmaya ve standart materyal kalitesinin kolaylaştırılmasına neden olur.

En iyi kalitedeki GRP, vinlester reçinesinden iç yüzey kaplamasına sahiptir. İç katman cam ipliğe sahip değildir ama normalde takviye olarak poliester ipliksi örtüye sahiptir. Çekirdek katman Ortophtalacid reçineden veya en iyi durumda Bisphenol reçineden teşekküldür. Cam iplik E-Glass tipi olabilir, tercihen korozyon direncini arttırmak için değiştirilebilir. (E-CR)

GRP 12 m uzunluğunda üretilir. Uç kısımları borunun geçmesine müsait çift taraflı parçalar ile birleştirilir. Fitingleri dilim dilim kesilmiş boru parçalarından birleştirme tekniği kullanılarak yapılır.

5.PLASTİK BORULAR İÇİN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

5.1.HDPE, MDPE VE PP

Son yıllarda poliolefin malzemelerin kaynak yöntemlerinde önemli gelişmeler olmuştur. Bunlar; alın kaynağı, soket kaynağı, semer kaynağı, elektrofüzyon kaynağı (soket ve semer), sürtünme kaynağı, ekstrüzyon kaynağı ve özel durumlarda sıcak gaz kaynağıdır. Son zamanlarda kroslink borularda üzeri ince MDPE kaplamak suretiyle elektrofüzyon ve alın kaynağı yapmak mümkündür. Elektrofüzyon kaynağı DN 500 mm'ye kadar ulaşan fittingler için uygundur. DN 500 mm'nin üzerindeki borular için alın kaynağı veya flanş adaptörleri kaynatmak gerekmektedir.

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 kaynağı ise uygunluğu kabul edilmiş çoğunlukla manuel kontrol ve yüksek derecede yetenekli, tecrübeli personelin gözetiminde olmaktadır. Fakat günümüzde sıcaklığı, basıncı ve zamanı ayarlayabilen otomatik donanımlı alın kaynağı cihazları mevcuttur. Genelde büyük çaplı borular için manuel kontrol kullanılmaktadır (400 mm üzeri).

6.KAYNAK VE BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

6.1.Alın kaynağı

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

INSTA projesinin bir bölümüne göre polietilen ve polipropilen alın kaynağı hashas olarak analiz edilmiştir. Farklı parametreler kullanılarak kaynaklar elde edilmiş ve ardından DVS 2203 Kısım 42'ye göre uzun dönem testleri gerçekleştirilmiştir. Bütün testler Norveç Test Enstitüsü olan SINTEF'te yapılmıştır. Burada en önemli parametre olarak ısıtma süresi tespit edilmiştir. İyi bir kaynak kalitesi elde etmek için ısıtma süresinin yeterince uzun süre tutulması gerekmektedir. Kaynak parametreleri önem sırasına göre aşağıda verilmiştir.

1.İsı Yükselme Zamanı: Yeteri genişlikte kaynak alanı elde edilmelidir. ısıtma basıncı fazla önemli değildir.

2.Soğutma Zamanı: Çok kısa soğutma zamanı iç gerilmeler nedeni ile kaynakta kırılgan bir yapı meydana getirebilir.

3.Basınç Yükseltme Zamanı: Isıtmadan sonra boru uçları süratle birleştirilmeli ancak basınç düzenli olarak arttırılmalıdır.

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 üç saniye içerisinde 187°C'den 170°C'ye düştüğü tesbit edilmiştir. Eriyik halde bulunan hammadde ise çok hızlı bir şekilde oksitlenebilmektedir. Ürünün mukavemetini etkileyen en önemli parametrelerden olan bu hususa dikkat edilmelidir.

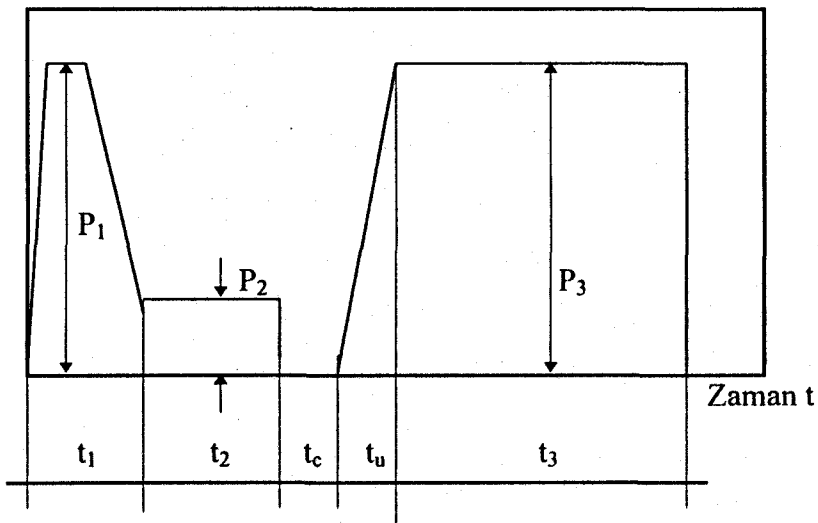
5.Basınç: Basınç geniş bir aralık içerisinde uygulanabilir (0.10-0.22 Mpa). Sürtünme kayıplarının yüksek olacağı durumlarda düşük değerleri tavsiye edilmez. Uygun görülen basınç aralığı 0.15-0.22 MPa'dır.

6.Sıcaklık: Mukavemette hiçbir değişikliğe sebep olmaksızın 200-230°C aralığı uygulanabilir. Ütünün sıcaklığının artırılmasıyla kaynak mukavemetini arttırması 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.

Şekil 6.1 (Janson, 1995) Alın kaynağı prosedürü

Basınç P



Basınç (boru etindeki basma gerilmesi olarak ifade edilmiştir) zamanın fonksiyonu olarak verilmiştir. ısıtma 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 ise boru uçlarının tamamının ütü yüzeyine temas edene kadar geçen süredir. Sonra hemen hemen sıfıra yakın bir basınçta sabit tutularak T_2 süresince beklenir. Bu süre boru et kalınlığının 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 uygulanmalıdır ki bu soğuk kaynağa neden olur.

T_c zamanı boru uçları geri çekildiğinde, yani basınç sıfır olduğunda, ütünün 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 temel oksidasyon olur, bu arada boru sıcaklığı aşağıya 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.

Aşağıdaki kaynak parametreleri Danimarka standartlarına göre dir. s = boru et kalınlığı, D = boru anma dış çapı, e = boru dudak kalınlığıdır.

Ütü sıcaklığı		200°C-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 $e = 0.5 + 0.1 s'e$ ulaşana kadar	

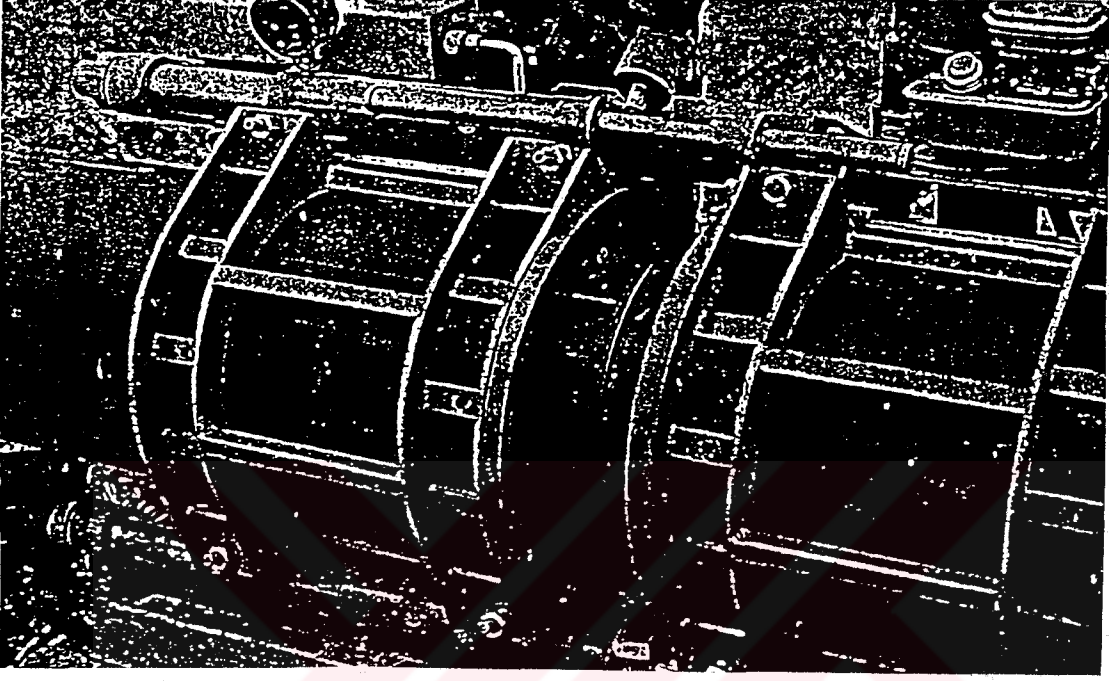
Isıtma basıncı	P_2	Takribi 0.01 MPa
Isıtma zamanı	T_2	15 sn
Ütü uzaklaştırma zamanı	T_c	$3 + 0.01 D$ sn
Basınç teşekkül etme zamanı	T_u	$3 + 0.03 D$ sn
Kaynak basıncı	P_3	P_1 'e eşit
Soğutma zamanı	T_3	$10 + 0.5$ sn

VBB/SWECO çalışmalarına göre büyük çaplı boru ($\phi 1200$ mm PN 4 HDPE) için kaynak parametreleri

Ütü sıcaklığı		220°C
Isıtma basıncı	P_1	0.18 MPa
Isıtma zamanı	T_1	alın yüzeylerinin tamamen temasına kadar
Isıtma basıncı	P_2	0-0.01 MPa
Isıtma zamanı	T_2	11.5 dak.
Ütü uzaklaştırma zamanı	T_c	Max 20 sn
Basınç teşekkül etme zamanı	T_u	takribi 1 dak.
Kaynak basıncı	P_3	0.18 MPa
Soğutma zamanı	T_3	90 dak.

Yukarıda verilmiş olan iki ayrı çalışmada parametreler soğutma zamanı T_3 haricinde aşağı yukarı aynıdır. Deneyimler sonucunda soğutma zamanı T_3 boru et kalınlığının da belirlenmiş katsayı (k_c) ile çarpılmasıyla artmaktadır.

Şekil 6.2 (Janson, 1995)



6.2.Elektrofüzyon kaynağı

1970'lerde HDPE ve MDPE boruları düşük basınçlı gaz dağıtım hatlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Borular normalde toprak altına gömülü olarak, küçük çaplarda yani $\phi 20-225$ 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 içersine kaynak yapılacak bölgeye, ısıtıcı eleman olarak teller gömülmektedir. Kullanılan fittingler temelde çift taraflı olarak yapılır. Çekirdekta bulunan tellere elektrik girişi dışarıdan yapılacak şekilde dizayn edilir. Uçları temizlenmiş iki borunun ucu fitting içersine 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 kutusunda elle ve otomatik olarak ayarlanır. Geniş yelpazedeki standart fittingler, bransman semerleri vs. $\phi 250$ '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 yanısıra tekabül eden eksenel kuvvetler oluştururlar. Kaynak kabiliyeti için ürünlerin MFI değerleri gözönüne alınmalıdır.

6.3.Ekstrüzyon Kaynağı

Büyük çaplı fittinglerin, dönüşümlerin, bransmanların, redüksiyonların ve depo gibi mamüller normalde alın kaynağı ile gerçekleştirilemez. Önceleri aynı esaslı materyalden yapılan çubuklar ile sıcak gaz kaynağı kullanıldı. Ancak 1970'lerin 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

6.4.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, poliolefinlerin alın kaynağında olduğu gibi, son derece eriyiğin ısınması ve kaynak basıncına bağlıdır. Bu kaynak tipi bazı durumlarda poliolefinlerinde kullanılır.

7.KAYNAK KALİTESİNİ ETKİLEYEN DİĞER FAKTÖRLER

- Çalışma Ortamı

Rüzgar, kaynak kalitesi için zararlı bir ortam oluşturmaktadır. Bu ütüyü çabuk soğutmakta ve düzensiz bir ısı dağılımına neden olmaktadır. Çalışma ortamının 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.

- Hizalama

Boru uçlarının hizasız olması kaynak ömrünü önemli derecede 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 et kalınlığının %10'unu geçmemelidir.

- Erime Akış Hızı

Farklı materyallerin kaynağında diğer bir kriter ise MFR (eriyik akış hızı)'dır. DIN 16776 Kısım 1 farklı ergime indeksindeki 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)'tür. 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 standartı gaz boruları için özetleyerek, DIN'e göre biraz aralığı genişleterek yayınlamıştır. (155 N 1443 E-Şubat)

8.KAYNAK TESTLERİ

Kaynaklar, tahripli ve tahripsiz olmak üzere iki metotla incelenir. Örnek olarak tahripsiz metotlar; görsel olarak dudak geometrisinin incelenmesi, ultrasonik inceleme, X-ışınları ile, radyografi, termografi, yansıyan holografi ve yüksek frekanslı elektrik test uygulamalarıdır.

Tahripsiz testler sayesinde hizalama hatası boşluklar ve çatlaklar tespit edilebilir. Fakat tahripsiz testler ile kaynağın iyi bir mekaniksel kalitesi olduğunu söyleyemeyiz. Bundan dolayı, kaynak kalitesindeki en son kararı tahripli testler sonucunda verebiliriz. Tahripli testleri iki kısma ayırabiliriz. Kısa dönem metotları; kaynatılmış borunun iki ucu sabitlenip çekilerek, yani gerilme testi ile kaynağın mekaniksel direncinin ölçülmesidir. ISO 6259 veya DVS 2203 bu testi şart koşturmaktadır. Gerilme testinden sonra kaynaklı borunun dış yüzeyinde tahribat oluşur. Bu metot ile zayıf kaynaklar çok kolay bir şekilde tesbit edilir. Uzun dönem

metotları; basınç ve sürünme testleri ile olmaktadır. Bu testlerde ısı ve su kullanılarak test süresinin uzunluğu azaltılabilir.

9.SONUÇ

Plastikler sahip oldukları özellikler sebebiyle, sanayinin her noktasında diğer materyallerin yerini almaya hızla devam etmektedir. 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 geçen gün 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 özellikleri tam olarak bilinmeden yapılan uygulamalar mekanik özelliklerin kötüleşmesine neden olabilmektedir.

Termoplastik hammadde kullanılarak üretilen boruların, üretici açısından, en büyük avantajlarından bir tanesi de ürün haline gelmiş hammaddenin granül haline getirilerek tekrar kullanılabilmesidir. Ancak yüksek sıcaklık ve basınç prosesi geçiren hammadde sahip olduğu özelliklerin bir kısmını kaybeder. Bundan dolayı standart, kırılmış hammadde miktarının kullanımı sınırlandırılmıştır. 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 gücüyle yapılmaktadır ki bunun 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 gözönüne 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 değeri de ölçülmüştür.

Tablo 9.1 Polietilen ve Polipropilen materyalinden aynı numunelere uygulanan MFI ve yoğunluk test sonuçları

Polietilen (PE 100)			Polipropilen Random Kopolimer	
MFI (19015) g/10 dak		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	0.888
7.	0.3606	0.946	0.75	0.888
8.	0.3866	0.951	0.81	0.888
9.	0.3976	0.950	1.00	0.888
10.	0.3952	0.947	1.20	0.888

Büyük çaplı plastik borular için henüz belirgin bir kaynak tekniği yoktur. Bu yüzden birçok firma arasında bu konuda rekabet söz konusudur. Büyük çaplı plastik boruların kaynağı çok sağlam olması gerekmektedir. Çünkü çap büyüklüğüne oranla et kalınlığı ölçüsünün artması nedeniyle kaynak birleşiminin yüksek ağırlık ve kuvvetleri taşıması gerekmektedir. İskandinav ülkeleri büyük çaplı PE boruların (DN 200-1600 mm) kaynağı konusunda çok fazla tecrübelerle sahiptirler. Özellikle şirketler, geniş çaplı PE borular konusunda yoğunlaşmışlardır.

Internodic INSTA projesi, büyük çaplı boruların kaynak kalitesini arttırmak için kullanılan parametreleri geliştirmek amacıyla kurulan bir organizasyondur. En kritik parametreler olarak ısıtma ve soğutma zamanları bulunmuştur. Bu parametreler uzun dönem dayanımlı birleşimler için çok etkilidir. Kısa dönem

testleri, kaynağın sadece kısa dönem birleşme direncini belirlemektedir. Bu yüzden iyi bir kısa dönem kaynak kalitesi hiçbir zaman uzun dönem kaynak direnci için garanti değildir.

Tablo 9.2 Plastik tesisat malzemeleri, kullanım yerleri ve birleştirme şekilleri

<u>Plastik tesisat malzemesi</u>	<u>Kullanıldığı alanlar</u>	<u>Birleştirme tekniği</u>
PP	Isıtma sistemlerindeki sıcak su hatlarında	Alın kaynağı,fitting
MDPE		Alın kaynağı,fitting
PEX		Fitting
PEX	Döşemeden ısıtma sistemlerinde	Fitting
PP		Alın kaynağı,fitting
LDPE	Sihhi tesisat hatlarında	Alın kaynağı,fitting
HDPE	İsale, endüstriyel atıkların nakilleri ve denizaltında	Alın kaynağı,fitting
MDPE		Alın kaynağı,fitting
HDPE (Küçük çaplılar)	Su dağıtım şebekesi bina bağlantıları	Alın kaynağı,fitting
MDPE	Düşük basınçlı doğalgaz hatlarında	Elektrofüzyon, alın kaynağı
PVC	Drenaj hatlarında	Fitting
GRP	Korozif endüstriyel ve sıcak atıklarda ve büyük çaplı ana su hatlarında	Fitting

KAYNAKLAR

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



ÖZGEÇMİŞ

- 1972** İstanbul'da doğdu.
- 1989** Yahya Kemal Beyatlı Lisesi'nden mezun oldu.
- 1989** Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne kayıt oldu.
- 1993** Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Bölümü Isı Proses Programında Yüksek Lisansa başladı.
- 1994** İngilizce Hazırlık Programını tamamladı.
- 1997** ISISAN AŞ.'de yurtiçi ve yurtdışı satınalma ve proje-taahhüt işleri teklif hazırlama bölümünde görevine devam etmektedir.