

33537

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK MALZEMELERDE AŞINMA

Nurhayat VAROL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen
Jüri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız
olarak değerlendirilmiştir.

Danışman
Prof.Dr. M. Mustafa Yıdırım

Üye

Üye

ÖZET

Yüksek lisans Tezi

PLASTİK MALZEMELERDE AŞINMA

Nurhayat VAROL

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

1994, Sayfa: 120

Plastik malzemeler birçok farklı endüstri uygulamalarında kullanılmaktadır. Radyasyon ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olan plastik malzemelerin kullanıldığı kimya sanayinde ve nükleer güç santrallerinde, plastik malzemelerin teknik uygulamaları konusu fazla bilinmemektedir.

Başarılı bir tasarımda plastik malzemenin seçilmesi ve uygulamasında aşınma direnci ve mukavemet karakteristiklerini seçimine pek dikkat edilmemektedir.

Endüstri uygulamaları için plastik malzeme üreten Elazığ'daki bir fabrikanın mamülü örnek olarak alınmıştır. Plastik üretim malzemesinin önemli bir bölümü dönen parçalarda kullanılabilir. Değişik plastik malzemeler üzerinde yapılmış aşınma deneylerinin yetersizliği, sanayide kullanılan plastik parçalardaki imalat hataları ve artan maliyetler önemli olmaktadır.

Bu nedenle Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarlarında Elazığ'da üretilen plastik malzemenin aşınma karakteristiklerini elde etmek için bir deney seti kurulmuştur. Kaliteyi artırmak için elde edilen veriler ışığında önemli tavsiyeler bu çalışmada özetlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Plastik malzemeler, aşınma, kusurlar, aşınma karakteristikleri, kimyasal proseseler, nükleer güç santralleri.

II

SUMMARY

Master Thesis

WEAR OF PLASTICS MATERIALS

Nurhayat VAROL

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Material Science

1994, Page:120

Plastic resin materials are used many different industry applications and products. For example, lesser known technical applications of plastics include chemical processes and in nuclear power generation, where the resistance to chemical and radiological damage favor plastics over other materials.

Regardless, wear resistance and strength characteristics ultimately are the determining factor in the successful design, selection and application of these materials.

As a case study example, consider the plastics factory in Elazığ, Turkey which produces plastics materials for industrial applications. Many of the products are used in rotational assemblies. However because there is insufficient research on wear on the various plastics materials used, the plant's products suffer from high failure, increased cost etc.

For this reason a test rig was constructed at the laboratories of the Technical Education Faculty of Firat University with the intent to undertake empirical studies of wear characteristics for plastics materials used at Elazığ facility. The resulting wear characteristics data from this study, with important suggestions for improved quality are summarized in this paper.

KEY WORDS: Plastics materials, wear, failure, wear characteristics, chemical process, nuclear power generation.

III

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın önerilmesi, sürdürülmesi ve tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarım ile yakından ilgilenen Sayın Hocam Prof.Dr. M.Mustafa YILDIRIM'a en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, konunun araştırılması safhasında büyük desteğini gördüğüm Metalurji Eğitim Bölüm Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayşen HAKSEVER'e ve deneysel çalışmalarımı yürüttüğüm Makina Eğitim Bölümü laboratuvarlarında görevli teknisyenlere teşekkür ederim.

Nurhayat VAROL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
SUMMARY	II
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
RESİMLER LİSTESİ	XI
DİYAGRAMLAR LİSTESİ	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Aşınmanın Çeşitli Tanımları	3
1.2. Aşınma Problemi	4
1.2.1. Bir aşınma olayına etki eden faktörler	5
2. AŞINMANIN ÇEŞİTLERİ	8
1.1. Adhezyon Aşınması	8
2.2. Abrasyon Aşınması	9
2.3. Erozyon Aşınması	10
2.4. Yuvarlanma Aşınması	11
2.5. Yorulma Aşınması	11
2.6. Triboksidasyon Aşınması	12
2.7. Korozyon Aşınması	12
2.8. Yenim Aşınması	12
2.9. Termal Aşınma	13

2.10. Kavitasyon Aşınma	13
2.11. Oksidasyon Aşınması	13

Sayfa

3. AŞINMA MUKAVEMETİNİ ARTIRMA İŞLEMLERİ	14
3.1. Pürüzlülük	14
3.2. Sertlik	15
3.3. Tane Boyutu	16
3.4. Malzeme Boyutu	16
3.5. Yüzey İşlemleri	17
3.6. Ortamın Etkisi	18
3.6.1. Sıcaklık	18
3.6.2. Atmosfer	19
3.6.3. Nem	19
3.7. Malzeme Seçimi	19
3.8. Yağlama	19
3.9. İşletme Koşulları	20
3.9.1. Hız, Kayma Yolu	20
3.9.2. Yük	22
3.10. Zaman	22
3.11. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	23
3.11.1. Ağırlık farkı yöntemi	24
3.11.2. Kalınlık farkı yöntemi	25
3.11.3. Rayoizotop yöntemi	26
3.11.4. İz değişim yöntemi.....	26
3.12. Aşınma Deneylerinin Genel İlkelkeri	26
4. PLASTİK MALZEMELER	28
4.1. Dünya'da ve Türkiye'de Plastik Sanayinin Gelişmesi	28
4.2. Temel Bilgiler	31
4.3. Plastik Bilgilerin Genel Özellikleri	34
4.4. Plastiklerin Yapısı	38
4.4.1. Molekül zincirlerin şekli	41
4.4.2. Plastiklerin mekanik özellikleri	43

VI

4.4.3. Plastiklerin molekül ağırlığı	51
4.4.4. Katkıllı plastikler	53
4.4.5. Katkı maddelerinin tesiri	54
4.4.6. Plastiklerde kullanılan katkı maddeleri.....	55
4.4.7. Termoplastiklerin kuvvetlendirilmesi	57
4.4.7.1. Karbon elyafı ile kuvvetlendirme	57
4.4.7.2. Cam elyaf ile kuvvetlendirme	58
4.4.7.3. Aramid elyafı ile kuvvetlendirme	60
4.4.7.4. Yumuşatıcı olarak kullanılan katkı malzemeleri.	61
4.4.7.5. Aleve karşı kullanılan katkıları	61
4.4.7.6. Renklendirici	62
4.4.7.7. Katalizör hızlandırıcı sistemler	62
4.4.7.8. Stabilizatörler	63
4.5. Kuvvetlendirilmiş Termosetler.....	63
4.5.1 Epoksiler.....	63
4.5.2 Poliesterler.....	64
4.6. Elyaf Kuvvetlendiricilerin Sürünme ve Yorulma Üzerine Etkisi.....	65
4.6.1 Kuvvetlendiricinin sürünme üzerine etkisi.....	65
4.6.2. Kuvvetlendiricinin yorulma üzerine etkisi.....	66
4.6.3. Yağlayıcı dolgu malzemeleri.....	66
4.7. Plastik Köpükler.....	68
4.7.1. Alçak basınçlı köpükleme.....	68
4.7.2. Yüksek basınçlı köpükleme.....	69
4.8. Plastiklerde Tokluk ve Sertlik.....	70
4.8.1. Plastiklerde tokluk.....	70
4.8.2. Plastik malzemelerde sertlik.....	71
4.9. Plastiklerin Sürünme ve Aşınma Özellikleri.....	71

5. PLASTİKLERİN İŞLEME, ÇALIŞMA VE ÇEVRE ETKİSİ

ALTINDA YIPRANMASI.....	74
5.1. Yıpranma Olayı.....	74
5.2. Sıcaklığın Etkisi.....	75
5.2.1. Şekil kararlılığı.....	76

VII

5.2.2.Boyut kararlılığı.....	78
5.2.3.Isısal yaşlanma.....	79
5.3. Fotokimyasal ve Radyasyon Yıpranması.....	79
5.4. Kimyasal Yıpranma.....	79
5.4.1. Hidroliz yıpranma.....	80
5.4.2.Oksidatif yıpranma.....	81
5.4.3.Çözünme ve yıpranma.....	82
5.4.4. Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşum.....	83
5.5. Fotokimyasal ve Radyasyon Yıpranması.....	83
5.6. Mekanik Kimyasal Yıpranma.....	84
5.7. Yıpranmaya Karşı Önlemler.....	84
6. POLİVİNİLKORÜR (PVC).....	86
6.1. Polivinilklorür'ün Oluşumu.....	86
6.2. PVC'lerin Kimyasal Özellikleri	88
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	89
7.1. Deney Düzeneği	89
7.2. Deneylerde Eşit Koşulların Sağlanması	94
7.3. Deneysel Ölçmeler.....	95
7.4. En Küçük Kareler Yöntemi.....	101
7.5. Korelasyon Katsayısı	105
8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	117

ŞEKİLLER

Şekil No:		Sayfa
1.1	Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.....	5
2.1	İki elemanlı abrasiv aşınma	9
2.2	Üç elemanlı abrasiv aşınma.....	10
2.3	Plastik deformasyon sonrası pitting oluşumu.....	12
3.1	Sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi	15
3.2	Numune çapının aşınma hızına etkisi.....	17
3.3	Aşınma miktarına hızın etkisi.....	21
3.4	Malzemelerin aşınma araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri.....	23
3.5	Adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri.....	24
4-A	Ülkelerin kg/yıl oranında plastik tüketimleri	28
4-B	Yıllara göre kg/kişi oranında plastik tüketimi.....	30

IX

4.1	Polimerlerin mühendislik malzemeleri arasındaki yeri.....	33
4.2	Vinil klorürün polimerize edilerek polivinilklorürün oluşması.....	41
4.3	a) Yönlenmemiş ve b) yönlenmiş amorf polimerin şematik gösterilişi.....	42
4.4	Plastiklerde sıcaklık ve yükleme hızının şekil değiştirme direncine etkisi.....	45
4.5	Kısmikristalin polimerin yapısı.....	47
4.6	Molekül ağırlığının dağılımı.....	52
5.1	Sıcaklık-elastiklik arasındaki ilişki.....	76
5.2	Amorf ve kısmikristalin plastiklerin sıcaklığa bağlı dinamik elastiklik kaymalı modülünün değerleri.....	78
5.3	Naylon 66'nın hidroliz direnci.....	81

TABLOLAR

<u>Tablo No</u>		<u>Sayfa</u>
1.2	Yükleme ve hareket değişikliklerinin sistemi etkilemesi.....	7
4.1	CH ₂ gruplarının ilavesiyle ağır moleküllerin oluşturulması.....	40
4.2	Termoplastiklerin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri.....	49
4.3	Katkı maddelerinin etkileri ve sonuçları....	56
4.4	Sürtünme katsayısı üzerine temas yüzeylerinin etkisi.....	72
7.1	n=1916 dak ⁻¹ devirde ve değişik basınçlar altında yapılan deneylerden Diyagram 1,2,3 ve 4'de verilen noktaların lineer regrasyon sonuçları	107
7.2	n=1580 dak ⁻¹ devirde ve değişik basınçlar altında yapılan deneylerden Diyagram 1, 2, 3 ve 4'de verilen noktaların lineer regrasyon sonuçları	114

RESİMLER

<u>Resim No</u>		<u>Sayfa</u>
1	Deney setinin genel görünüşü.....	89
2	Deneyde kullanılan debriyaj plakasının genel görünümü.....	90
3	Plastik çubuğun balata üzerine yaptığı düşey bindirme.....	91
4	Plastik çubukların tutturulduğu manivela kolu.....	91
5	Manivela kolunda kullanılan rulman yatakları.....	92
6	Kayış, kasnak sistemi ve yüksekliği ayar mekanizması.....	93

DİYAGRAMLAR

Diyagram No	Sayfa
1 P=20 kPa basınç ve n=1916 dak ⁻¹ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	96
2 P=40 kPa basınç ve n=1916 dak ⁻¹ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlığın ölçüm süresine bağlı değişimi.....	97
3 P=60 kPa basınç ve n=1916 dak ⁻¹ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	98
4 P=80 kPa basınç ve n=1916 dak ⁻¹ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	99
5 P=100 kPa basınç ve n=1916 dak ⁻¹ değerinde sınır bölgesinin tanımı.....	100
6 n=1916 dak ⁻¹ değerinde değişik basınçlar altında plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	108
7 20 kPa basınç ve n=1580 dak ⁻¹ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlığın ölçüm süresine bağlı değişimi.....	109

XIII

8	40 kPa basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	110
9	60 kPa basınç ve $n= 1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	111
10	80 kPa basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	112
11	100 kPa basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.....	113
12	Alınan yola bağlı olarak $n=1916 \text{ dak}^{-1}$ 'de aşınan net ağırlık.....	116
13	Alınan yola bağlı olarak $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ 'de aşınan net ağırlık.....	116

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril-Butadien-Stiren termopolimerleri
COI	: Kritik Oksijen İndeksi
DIN	: Alman Endüstri Normu
DP	: Polimerizasyon derecesi
SAN	: Stiren-Akrilonitrik
T_g	: Camı duruma geçiş sıcaklığı
T_m	: Ergime sıcaklığı

SEMBOLLER

C_1	: Malzeme sabiti
d	: Yoğunluk
D_i	: Sapmalar
F_n	: Temas yüzeyine etkiyen normal kuvvet (N)
F_s	: Sürtünme kuvveti (N)
K_v	: Kristalinite derecesi
M	: Yükleme ağırlığı
M_n	: Sayıca ortalama molekül ağırlığı
M_w	: Ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı
P	: Basma kuvveti
P_a	: Tamamen amorf polimerin yoğunluğu
P_k	: Tam kristalin polimerin yoğunluğu
P_v	: Kristalinite derecesi belirlenen polimerin yoğunluğu
r	: Korelasyon katsayısı
S	: Aşınma yolu
X_i	: i . noktaya ait X değeri
X^T	: X 'in transpozesi
Y_i	: i . noktaya ayit Y değeri
W_a	: Aşınma oranı
ΔG	: Ağırlık kaybı
ΔV	: Hacim kaybı
μ	: Sürtünme katsayısı

PLASTİK MALZEMELERDE AŞINMA

GİRİŞ

Plastik malzemeler teknolojisinin gelişmesine paralel olarak birçok alanda kullanım sahası bulmaktadır. Evlerde kullanılan birçok mutfak eşyası, galvanizli veya pik borular yerine plastik borular kullanılması, kapıların, pencerelerin, çatı oluk ve boruların plastikten yapılması, plastik malzemenin önemini ortaya koyan örneklerdir.

Bazı makina ve teçhizatların plastikten yapılması gerekebilmektedir. Özellikle kimya ve nükleer sanayide plastik malzeme sıkça kullanılmaktadır. Örneğin nükleer santral ve metal aksamından mümkün mertebe kaçınılır. Çünkü metaller nükleer reaksiyonlar neticesinde radyoaktif duruma gelebilmektedir.

Gene kimyasal maddelerin metal ile temasta bulunmasının sonucu olarak malzemede tahribatlar oluşabilmektedir. Örneğin Nükleer Santrallerde tamamen plastikten yapılmış pompalar kullanılmaktadır. Bu pompaların çarkı, çark muhafazası, rulmanları ve hatta kaplini tamamen plastiktir.

Türkiye'de plastik sanayinin gelişimi iyi düzeydedir. Örneğin bir pompanın elektirik motoru haricindeki tüm parçalarının imalatı plastikten yapılabilir. İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü bünyesinde bulunan TRIGA MARKT II Araştırma Reaktöründe ve Çekmece Nükleer Araştırma Merkezinde kullanılan plastik pompalar ülkemizde imal edilmiştir.

Bilindiği üzere Elazığ'da Keban Plastik Fabrikası bulunmakta ve bu fabrikanın ürünleri sadece boru imalatı

olmayıp kapı, pencere ve çatı olukları da imal edilmektedir. Ayrıca diğ er yan sanayiye iç i dolu plastik malzemeleri kütük halinde satabilmektedir.

Nitekim bu plastik malzemelerden Fırat Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Makina eğitim Bölümü'ne CNC uygulamalarında kullanılmak üzere epeyce malzeme satın alınmıştır. Elazığ'da bu plastik fabrikasının bulunması, dolayısıyla malzeme teminindeki kolaylık bu çalışmayı teşvik eden önemli unsurlardan biridir.

Bu araştırmanın amacı, özellikle Keban Plastik Fabrikası'nın ürettiği malzemeleri kullanarak zamana bağlı olarak belli basınçlar altında çalıştırılmaları durumunda sürtünmeden meydana gelecek aşınmanın durumunu incelemektir. Zira plastik malzeme, hareketli makina aksamları içerisinde de kullanılabilir. Sürtünme nedeniyle malzeme aşınmakta ve bir süre sonra kullanılamıyacak duruma gelebilmektedir.

Türkiye'de bazı sanayi kuruluşları ürettikleri makina parçaları için malzeme alırken en kolay temin edebilecekleri malzemeleri satın alarak imalat yapmaktadırlar. Bazen ürettikleri malzemeler tamamen tekellerinde olduklarından tüketicinin başka benzer bir malı satın alması sözkosunu olamamaktadır. Özellikle Türkiye'de üretilen otomobillerin bazı aksamlarında (ısıtma, havalandırma, ön ve arka göğüs, kapı iç tarafında kullanılan plastik kapı kolları gibi) kullanılan plastik malzemelerin çok çabuk tahrip olabildiği görülür. Camı yukarı ve aşağı hareket ettiren kol üzerinde bulunan ve metal olmayan malzeme, aşınma neticesi kırılabilir. Bu tür aksaklıkları minimum düzeye indirilmesi için plastik malzemelerin zamana bağlı sürtünmeden meydana gelen aşınmaları için bir hayli araştırma yapılması zorunludur.

1. AŞINMA TANIMLARI, AŞINMA PROBLEMLERİ:

1.1. Aşınmanın Çeşitli Tanımları

Aşınma olayını açıklayan birçok tanım yapılmıştır. Bunlardan bazıları şöyledir;

"Malzeme yüzeylerinin, daha çok mekanik zorlanmalar nedeni ile, bazı hallerde kimyasal tesirlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu ortaya çıkan değişmesidir."
(Yurderi,1982)

"Birbirilerine göre hareket halinde olan yüzeylerden birinde veya ikisinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır."
(Gürleyik,1987)

DIN 50320'e göre ise aşınma tanımı şöyledir;

"Aşınma, teknik anlamda cisimlerin yüzeylerinde, mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji verilmesi sonucu ufak parçacıkların kopup ayrılması ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir."

Yukarıda verilen tanımlara göre; yüzeylerin parlatılma işlemi, taşlama işlemi veya birlikte çalışan parçaların alıştırılması işlemlerinin aşınma olayı kapsamında incelenmemesi gerekir. Çünkü bunlar, teknolojik biçimlendirme amacıyla, arzu edilerek gerçekleştirilen işlemlerdir. Ayrıca fiziksel, kimyasal veya termik nedenlerden dolayı büyük parçalar halinde kırılma ve eskime gibi durum değişiklikleri aşınma olayı olarak kabul edilemez.

Aşınma malzemenin yıpranması gibi görünürse de olayın aşınma sayılabilmesi için;

- 1- Sürtünme olması,
- 2- Mekanik bir etkinin olması,
- 3- Hareketin devamlı-yavaş olması,
- 4- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesi,
- 5- Olayın istek dışı gerçekleşmesi şartlarını taşıması gerekir.

1.2. Aşınma Problemi

Birbirine göre relatif (izafi) hareket halinde ve temasta olan yüzeyler arasında her zaman ters yönde bir direncin var olması sonucu aşınmanın meydana gelmesi gözlenir. Aşınma arzu edilmeyen bir olay olduğu için, sürtünme ile çalışan bazı sistemler (kavramalar, frenler) hariç, aşınmanın azaltılması için çalışmalar yapılması gerekir Ekonomik yönden olaya bakılacak olursa; sürtünme sonucu oluşan enerji kayıpları ve aşınan parçaların yenilenmesi ekonomiye bir hayli yük getirmektedir. Özellikle taneli katı madde taşınımının yapıldığı sahalarda ve maden işletmelerinde aşınmanın yarattığı kayıplar oldukça büyüktür (Esen,1989).

Günümüzde gelişen ve yaygınlaşan sanayi ile aşınma problemi daha da güncelleştirdiğinden, herhangi bir istenmeyen durumun olmaması için, bakım zamanlarında gerekli ve yeterli koşulun sağlanması hedeflenir.

Aşınma olayında parçanın şekli, malzemesi ve işletme şeklinin değiştirilmesi her an mümkün olmayabilir. O zaman malzemenin uygun seçilmesi aşınmayı azaltma yollarından birisi olabilir.

Yukarıda açıklanan şartlardan herhangi birisinin küçük bir değişikliği aşınmayı istenilen yönde veya aksi yönde etkiler.

1.2.1. Bir Aşınma Olayına Etki Eden Faktörler

Aşınma olayının belirlenmesinde tribolojik sistemi meydana getiren içten ve dıştan olmak üzere pek çok faktör vardır. Dış faktörler;

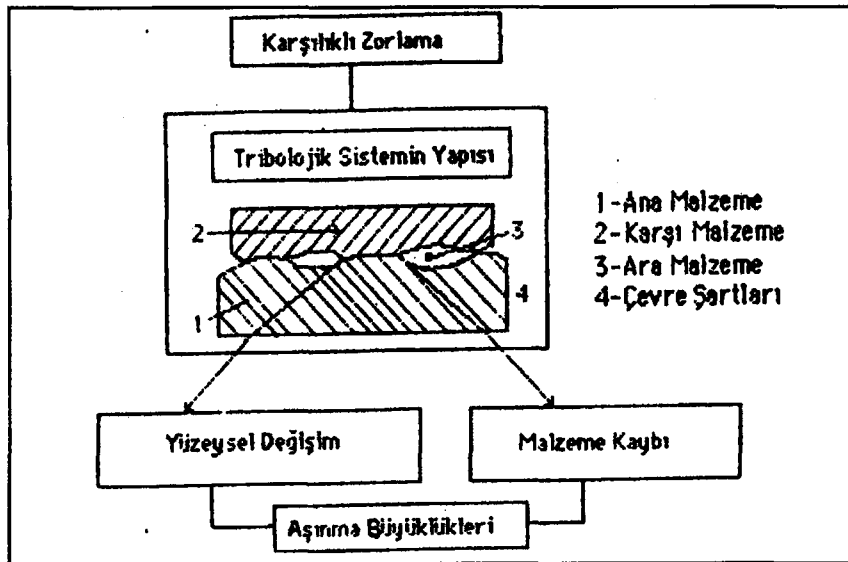
- Yük (tipi ve miktarı),
- Hareket şekli (yuvarlanma, kayma, çarpma vb.),

Bu dış faktörler tribo-sisteme göre faydalı bir şekilde değiştirilebilir.

İç faktörler ise;

- Sürtünen elemanlar,
- Ara madde,
- Çevre'dir.

Aşınma olayına yukarıda açıklanan temel objelerden bir kısmı veya hepsi birden katılabilir. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Bir Tribolojik Sistemin Şematik Olarak Gösterilişi

Bir aşınma olayında 6 parametre gözlenebilir. Bunlar;

1- Aşınan Eleman: (Ana malzeme, temel sürtünme elemanı)
Yüzeysel yapısı, şekli, durumu, fiziksel, kimyasal özellikleri belirli olan ve aşınması özel çalışma ile incelenen katı cisimdir.

2- Aşındıran Eleman: (Karşı Sürtünme Elemanı)
Aşındıran eleman, aşınan eleman ile bir aşınma çifti oluştururlar. Aşındıran eleman gaz veya sıvı bir ortam, katı bir cisim olabilir.

3- Ara Malzeme:
Ara malzeme, aşınan eleman ile aşındıran eleman arasında bulunan maddedir. Bunlar da; katı (sert, taneli) sıvı, gaz, buhar veya karışım şeklinde bulunan maddedir. Ayrıca aşınma sonucu oluşan talaşlar da ara malzeme olarak aşınmayı etkiler.

4- Çevre:
Sistemin içerisinde bulunduğu sıvı veya gaz halinde olan ortamdır.

5- Yükleme:
Sisteme etki eden kuvvetin büyüklüğü, doğrultusu, şekli (darbeli, titreşimli, statik, dinamik), zaman ile olan değişimi yüklemenin şiddetini belirler.

6- Hareket:
Aşınan elemanın, aşındıran elemana göre relatif hareketinin şekli (yuvarlanma, kayma, çarpma gibi), büyüklüğü ve doğrultusu ile açıklanabilir.
Bu ana faktörlerin alt basamakları tablo 1'de olduğu gibidir.

Yükleme ve hareket değişkenleri sistemi etkileyen önemli giriş büyüklüklerini meydana getirirler. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişmeler meydana gelirken sürtünme ve aşınma ile gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar (Tablo 1.2).

Tablo 1.2, Yüklemeye ve Hareket Değişkenlerinin Sistemi Etkilemesi (Czichos, 1977)

Başlangıç (giriş) büyüklükleri	Triboljik olay sırasında değişen faktörler	Sonuç büyüklükleri	
Sürtünme elemanlarının yapısı	Yüzey pürüzlüğü değişimi	Yapı değişimi	Sürtünme kuvveti
Yükleme	Ara maddesi özellikleri	Fiziksel kimyasal özellikler (mukavemet, iç gerilmeler)	Aşınma miktarı
Hareket	Sıcaklık değişimi		

2. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

Aşınma şekilleri, çeşitli şekillerdeki enerji büyüklüklerinin değişik kombinasyonlarına göre sınıflandırılabilir. Aşınma şiddetli ve hafif olabileceği gibi, parçanın maruz kaldığı etkilere göre mekanik, kimyasal ve termal olarak da sınıflandırılabilir. Yani; aşınma çifti arasındaki hareket aşınma cinsini belirler ki bunlara kayma, yuvarlanma, püskürtme, çarpma, yıkama aşınması gibi örnekler verilebilir. Olay sırasında bunların büyüklüğü, süresi (zaman ve kayma yolu olarak) hız ile de yüzeydeki sıcaklık değişimi saptanır.

2.1. Adhezyon Aşınması

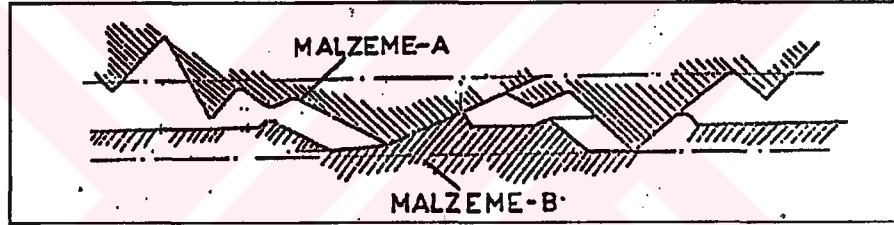
Adhezyon, sürtünme elemanlarının temas yüzeylerinde yüksek mekanik gerilmeler sonucu "mikro kaynak" bölgelerinin oluşması temeline dayanır. Yani birbiri ile temas halinde ve bağlı harekete sahip parçalardan birinden diğerine malzeme transferidir.

Kontakt halindeki noktada yüksek basınçtan dolayı meydana gelen soğuk kaynak bölgelerinin oluşması ve işlem sırasında bunların kopmasıdır. Tablo 1.1 de adhezyon aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi verilmiştir. Adhezyon aşınma; yüzeyi etkileyen normal yük, kayma yolu ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır (Tabor, 1987).

ÖZELLİKLERİ

ADHEZİV AŞINMA

Oksitli yüzey	Az
Kristal Yapı Kübik	Çok
Kristal Yapı Hegzagonal	Az
Yüksek Deformasyon Sertleşmesi	Çok
Yüksek Sertlik	Az
Yüksek Elastisite Modülü	Az
Yüksek Ergime Noktası	Az
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Az
Küçük Atom Yarıçapı	Az

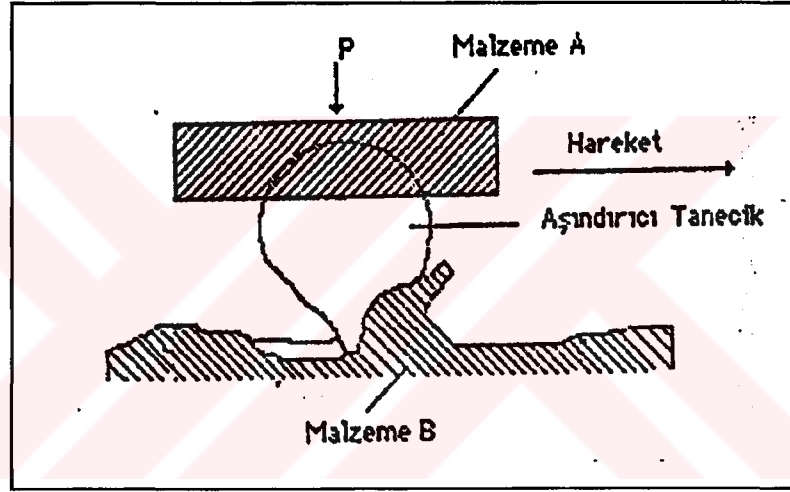


Şekil 2.1, iki elemanlı abrasiv aşınma

2.2. Abrasyon Aşınması

Abrasyon, sürtünme elemanlarının birbirini çizmesi ve "mikro talaşları" kaldırma olayıdır. Sürtünen malzemelerden kopmuş minyatür sert parçacıklardan dolayı çalışma esnasında oluşan aşınma tipine abrasiyon aşınması denir. Kopan bu sert parçacıklar yumuşak olan yüzeye gömülür ve karşı malzemeyi aşındırır (Soemantri, 1985). Abrasyon aşınması endüstri alanında kullanılan malzemelerde malzeme kaybının en büyük nedenlerinden birisidir. Abrasyon aşınma iki elemanlı ve üç elemanlı abrasiv aşınma olarak iki grupta incelenebilir (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).

Aşınma sonucu kopan parçacıklar ara malzeme görevi yapabilirler. Yada aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest taneler (ara malzemesi) bulunmasıyla aşınma gerçekleşebilir. Aşınma sonucu kopan parçacıklar üçüncü elemanı teşkil eder ve bu da ana malzemeden daha sert olduğu için aşınmayı hızlandırır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2, Üç elemanlı abrasiv aşınma

Abrasiv aşınmanın endüstri alanında en çok görüldüğü yerler:

- Değirmenler,
- Transport makinaları,
- Elekler,
- Cevher işleme ve öğütme tesisleri.

2.3.Erozyon Aşınması

Erozyon aşınma, akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Gazlar ve sıvılar akış sırasında parçanın dış yüzeylerinde çarpma ve akışkanda hacimca genişleme etkisi

yaparlar, bu darbeye yüzeyden parçacıkların kopmasına neden olurlar. Girdap etkisiyle dalga görünümlü bir yüzey meydana getirirler ki; bu da aşınmayı hızlandırır.

Gaz ve sıvı gibi akışkanların birlikte sürüklediği maddeler (buhar içerisindeki oksitler, su içerisindeki kumlar, hava içerisindeki tozlar) aşınmanın artmasına neden olurlar (Çelik, 1991).

2.4. Yuvarlanma Aşınması

Yuvarlanma aşınması, birbiri üzerinde yuvarlanarak hareket eden malzemelerde oluşabilecek aşınmadır. Bu aşınma tek bir malzeme de görülebilir. Bu da malzemenin cinsi ile yakından ilişkilidir. Aşındırıcı tanelerin Vickers sertliği 110-270 kp/mm² dir.

2.5. Yorulma Aşınması (pitting)

Sürtünme bölgelerindeki yüksek basıçtan dolayı yüzeyde çatlak oluşur. Bu çatlaklara giren sıvı yağlayıcı çatlağı ilerletir. İşte bu arada yüzeyde çukurcuklar oluşur. Bu yıpranma yorulma aşınması olarak bilinir. Bu aşınma türünde iç yapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar meydana gelir. Teknik uygulamada rulmanlı yataklarda veya dişli çarklarda daha çok görülür. Yorulma aşınmasını engellemek için yüzeylerin sertleştirilme işlemi yapılır (Antony, 1983; Black, 1968) (Şekil 2.3).

2.6. Triboksidasyon Aşınması

Aşınanan ve aşındıran malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan ötürü meydana gelir.



Şekil 2.3, Plastik deformasyon sonrası pitting oluşumu

2.7. Korozyon Aşınması

Malzeme, içerisinde bulunduğu ortamda kimyasal ve elektro kimyasal olarak etkileşirken malzemede gerçekleşen aşınma korozyon aşınmasıdır (Mecklenburg, 1975).

2.8. Yenim Aşınması

Hassas işlenmiş, birlikte çalışan makine parçacıklarının çok az hareketi ile yüzeyde deformasyon görülür. Temas noktalarında ortaya çıkan deformasyon sertleşmesi sonucu gevrek bölgeler oluşur. Gevrek bölgelerden parçacıklar daha kolay

koparlar ve buldukları yerde abrasyon aşınmasına neden olurlar.

2.9. Termal Aşınma

Sıcaklık etkisiyle hızlanan atomik hareketler malzemenin yumuşaması ve kısmen ergimesine neden olurlar. İşte bu arada gerçekleşen aşınma atomik aşınmadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta oksidasyon ve termal şok yine termal aşınmanın nedenlerindedir.

2.10. Kaviteasyon Aşınması

Sıvılar akış halinde iken, ani basınç düşmesi sonrası kabarcıkların veya boşlukların oluşması olayı kaviteasyon olarak adlandırılır. Hareket halindeki sıvı, darbe ile bu boşlukları kapatır. Gaz kabarcıklarının patlamasının neden olduğu basınç ve sıcaklık artışının ani olması ile kimyasal olaylar malzemeyi gevrekleştirir. Bu kimyasal tepkimeler malzemede çukurlaşmalar, küçük çatlaklar, plastik deformasyonlar gibi hasarlara yol açar.

2.11. Oksidasyon Aşınması

Malzeme yüzeyi hava ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde oksit ve diğer tabakaları meydana getirirler. Özellikle kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan malzemelerin yüzeyleri reaksiyona girerek aşınırlar.

3.AŞINMA MUKAVEMETİNİ ARTIRMA İŞLEMLERİ

Aşınmayı etkileyen en önemli unsur malzemenin kimyasal içerikleri ve temas yüzeylerinin sertliğidir. Malzemenin kimyasal bileşenlerinin birbirine yapışmayı azaltıcı özellikte olması ve korozyona karşı mukavim özellik aşınma miktarını azaltır. Sertlik arttıkça yüzeyden parça kopması azalacağı için mukavemet artar.

Malzemenin yüzey pürüzlülüğünün, etkilendiği kimyasal ve termokimyasal işlemlerinin aşınma miktarını arttırdığı bir gerçektir. Arzu edilmeyen bir durum olduğu için aşınma olayını azaltmak amacıyla bazı kriterlerin göz önüne alınması gerekir.

3.1. Pürüzlülük

Yüzey pürüzlülüğü arttıkça yükü taşıyacak olan gerçek alan azalır. Gerçek alanın azalması ile aşınma miktarı doğru orantılıdır.

Sürtünen iki yüzeyin arasındaki çekim kuvvetinin fazla olması, pürüzsüz bir yüzeyde aşınma artıklarının kalması adhezyon ve abrasyon aşınmalarını artırır. Sürtünme hareketinin yönü pürüzlülüğün yönüne dik ise aşınma miktarı azalır.

Pürüzlü yüzeyde temas alanı küçük olduğundan birim yüzeye etkiyen kuvvet büyük olacak ve aşınma daha fazla olacaktır. Yüzey pürüzlülüğünün artması aşınma miktarını arttıracaktır.

3.2. Sertlik

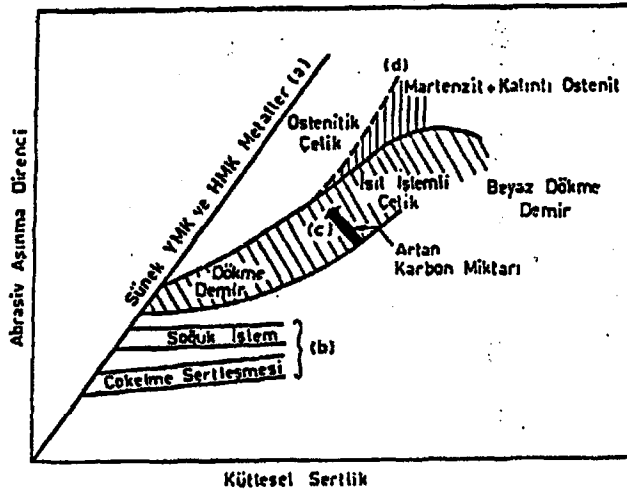
Malzemenin sertliğinin artırılması ile aşınma direnci artar. Yani sertliğin artırılması aşınma miktarını azaltır. Bu durum Şekil 3.1'de görülmektedir.

Sertleştirilmemiş malzemenin yüzeyinde deformasyon sertleşmesinin etkisinde mikro bölgeler oluşur. Oluşan bu kısımların kopması da mümkündür.

Abrasiv aşınma direnci genelde malzemenin sertliğine bağlıdır. Aşınma dayanımını artırmak için ısıl işlemle veya alaşımlandırmayla yüzey sertleştirilebilir.

Malzemenin sertliğiyle ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı ilişki vardır. Genelde alaşım elementleri malzemenin mukavemetini artırırılar (Larsen, J.A. 1990).

Isıl işlemin etkisiyle mekanik özelliklerde meydana gelen değişmeler de aşınma direncini etkiler.



Şekil 3.1, Sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi

Malzemenin mukavemetinin son işlemle veya çökelme sertleşmesi ile artırılmasının aşınma direncini de artırdığı bir önceki şekilde görülmektedir.

3.3.Tane Boyutu

Tane boyutu küçüklüğü ile malzemenin mukavimliği doğrudan ilişkilidir. Tane boyutu ne kadar küçük ise malzeme o kadar tok ve mukavemeti fazladır.

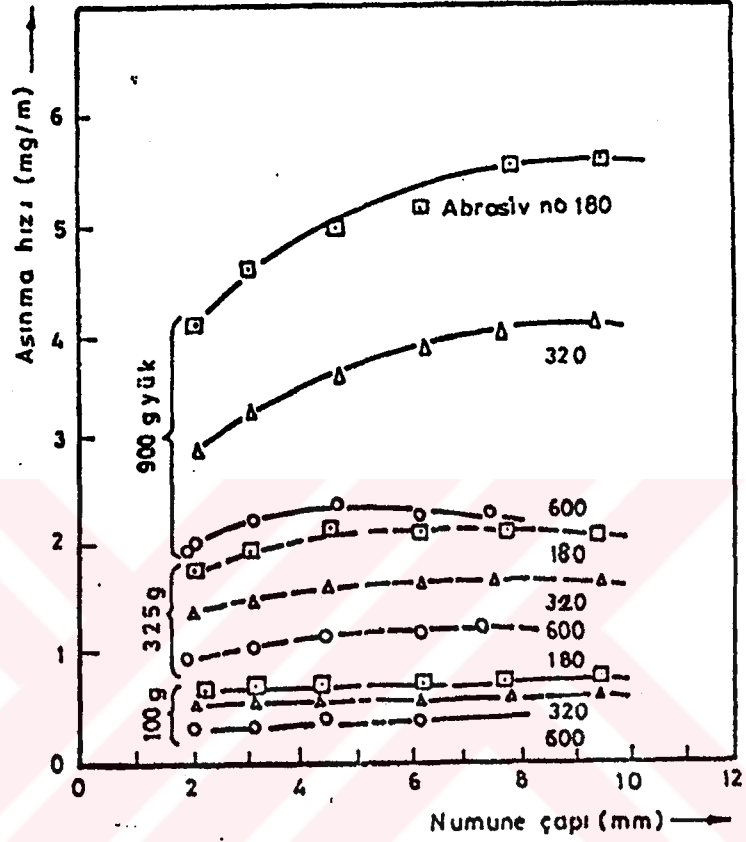
Malzemenin kristal yapısının sıkı paket yapıya sahip olması aşınma direncini artırır. Kobalt bu yapıya örnek verilebilir. Kobalt oda sıcaklığında sıkı paket yapıya hekzagonal kristal yapısına sahip iken aşınma direnci yüksektir. Bu metal ısıtılarak 417°C de kübik yüzey merkezli kristal yapısına dönüşünce aşınma direnci azalmaktadır (Çelik, 1991).

3.4. Malzeme Boyutu

Richardson'un yaptığı aşınma deneylerinde kesici uç kullanılmıştır. Bu kesici uçların aşınarak parabolik bir şekil aldığı gözlenmiştir. Parabolik ağızların aşınmaya karşı daha dirençli olduğu da belirtilmiştir.

Geometrik şekli ideal daireye yakın olan parçaların daha az aşındığı ve şeklini koruduğu tesbit edilmiştir.

Şekil 3.2' de numune çapının aşınma hızına etkisi görülmektedir (Moore, 1974).



Şekil 3.2, Numune çapının aşınma hızına etkisi

3.5. Yüzey İşlemleri

Malzemenin aşınma direnci, yüzey tabaka yapısıyla yakından ilişkilidir. Yüzeyde termo-kimyasal, kimyasal, elektro-kimyasal yöntemlerle oluşturulacak tabakalar beraber çalışan parçalar arasındaki sürtünme katsayısını ve tutunma özelliğini azalttığı için aşınma direncini artırır (Habig, 1989).

3.6. Ortamın Etkisi

Aşınma miktarına diğer bir etken de bulunduğu ortamdır. Atmosferde çalışan sistemlerde çevre şartları büyük etkindir. Bu etkenler çevre sıcaklığı, ortamın atmosferi ve atmosferdeki nem oranı olarak sıralanabilir.

3.6.1. Sıcaklık

Sürtünen yüzeyler arasında oluşan sıcaklık aşınmayı etkiler. Hafif aşınma bölgesinde artan sıcaklığın yüzey sertliğini düşürdüğü, oksidasyonu gerçekleştirdiği, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Aşırı aşınmada ise çevre sıcaklığının aşınmaya etkisi, yüzeyin özelliklerinin iyileştirdiğinden olumlu yönde olmaktadır. Bu nedenle; malzemelerin temel özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Yapılan araştırmalara göre; belli bir sıcaklık değerine kadar sıcaklığın aşınmayı etkilemediği ancak daha fazla sıcaklıklarda aşınmayı artırdığı ve ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin yüksek aşınma direncine sahip olduğu tesbit edilmiştir. Bu nedenle malzemelerin temel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Özellikle sürtünmenin istenmediği kaymalı yatak ve kızaklarda yatağın ısınması problem yaratır. Yatağın çalışma sıcaklığının düşük tutulması için, ısı iletim görevi yapan yağlayıcı maddenin kullanılması gerekmektedir. Ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin yüksek aşınma direncine sahip olduğu tesbit edilmiştir (Mecklenburg, 1975).

3.6.2. Atmosfer

Atmosferde bulunan oksijen malzeme yüzeyinde koruyucu olan oksit tabakasını oluşturur. Ortamda argon gibi soygaz kullanılır ise yüzeylerdeki oksit oranı azalır ve yüzeylerden oksit tabakalarının koparılmasından sonra bölgede adhesyon aşınmasının gözlenmesi mümkündür.

3.6.3. Nem

Atmosferdeki bağıl nem oranı aşınmayı etkilemektedir. Nem oranının artması sürtünme katsayısının azalmasına neden olacaktır. Sürtünme katsayısının azalması ile aşınma miktarı düşer.

3.7. Malzeme Seçimi

İki farklı malzemenin birbiri ile kaynak yapabilme özellikleri iyi değildir. Bu da adhezyon aşınmasına karşı direnci artıracağından birbirleri ile sürtünme halinde çalışacak parçaların malzemeleri farklı seçilmelidir.

3.8. Yağlama

Yağlama, aşınmaya karşı alınacak kolay ve ekonomik bir önlemdir. Kullanılan yağın kayma mukavemeti düşük olmalıdır. Yağ, kullanıldığı yerde korozif etki yapmamalı, malzeme

yüzeyinde oksit tabakası oluşturmamalı, özelliklerini uzun süre muhafaza edebilmeli ve sıcaklığa bağlı kalmadan görevini devam ettirebilecek özelliklere sahip olmalıdır.

Yağın oluşturacağı film kalınlığı, yüksek basınç kapasitesi, yağ filmi tutma, köpüklenmeme, alevlenme ve damlama noktasının düşük olması ile oksidasyon direnci, pas koruma, sızdırmazlık özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda makina ömrünü direkt etkileyen özelliklerdir.

Kullanılan yağ, sürtünen yüzeyler arasına girerek sıvı-malzeme sürtünmesini gerçekleştirir. Yataklarda olduğu gibi hareket hızının fazla olduğu yerlerde yükü yüzey arasında oluşan yağ filmi taşır.

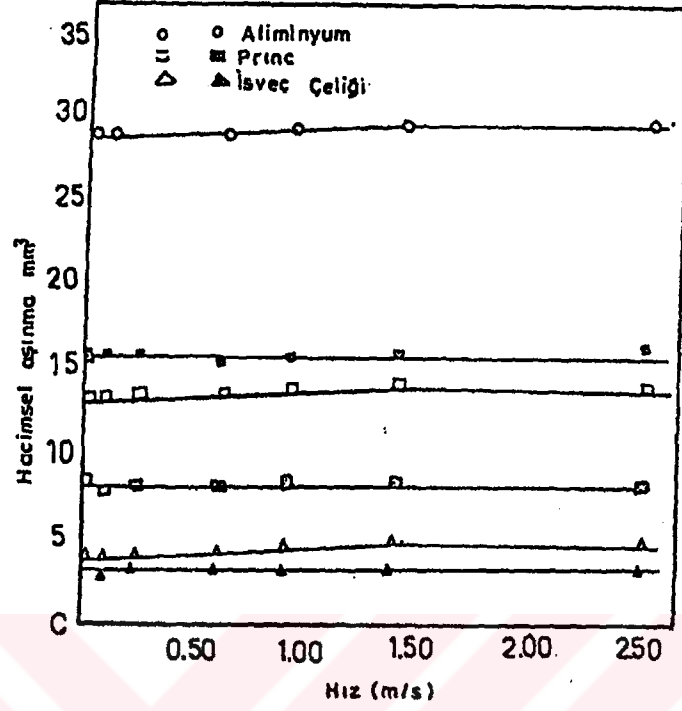
3.9. İşletme Koşulları

İşletme koşulları hız, kayma yolu ve yük başlıkları altında incelenebilir.

3.9.1. Hız, kayma yolu

Aşınma miktarı, şiddetli aşınma durumunda kayma hızı ile ters orantılıdır. Nedeni; sürtünen alanın azalması ve ısıdan dolayı sürtünme katsayısını düşürecek etki yapmasıdır.

Khruschoh ve arkadaşları 0-25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş yavaş arttığını, abrasiv aşınma sırasında sürtünme katsayısının, ancak uzun bir kayma yolunda sonra dengeye geldiğini tespit etmişlerdir. Şekil 3.3'de görülmektedir (Moore, 1974).



Şekil 3.3, Aşınma miktarına hızın etkisi

Tek yönlü kayma ve sabit hızdaki aşınma miktarı iki yönlü kayma ve değişken hızdaki aşınma miktarıyla kıyaslanınca daha az olduğu belirlenmiştir.

Düşük hızlarda ısınma önemli ölçüde olmayacağından aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı olmayacaktır.

Bir aşınma olayında hacim kaybı şu bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\Delta_v = C_1 \cdot P \cdot S$$

Δ_v : Hacim kaybı

C_1 : Malzeme sabiti

P : Basma kuvveti

S : Aşınma yolu

Bu bağıntıya göre hacim kaybı, basma kuvveti ve aşınma yolu ile doğru orantılıdır.

3.9.2. Yük

Uygulanan kuvvetin artması ile orantılı olarak aşınma miktarı da artacaktır. Çünkü; aşınma yüzeyinin etkileneceği yükün büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin ve sürtünme kuvvetinin artmasına neden olacağından, aşınmayı da artıracaktır.

Aşınma miktarının iki kat arttığı noktadaki yüke kritik yük denir. Araştırmalara göre kritik yük miktarına yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir şekilde değiştiği belirlenmiştir.

Kritik yükleme miktarı; aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak tanımlanır.

Kayma olayı süresince malzeme yüzeyindeki tabaka aşınır. Buna adhezyon aşınması adı verildiği önceden belirtilmiştir. Uygulanan yük miktarı arttıkça oksit tabakası aşınacak ve sürekli kendisini yenileme yoluna gidecektir. Bu olaylar sırasında şiddetli aşınma olayı gerçekleşecektir.

3.10. Zaman

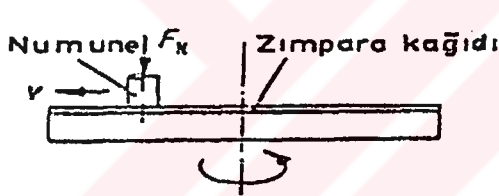
Malzeme yüzeyinin yorulması devir sayısına, toplam zamanla ve frekansla ilişkili olduğuna göre; yüzeyin aşınması da devir sayısı, zaman ve frekansın bir fonksiyonudur.

3.11. Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri

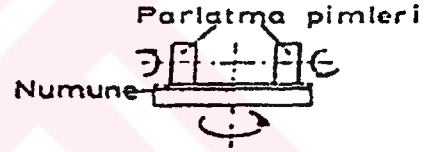
Sanayide aşınma etkisinde kalan alanda çalışan malzemelerde aşınmaya dayanıklılık özellikleri aranır. Aşınma direnci yüksek malzemelerin seçimi laboratuvar deneylerinin yapılması sonucu seçilir. Deneylerde ana malzemenin geometrik bir modeli ile çalışılır.

Aşınma deney yöntemlerinin en çok kullanılanları iki grupta incelenebilir.

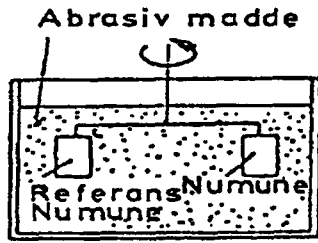
a-)Aşındırıcı olarak katı, sıvı ve gaz kullanımı sonucu yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneyler Şekil 3.4'de görülmektedir



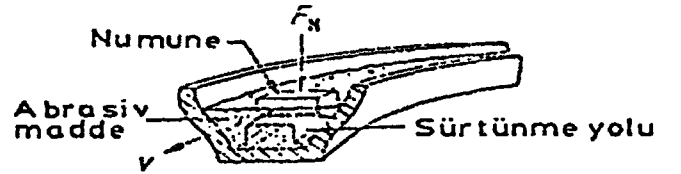
a) Aşınma diski



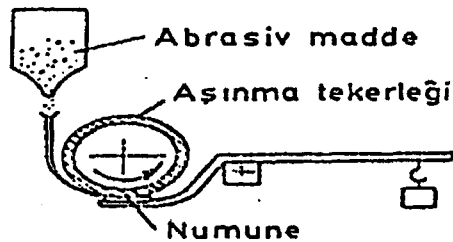
b) Aşınma tablası



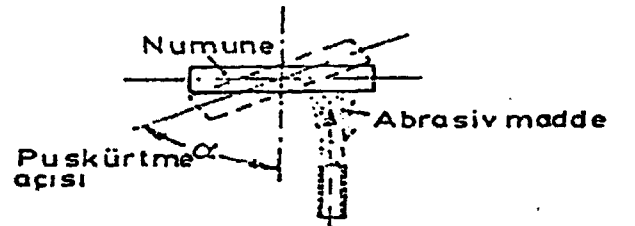
c) Aşınma kabı



d) Avery cihazı



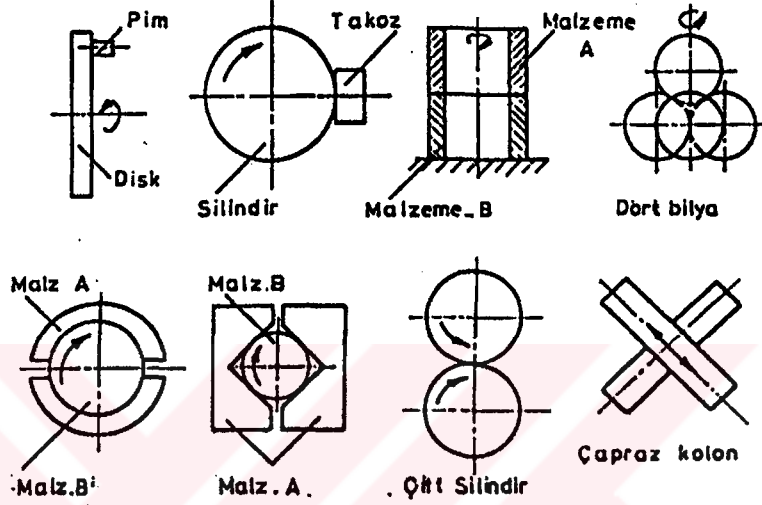
e) Aşınma tekerleği



f) Puskürtme lülesi

Şekil 3.4, Malzemelerin aşınma araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri

b-)Ara madde kullanılsın veya kullnılmasın (yağlamalı veya yağlamasız) ana ve karşı malzemenin aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5, Adhesiv (Metal-Metal) aşınma deney yöntemleri.

Aşınma deney sonuçlarında aşınmanın ölçüm yöntemleri olarak; ağırlık farkı, kalınlık farkı, radyoizotop ve iz değişimi yöntemleri kullanılabilir (Çelik, 1991).

3.11.1. Ağırlık farkı yöntemi

Hassas bir terazinin varlığında ekonomik olması dolayısı ile ençok kullanılan yöntem ağırlık farkı yöntemidir.

Bu alanda kullanılacak terazi 10^{-4} veya 10^{-5} gr. hassasiyetinde olmalıdır. Bu yöntemin dezavantajı, deneye başlamadan önce ölçü alınıp parçanın sisteme yerleştirilmesi ve her ölçümde parçanın sistemden çıkarılmasıdır.

Sürtünme yolu metre veya kilometre, aşınma miktarı miligram veya gram cinsinden kabul edilirse, birim sürtünme yoluna karşılık gelen kayıp mg/m, gr/km ile ifade edilebilir.

Ağırlık farkı ölçme yönteminde aşınma oranı (W_a), aşınma direnci (W_r) gibi bağıntılar kullanılır.

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.s} \text{ mm}^3/\text{Nm}$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm^3/Nm)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

M : Yükleme ağırlığı (mg)

s : Aşınma yolu (m)

d : Yoğunluk (gr/cm^3)

Aşınma direnci (W_r), aşınma oranının ters değeridir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \text{ Nm}/\text{mm}^3$$

3.11.2. Kalınlık farkı yöntemi

Deney öncesi numunenin alınan ölçüsü ve deney sonrası numunenin alınan ölçüsünün karşılaştırılmasıyla sonuçlanır. Kalınlık hassas ölçme aletleriyle +,-1µ duyarlıkta çalışılmalıdır.

3.11.3. Radyoizotop yöntemi

Bu metodun temeli; sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesidir.

Pahalı bir yöntem olması nedeniyle ancak özel durumlarda kullanılır. Bu yöntem ile gerçekleştirilen aşınmada aşınma miktarının büyük bir hassasiyetle ölçülebilmesi avantajdır.

3.11.4. İz değişim yöntemi

Çoğunlukla Vickers ve Brinell sertlik ölçme ucu kullanılarak sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon yöntemi ile, geometriğimsi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür (Anık, 1971).

3.12. Aşınma DeneYleri ve Genel İlkeleri

Kullanılmak üzere seçilecek malzemenin aşınma özellikleri malzeme seçiminde çeşitli zorluklar arz eder. Malzemelerin işletme şartlarındaki aşınma durumlarının, şartlardaki küçük değişmelerde bile farklı olabilmesi zorlukları artırır. Bu nedenle malzeme seçiminin uygun olup olmadığını işleme şartlarında kontrol etmek ve gerekli değişiklikleri yapmak gerekir. Şartları değiştirme ve elde edilen sonuçları genelleştirme imkanının sınırlı olması gözönüne alınırsa "model deneyi" yapılmasında yarar vardır. Malzeme seçiminin, malzeme işletme şartlarında kontrol edilerek ve gereken değişiklikler yapılarak sonuca varılması tercih edilir.

Amaca uygun geliştirilmiş aşınma setlerinde laboratuvar deneyi yapılır. Şartlardaki çok küçük bir değişme, aşınma özelliklerini etkilediği için sonuçların yorumlanmasına dikkat etmek gerekir.

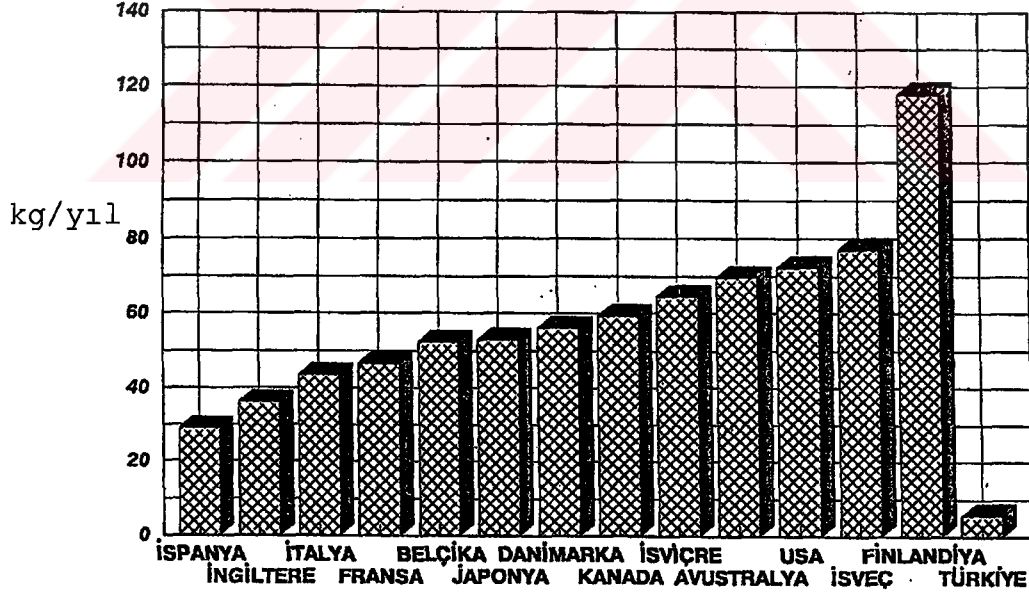
Aşınma etkisinde kalan parçaların kullanıldıkları yer ve şartların çok farklı olması birçok deney düzeneğinin kurulmasına neden olmuştur. Farklı kurulan deney düzeneğleri ile belirli koşullarda, (kayma hızı, sıcaklık etkileri, devire ve zamana bağlı, yüzey basıncı etkileriyle) aşınmanın gerçekleşmesini, değişim ve miktarını belirleme olanağı sağlar.

Kurulan deney düzeneğleri çoğu zaman aşınmanın nasıl gerçekleştiğini değil, şartlara göre nasıl değiştini tesbit etmek amacıyla kullanılmaktadır.

4. PLASTİK MALZEMELER

4.1. Dünya'da ve Türkiye'de Plastik Sanayiinin Gelişmesi

Bütün malzemeler arasında plastik malzemeler, son 15-20 yılda büyük üretim ve tüketim artışını göstermiştir. Amerika Birleşik Devletlerinde plastik üretimi 1930 yılında ortalama 23.000 ton, 1949 yılında 570.000 ton, 1959 yılında 2.730.000 ton olmuştur. 1975-1985 yılları arasında üretim 15.000.000 tondan 25.000.000 tona çıkmıştır. (Şekil 4-A) da Türkiye de kişi başına plastik tüketimi diğer ülkelerle mukayeseli olarak verilmektedir.



Şekil 4-A

Şekil 4-A'den da görülebileceği gibi plastik tüketimindeki artış bu rakama gelişmiş ülkeler düzeyine çıkaracak oranda olmamıştır (Başar, 1993).

Plastik hammadde talebi Türkiye'de 1950 yıllarında üst seviyeye ulaşmış ve hızlı artmıştır. Talebin çok büyük meblağlara ulaşması Türkiye'de 1965 yılında Petkim A.Ş. nin kurulmasına neden olmuş ve ilk ürün 1970 yılında alınmıştır. Türkiye'de plastik malzemelerin imal ve ithal edilen miktarı 1970'te 51821 ton, 1977'de 227196 ton, 1988'de 466000 ton olmuştur. Şekil 4-B'de temel plastiklerin tüketiminin yıllara göre dağılımı verilmektedir.

Plastik sanayinin hâlâ % 2.6 sı ihraç edilen plastik eşya üretiminin 1994'de hedeflenen % 4.5 değerine ulaştırması için, hammadde miktarının 466000 tondan 775000 tona çıkarılmasını sağlayacaktır.

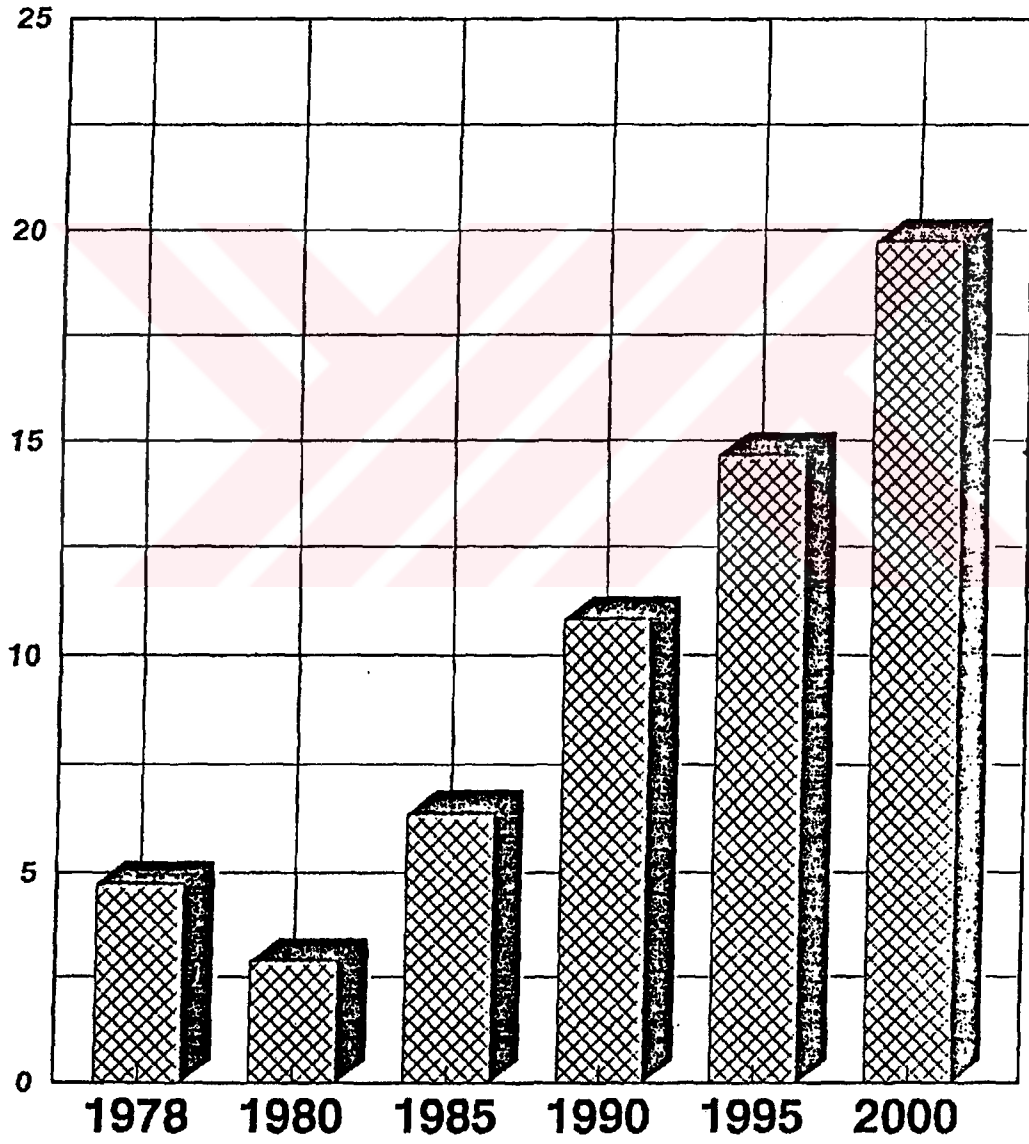
Altıncı beş yıllık kalkınma planında plastik sanayii üretiminin yılda ortalama 10.8 oranında artırılması amaçlanmıştır.

Plastik sanayinin halen % 2.6 sı ihraç edilen plastik eşya üretiminin 1994 de hedeflenen % 4.5 değerine ulaştırması için, hammadde miktarının 466.000 tondan 775.000 tona çıkarılmasını sağlayacaktır.

Plastik malzemeler tüm dünyada araştırma, geliştirme ve uygulama alanı bakımından hızlı bir gelişme gösterdiğinden, plastik malzemeler metallerin yerlerini alarak motor gövdeleri, uçak gövdeleri, otomobil gövdeleri, türbin kanatları gibi oldukça ağır koşullarda çalışan makine sistemlerinde ve evlerde kullanılan elektronik veya birçok eşya yapımında, inşaat alanında kullanılmaktadır.

Plastikler laboratuvarlarda elde eddikleri için mekanik, termik, çeşit, kalite, elektrik v.b. özelliklerini iyileştirme şansı fazladır.

**TÜRKİYE'DE PLASTİK TÜKETİMİNİN
YILLARA GÖRE DEĞİŞİMİ**
KG/KİŞİ/YIL



Şekil 4-B

Plastik malzemelerin üstünlükleri şöyle özetlenebilir;

- 1-Çok sayıda ve düşük maliyetle üretime uygundur.
- 2-Hafif olma özelliğinden dolayı kullanışlıdır.
- 3-Renk verebilme özelliklerinden dolayı kullanım alanı geniştir.
- 4-Korozyon direnci yüksektir.
- 5-İşleme sırasında artan parçaları tekrar kullanma, işlemi olanağı vardır.
- 6-Düşük sıcaklıklarda dayanımları iyidir.
- 7-Elektrik iletkenliğinin olmaması plastiğin elektrik alanında kullanımına olanağı tanımıştır.
- 8-Kimyasal dirençlerinin çok yüksek olması kullanım alanını genişletmiştir.

4.2. Temel Bilgiler

Malzemeler genel olarak dört ana grupta toplanabilir.

- 1-Metalik malzemeler,
- 2-Organik malzemeler,
- 3-Seramik malzemeler,
- 4-Kompozit malzemeler.

Kompozit malzemeler en az iki malzemenin bileşiminden oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemeler metal-organik, metal-metal, metal-seramik ikililerinden oluşabilirler. Organik ve seramik malzemeler metal dışı malzemelerdir. Organik malzemeler polimer diye bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar da karbonun metal olmayan elementlerle (hidrojen, klor, oksijen, azot gibi) meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir.

Polimerler, işleme esasına göre;

1-Termoplastikler,

2-Termosetler,

3-Plastomerler,

olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

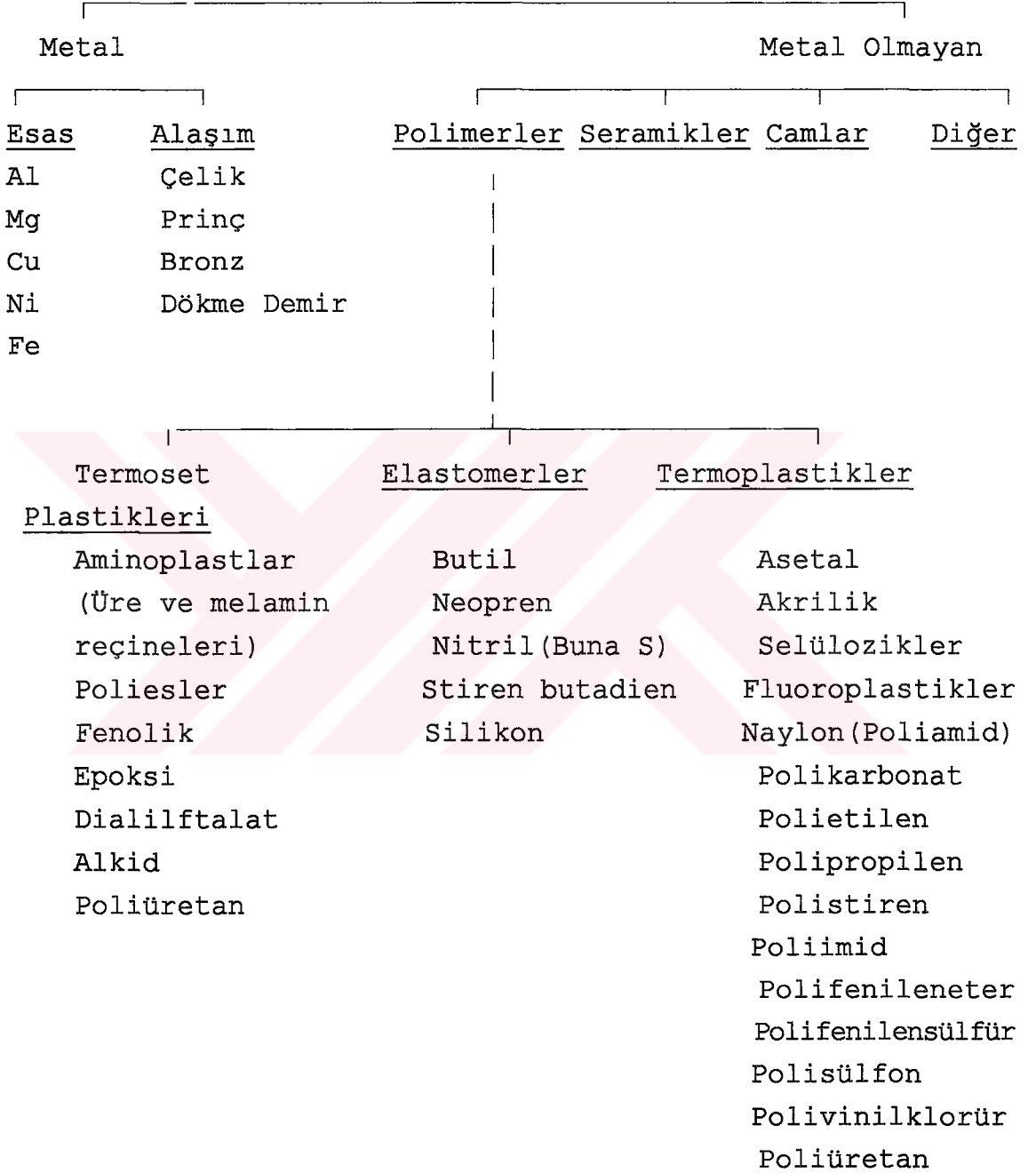
Termoplastikler ısı ve basınç etkisiyle yumuşayarak akan herhangi bir şekil alıp soğutulduğunda tekrar sertleşebilen plastiklerdir. İşlem tekrarlandıkça aynı yolu izlerler, ancak hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar.

Polimerler reaktörlerde polimerizasyon yoluyla elde edilirler. Yani; bu işlemin sonucunda temel moleküller yan yana yığılarak zincir şeklinde veya grup olarak bir yan ürün vermeksizin makromoleküller oluştururlar. Egzotermik reaksiyon sonucunda termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler; naylon, karbonflor, polietilen, selülozikler, akrilikler ve vinillerdir.

Termosetler ısı etkisiyle bir defa istenilen şekli alabilen, tekrar dış etkiyle şekillenemeyen plastiklerdir. Termosetler polikondansasyon reaksiyonu ile elde edilir. Polikondansasyon reaksiyonu; birçok temel moleküllerin düşük molekülü bir yan ürün ayrılarak bir makromoleküle dönüşmesidir. Yan ürün çoğunlukla su veya amonyaktır.

Şekil 4.1 de polimerlerin malzemeler arasındaki yeri gösterilmektedir.

Mühendislik Malzemesi



Şekil 4.1, Polimerlerin mühendislik malzemeleri arasındaki yeri.

4.3. Plastiklerin Genel Özellikleri

20. yüzyılın ikinci yarısında çeşit ve üretim sayısı bakımından artış gösteren plastiklerin kolay işlenebilir, hafif, elektrik ve ısı yalıtkanlığı, hafif, ucuz, dayanıklılık özellikleri onları uçak, makina, elektronik, elektrik, ev aletleri mobilya, tekstil, inşaat v.b. sanayiinde kullanımlarına olanak sağlamıştır.

Plastik malzemelerin davranış ve özelliklerine belli bazı başlıklar altında incelemek mümkündür.

a-) Plastik malzemelerin görünüşleri

Plastiklerin çoğu renksizdir. Ancak renk verici maddeler kullanılarak istenilen renk verilebilir. Çözünür organik boya kullanılarak şeffaf görünüş elde edilebilir.

b-) Plastik malzemelerin yoğunluğu

Plastik malzemeler metallere göre daha hafiftir. Kısmen su üzerinde yüzerler. Yoğunlukları $0.9-2.5 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Bu özelliğinden dolayı ağırlığın istenmediği alanlarda kullanımı daha elverişlidir.

c-) Plastiklerin iç yapısı

Plastik malzemeler kimyasal bileşikler olarak moleküler yapıdadır ve moleküller arası bağ zayıftır. Metaller atomar yapıdadır ve kuvvetli metalik bağa sahiptir.

d-) Plastik malzemelerin kaba yapısı

Plastik malzemelerde ana kütle doldurma maddeleri, boya ve kuvvetlendirici maddelerden oluşur. Metaller taneli yapı ve kalıntılardan oluşur. Bölgede toparlanma olamaz.

e-)Plastik malzemelerin alevlenme(yanma) özellikleri

Plastik malzemelerin kısmen alev alıcı ve yanıcı özellikleri vardır.Plastikler aleve karşı çok hassastırlar.Yanan plastiklerin yanma hızı aditif(yanmadan koruyan madde) kullanılarak yavaşlatılabilir.

Termoplastiklerin çoğu aşırı ısı ile karşılaşınca kullanılmaz hale gelirler.Bir plastik malzemenin alevlenme kabiliyeti yanmanın özel şartları ile ilgili birçok faktöre bağlıdır.Şöyle ki; plastikleştirici içermeyen katı PVC, alevden uzaklaştırılınca kendi kendini söndürür. Fakat plastikleştiricisiz köpük PVC alevden uzaklaştırılrsa da havada yanmaya devam eder.

Plastiklerin yanma özelliklerinin kıyaslanmasında ASTM 28.632 te standartlaştırılan Kritik Oksijen Indexi(COI) kavramına dayanan yöntem en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde oksijen-azot karışımı bulunan bir tüp içerisine bir şerit plastik daldırılarak tutuşturulur ve bekletilir. Alev süresince gaz karışımındaki azot-oksijen oranı azaltılır.İşte buradaki sabit yanmayı devam ettirebilen minimum oksijen miktarına kritik oksijen indexi denir. Hava içerisindeki oksijen miktarınının % 21 oksijen gazı olduğu düşünülürse; COI değeri bu değerden daha büyük olan polimerler kendi kendini söndürürler. COI değeri daha düşük olursa, malzemenin daha kolay alevlenme riski doğar (Akkurt, 1991).

f-)Plastik malzemelerde katılık

Plastik malzemelerin eğilme yumuşaklığı metallere daha fazladır ve bu olay sıcaklığa bağlıdır. Su boruları bu olayın kolayca gözlenmesine yardımcı olur.Isınan su boruları yumuşar, soğuk ile karşılaşınca katılaştır.

g-)Plastik malzemelerde yüzey sertliği

Plastik malzemeler metallere daha yumuşaktırlar. Bu özellik plastik malzeme için bir dezavantajdır. Termoplastiklerin sertliği sıcaklık ve katılan plastifiyan miktarının artmasıyla azalır.Ancak termosetlere dolgu maddesi eklenirse malzeme sertleşir.Bu şekilde sertleştirilen malzeme sıcaklığa mağruz kalsa da sertliğinden birşey kaybetmez. Ayrıca opak renklendirilmiş plastikler, yüzeyi boyanmış plastiklerden daha serttir.

h-)Plastik malzemelerin boyanma kabiliyetleri

Plastik malzemelere renk verme basit bir işlemdir. Renk verilmiş malzemenin dayanıklılığı boya tabakasıyla kaplanmış malzemenin dayanıklılığından daha iyidir.

ı-)Plastik malzemenin ısıl özellikleri

Plastik malzemenin ısı iletkenliği iyi değildir. Metallerin ısı iletkenliği 200-10.000 cal/san. $^{\circ}$ C*10⁴ aralığında iken plastik malzemelerin 2-8 cal/cm.san*10⁴ değerleri arasındadır. İşte plastiklerin ısıl iletkenlikleri düşük yüzeyde kaldığı için gerilme sonucunda artan sıcaklık malzemedeki ısı birikimine neden olur. Biriken ısıyla ısıl yorulma başlar. Bu olayı önleme ve ısıl iletkenliği arttırmak için plastik malzemelere metal tozları (bakır, alüminyum vb.) çeşitli elyaflar katkı madde olarak kullanılır.

Plastikler sıcaklığa karşı dayanıklı olmadığı için yüksek sıcaklıkta az yük altında kullanılmalıdır. Genellikle termosetler 150-230 $^{\circ}$ C da da sıcaklığa karşı dayanabilirler. Fakat daha yüksek sıcaklıklarda kömürleşirler.

Plastik malzemeler sınırını aşan sıcaklıkta ayrışırlar. Renk değişimleri ve gazların parçalanması ile kabarcıklar oluşurlar.

Plastik malzemeler ısıtılınca metallerin 5....15 katı daha fazla genişler. Plastik malzemeler ısı etkisinde kalınca metallerden daha hızlı ve daha fazla genişlerler(Anık, 1971).

j-)Plastik malzemelerin elektriksel özellikleri

Plastik malzemelerin elektriksel iletkenlikleri iyi değildir. Bir malzemenin iyi elektrik iletmesi için malzemenin yapısında hareket eden serbest iyon ve elektronların bulunması gereklidir. Oysa; plastik malzemenin yapısında zincirler sert ve bükülmezdir, yönelme olayları elektronların serbest hareketlerini engellediği için plastikler iletkenlik özelliği taşıyamazlar.

Plastik malzemeler iyi bir izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Plastiklerin hacimsel elektrik dirençleri 10^7-10^8 arasında değerler alır. Yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip plastik (PVC gibi) düşük frekanslı alanlarda yalıtkan olarak kullanılabilir.

k-)Plastik malzemelerin kimyasal dayanıklılıkları

Plastik malzemeler metal malzemelere göre, asitlere, tuz çözeltilerine ve bazlara karşı daha iyi dayanıklılık gösterir. Zayıf asit, alkali ve sulu çözeltilerde etkilenmezler. Ancak kuvvetli asit ve alkalilerden kimyasal olarak etkilenirler.

Polimerlerin kimyasal dirençleri polimerik yapıya, reaktif maddenin cinsine, sıcaklığına, uygulanan gerilmeye ve yüzey pürüzlüğüne bağlıdır.

Kimyasal ortam ile gerilmenin etkisi malzemenin yüzeyinde gerilmenin konsantre olduğu zayıf bölgeler meydana getirir. Eğilme gibi gerilmeler malzeme yüzeyinde çatlakların

doğmasına sebep olurlar. Kimyasal madde bir çatlak içine sızar ve kimyasal etkiyi başlatarak malzemenin bozulmasına neden olur (Akkurt, 1991).

1-) Plastik malzemenin hava ile etkileşim özellikleri

İklim şartları plastiğin renginin solması ve bozulmasına neden olur. Yağmur veya dolu erozyonu; aşınma ve hava kirliliği gibi etmenlerin bir araya gelmesiyle plastiklerin yıpranması gerçekleşir. Hava ile etkileşim, plastik malzemelerde kimyasal bozulma oluşturmaktadır.

Plastik malzemeyi havada en çok etkileyen ultraviyole radyasyonudur. Ultraviyole ışınları malzemenin gevrekleşmesine ve renk kaybının meydana gelmesine neden olurlar. Güneş etkisinde kalan borularda havanın olumsuz etkileri daha çok belirgin olarak gözlenir.

Plastik malzemelerin hava ve iklim etkilerine karşı dayanıklılığını arttırabilmek için kararlılaştırıcı (stabilizatör), oksit giderici (antioksidant) ve karbon siyahı gibi katkı maddeleri ilave edilir.

4.4. Plastiklerin Yapısı

Plastikler monomer adı verilen büyük molekülü yapıya sahiptir. Molekül boyutunun büyük olması malzemenin ısıl ve mekanik dayanımını artırır. Plastik malzemedeki büyük moleküler zincir şeklindedir. Bir monomerin polimerizasyon yoluyla başka monomer molekülleri ile birleşme işi ardışık devam eder, zincir şeklinde makromoleküller oluşturur. Kısaca olay şöyle özetlenebilir: Plastik malzemeler büyük zincir veya ağ moleküllerinden meydana gelirler.

Plastik malzemeler yüksek moleküler bileşiklerdir. Yapısını oluşturan zincir veya ağ şeklindeki moleküller de makromoleküller meydana getirir. Makromoleküller monomer adı verilen tek moleküllerden meydana gelirler. Plastikler büyük moleküllerden oluşan polimerlerdir.

Plastik malzemelerin temel yapısını oluşturan hidrokarbonların C_mH_{2m+2} formülündeki m sayısının artması demek, molekül boyutunun büyümesi ve buna bağlı olarak mekanik ve ısı etkilerine karşı direncinin artması demektir. Molekül ağırlığının artmasıyla malzemenin gazdan sıvı ve katı hale geçişi gerçekleşir. Cetvel 4.1. de görüleceği üzere metan (CH_4) bir gazdır ve molekül ağırlığı $12+4=16$ dır. Metanın karbon ve hidrojen ilaveleri yapılırsa örneğin; 2 karbon, 4 hidrojen ilave yapılsın. O zaman propan (C_3H_8) elde edilir. Propanın molekül ağırlığı $(12*3)+(1*8)=44$ olan daha ağır bir gaz elde edilir. Karbon ve hidrojen miktarının artırımına devam edilirse örneğin; pentan (C_5H_{12}) için molekül 72 olur. Pentan oda sıcaklığında sıvı haldedir. Karbon ve hidrojen miktarının artırımıyla moleküller sıvı halden daha ağır sıvıya ve katı hale geçerler. Parafini inceleyecek olursak parafinin ($C_{18}H_{38}$) molekül ağırlığı 244'dür ve parafin katı haldedir. Karbon ve hidrojen ilavesiyle alçak molekül ağırlığı polietilen ($C_{100}H_{202}$) elde edilir, molekül ağırlığı 1402'dir. Yine karbon ve hidrojen artımıyla 1000-5000 karbon içeren orta molekül ağırlıklı, 5000-50000 karbon içeren yüksek molekül ağırlıklı 500000 civarın CH_2 içeren çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenler elde edilebilir. En yüksek dayanım gücü olan çok yüksek molekül ağırlığına sahip olan polietilendir (Anık, 1971).

Tablo 4.1, CH₂ gruplarının ilavesiyle ağır moleküllerin oluşturulması

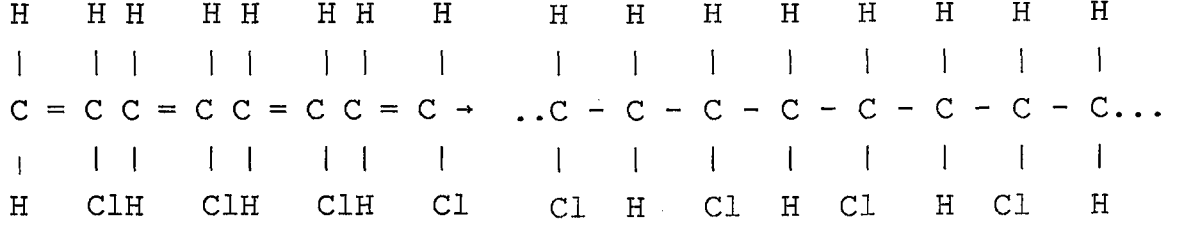
Adı	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı
Metan	CH ₄	16
Etan	C ₂ H ₆	30
Propan	C ₃ H ₈	44
Bütan	C ₄ H ₁₀	58
Pentan	C ₅ H ₁₂	72
Kerosen	C ₁₇ H ₃₆	240
Parafin	C ₁₈ H ₃₈	254
Sert balmumu	C ₅₀ H ₁₀₂	702

Belirli katalizörlerin olduğu ortamda monomerleri meydana getiren karbon çift bağları açılarak karbon atom çifti arasında bağ tek bağına dönüşür ve karbon atomlarının yanında birer serbest bağ bulunur. Serbest bağlar, başka monomerlerin serbest bağları ile bağlanarak zincir şeklinde bir yapı oluştururlar. Bu zincir uçlarının serbest uçları başta bulunan hidrojenlere ulaşıncaya devam eden reaksiyon sona erer. Bu arada zincir oluşmuştur. Oluşan zincirlerin tümü bir moleküldür. Polimer zincirini oluşturan monomer sayısı, polimerizasyon derecesi (DP) hakkında bilgi verir.

Polimerizasyon derecesi: Mer ağırlığının molekül ağırlığına bölünmesi ile elde edilir (Yıldırım, 1982).

$$DP = \frac{\text{MerAğırlığı}}{\text{MolekülAğırlığı}}$$

Vinil klorürün polivinil klorüre polimerize oluşundaki bağ değişiklikleri şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2, Vinil klorürün polimerize edilerek polivinil klorürün oluşması.

4.4.1 Molekül zincirlerin şekli

Görüldüğü üzere monomerler diğer monomerlere iki yanında bulunan birer serbest bağ ile birleşirler. Bu tip monomere bir fonksiyonel adı verilir. Her iki yanında birden fazla bağ bulunan monomerlere polifonksiyonel adı verilir.

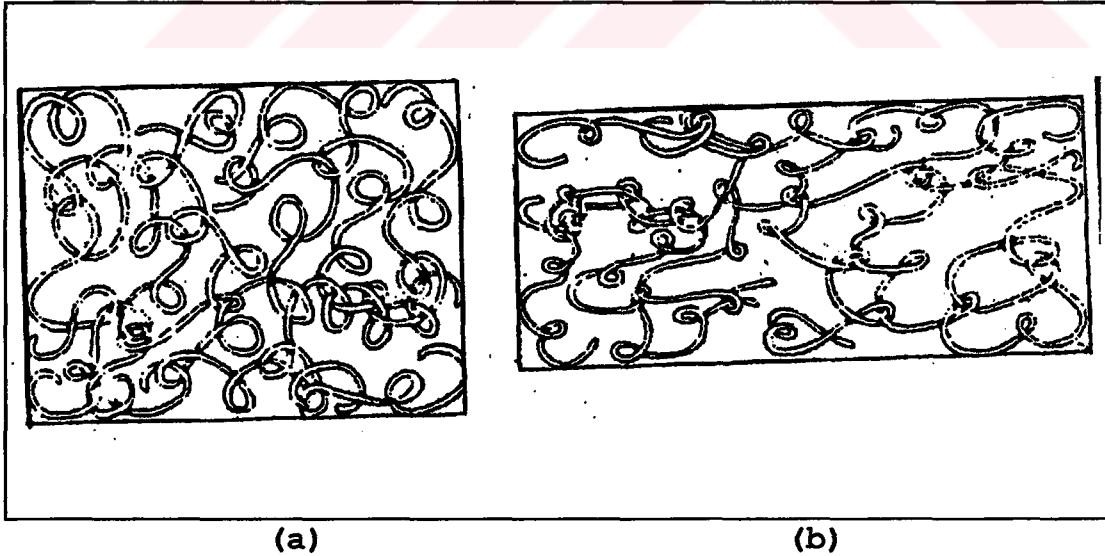
Bifonksiyonel monomerler zincir veya lineer şekilde moleküller meydana getirirler. Molekülün şekli monomerlerin fonksiyon sayısına bağlıdır.

Bifonksiyonel monomerlerin meydana getirdikleri moleküller lineer veya zincir şeklinde olurlar. Polifonksiyonel monomerlerin meydana getirdikleri moleküller düz lineer zincir, dallanmış lineer zincir şeklinde olurlar.

Molekül zincirlerin birbirine göre diziliş, tertiplenme şekilleri plastiklerin fiziksel yapısını meydana getirirler. Zincir yapıları kristalin ve amorf olmak üzere iki çeşit

olarak kendilerini gösterirler. Kristalin yapıda molekül zincirleri düzenlidir. Yapıda molekül zincirleri üç boyutlu bir düzeni andıran şekilde dizilirler. Soğutma sonucu sıvı halden katı hale geçildiğinde lineer zincirler birbirine daha çok yaklaştığından kristalin yapı oluştururlar. Lineer molekül zincir yapısına sahip plastik malzemelerde kristalleşme olayı daha kolay gerçekleşir.

Amorf yapıda molekül zincirleri düzenli değil; karışık şekilde bulunurlar. Dallanmış molekül zincirler birbirlerine çok yaklaşamadıklarından amorf bir yapı oluştururlar. Amorf yapıya sahip olan plastik malzemelerin bir çoğunda çekme zorlanmaların etkisi altında molekül zincirleri çekme yönünde yönelme gösterirler bu olaya yönelme özelliği denir. Yönelme özelliğine sahip amorf yapılar daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3, (a) yönelmemiş ve (b) yönelmiş amorf polimerin şematik gösterilişi.

4.4.2. Plastiklerin mekanik özellikleri

Termoset ve termoplastik plastikleri birbirinden molekül şekillerine göre ayırmak mümkündür. Termosetler üç boyutlu çapraz bağlı molekül yapısına, termoplastikler lineer molekül yapısına sahiptirler. Zincir moleküllerini birbirine yakın tutan Van-der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağları bulunabilir. Van-der Waals bağları 1 kcal/mol değerinde zayıf enerjiye; hidrojen bağları 10 kcal/mol değerindeki enerjiye sahiptir. Lineer molekül zincir yapısı gösteren bir termoplastik ısıtıldığında zincirler serbest hal alır ve malzemeye şekil verme kolaylaşır. Bu malzemenin ısı etkisinde moleküller arası bağın zayıfladığını açıklar. Ancak ısınan malzeme tekrar soğumaya bırakıldığında moleküller arası bağ tekrar kuvvetlenir. Fakat zincir şekli ilk hali gibi değil; son durduğu şekilde şekillenir. Aynı işleme devam edilir ve malzeme aşırı ısı altında tutulursa malzemede yıpranma, zincirlerde kayma olur.

Molekül zincirleri arası mesafe küçüldükçe, zincirler arası çekme kuvveti büyür. Çekme kuvvetinin büyümesi malzemenin daha dayanıklı olmasını sağlar. Lineer zincirli yapıya sahip malzemenin zincir yaklaşımları ile dallanmış zincir yapısındaki zincirlerin birbirlerine yaklaşımları aynı değildir. Lineer zincirler birbirlerine daha çok yaklaşabildikleri için sıkı paket bir yapı meydana getirirler ve aralarındaki çekme kuvveti daha büyük olur. Zincirler birbirine yakın olduğundan da yoğunluğu daha fazla olur. Dallanmış zincirler birbirlerine çok yaklaşamadıkları için gevşek paket amorf yapı oluştururlar ve aralarındaki çekme kuvveti zayıf kalır zincirler birbirinden uzak durduğu için böyle malzemenin yoğunluğu düşüktür.

Termoset plastikler üç boyutlu çapraz bağlı bir yapıya sahiptir. Bu bağ yapısı molekül zincirleri arasında kovalent

bağların kuvvetli olmasına neden olmuştur ve malzemenin dayanıklılığını artırmıştır.

Çok yüksek sıcaklıklarda bu bağların kopması mümkündür. Bağların kopması malzemenin eski halini alamayacak kadar yıpranması anlamını taşır. Bu plastikler ısıya dayanıklı malzemelerdir. Şekil aldırılan termoset plastik ısıtılıp, yeniden şekil aldırılmaz ve çözülemez. Böyle malzemelerin yıpranması zincirlerin kopması ifadesi ile eş anlamlıdır.

Yüksek enerjiye sahip hidrojen bağların zincirler arasında bulunması kristalleşme olayını kolaylaştırır. Monomerlerde polar grupların (C-Cl) bulunması zincirler



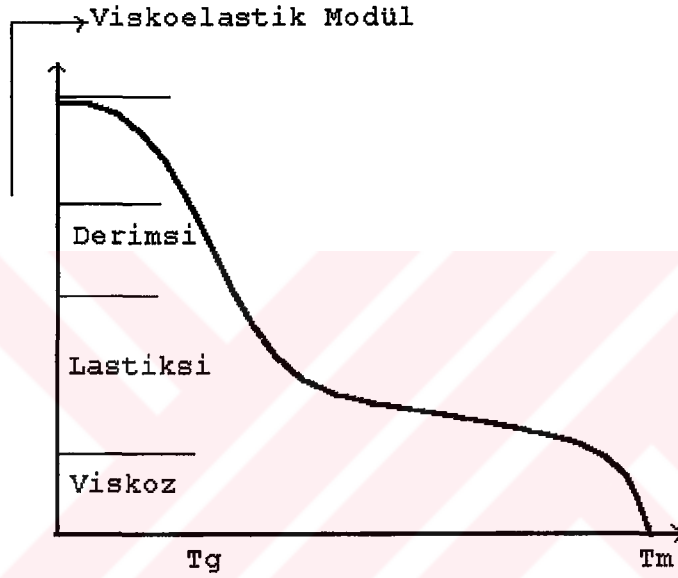
arası bağları kuvvetlendirir ve kristal yapının oluşumunu sağlar.

Plastiklerin elastisite modülleri metallerin % 1'i kadar çok düşük bir değere sahiptir. Plastikler de elastik ve plastik şekil değiştirme özelliklerine sahiptir. Oda ısısında plastiklerin bir kısmında sönme olayı olabilir. Kuvvete maruz kalan malzemenin zincir yapıları birbiri üzerinde kayar veya bağlar kopabilir, bir yandan da zayıf bağlar tekrar oluşur. Bu olay sabit yük altında yavaş ve sürekli tekrarlanır. Bu da plastiklerde sönme olayına neden olur. Böyle sürekli artan şekil değiştirmeye viskoz şekil değiştirme denir. Yük kalktıktan sonra zincir yapılırsa eski haline dönmek isterken elastik toparlanma olayı gerçekleşir.

Plastiklerin mekanik davranışını etkileyen bir başka faktör yüksek sıcaklık ve yükleme hızıdır. Yavaş artan yük altında kalan plastik malzeme, büyük ölçüde şekil değiştirir ve dayanımı azalır. Hızlı artan yük altında daha az şekil değiştirir ve mukavemeti yükselir.

Düşük sıcaklıkta plastik, gevrek ve rijit olabilir. Yüksek sıcaklıkta ise malzeme viskoz davranış gösterir.

Sıcaklık ve yükleme hızının etkisi şekil 4.4' da verilmiştir (Akkurt, 1991).



Şekil 4.4, Plastiklerde sıcaklık ve yükleme hızının şekil değiştirme direncine etkisi.

Şekil 4.4 de verilen elastisite modülü bağıl değer olarak belirli bir gerilmenin belirli bir süre sonunda oluşan şekil değiştirmeye oranı olarak bulunmuştur. İlişki değişik türdeki davranışı tanımlar.

Camsı duruma geçiş sıcaklığının altında amorf yapıllı plastikler gevrektirler. Parça eğilip de tekrar bırakıldığında çok ani yay hareketiyle ilk haline döner.

NOT: T_g : Camsı durma geçiş, T_m : Ergime sıcaklığı

T_{cam} sıcaklığının üstünde malzemede derimsi davranış gözlenir. Malzeme eğilince, şekil değiştirmesi az olur ve

tekrar bırakıldığında, çok yavaş olarak eski haline geri döner.

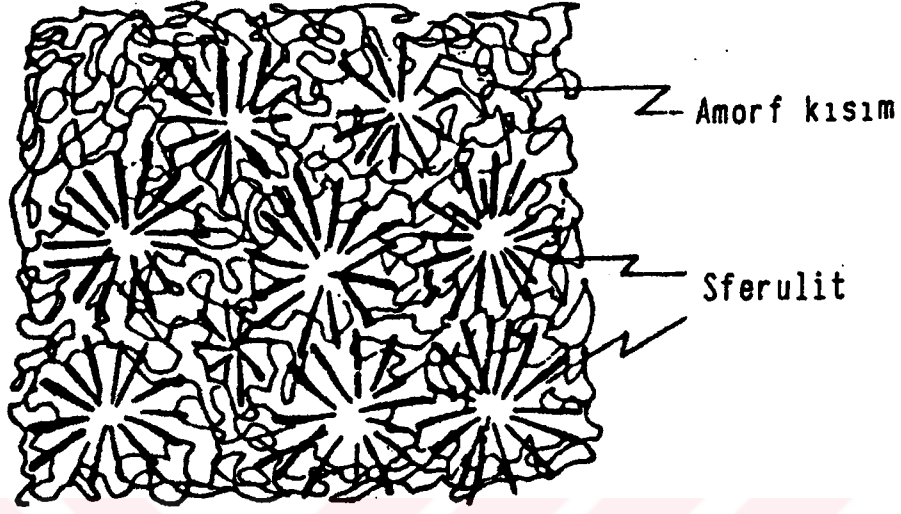
Lastiksi bölgede de hareketler tersinirdir. Malzeme kolay şekil değiştirebilecek kadar yumuşaktır. Malzeme eğilip bırakıldığında hızlı bir şekilde ilk şekli alır.

T_m ergime sıcaklığı üstündeki bölge sıvı bölgesidir. Bu bölgede toparlanma olamaz.

Sıcaklık etkisinde kalan, yumuşayan kovalent bağlar kopmaz, zincirler biri biri üzerinde kolaylıkla kayarlar. Aşırı sıcaklık nedeniyle H ve atom grupları kopabilir. Bu arada karbonlar siyah renk alırlar, bu olaya kavrulma denir.

Malzemedeki bağların etkisine daha önce kısaca değinildiği gibi, malzemedeki bağların sayısının fazlalığı ile yumuşama sıcaklığı orantılıdır. Molekül zincirlerinin sayısı, boyutu yüksek ise zincirlerin hareketleri daha çok kısıtlanır. Bunun içinde mukavemet ve şekil değiştirme direnci artar, sönme azalır. Moleküllerde dallanma yapı arttıkça şekil değiştirme direnci artacaktır.

Yüksek sıcaklıklarda molekül zincirini oluşturan üniteler arasında kopmalar meydana gelir ve plastik malzeme yıpranır. Buna da T_d yıpranma sıcaklığı denir. Camsı duruma geçiş sıcaklığı (T_y), ergime sıcaklığı (T_m) ve yıpranma sıcaklığı (T_d) sıcaklıkları plastiklerin kullanma alanlarını ve teknolojisini belirlemektedir. Amorf polimerler T_y sıcaklığı altında kullanılırlar, teknolojilerin T_g ile T_d sıcaklıkları arasında yapılır. Bu sıcaklıklarda yumuşak ve sıvı halde oldukları için kalıplara kolay dökülebilir. Malzeme T_m ve T_d arasında sıcak olarak, T_g - T_m sıcaklıkları arasında soğuk olarak şekillendirilebilir.



Şekil 4.5, Kısmikristalin polimerin yapısı

Polimerlerin kristalin yapısı tek fazlı bir yapı değildir. Hatalı kristalin, aralarında boşluklar bulunan hem kristalin yüksek veya alçak yoğunluklu amorf yapı içeren çok fazlı yapılarından meydana gelir. Böyle yapıya kısmi kristalin yapı adı verilir. (Şekil 4.5)

Kristalin yapı büyük çekme, sürünme, ısı mukavemetine ve yüksek bir yoğunluğa sahiptir. Daha rijid yapıya sahiptir. Yalnız yüksek ergime sıcaklığından dolayı teknolojisi zordur. Kalıplamada büyük bir şekil değiştirme yeteneği gösterir. Kristalin yapıya katkı maddeleri ilave edilerek yapının özellikleri değiştirilebilir. Amorf yapı düşük yoğunluğa, ergime sıcaklığına ve çekme mukavemetine sahiptir ve yumuşaktır. Bu yapının teknolojisi daha kolaydır. Kristalin yapıda katkı malzemelerle yapı özellikleri değiştirilebilirken amorf yapıda katkı malzemeler yapının özelliğini değiştirmez.

Kısmi kristalin plastiklerin özellikleri yapıda bulunan kristalin fazının yüzdesine bağlıdır. Bu yüzde ifadesi kristalinite derecesi (K_v) olarak ifade edilebilir. Kristalinite derecesi;

$$K_v = \frac{P_v - P_a}{P_k - P_a} * 100$$




bağıntısı ile hesaplanabilir. Bağıntıda;

- P_v : Kristalinite derecesi belirlenen polimerin yoğunluğu,
- P_a : Tamamen amorf polimerin yoğunluğu,
- P_k : Tam kristalin polimerin yoğunluğudur.

Plastik malzemenin kristalinite derecesi yükseldikçe malzeme kristalin yapının özelliklerini, azaldıkça amorf yapının özelliklerini kazanır.

Kristalinite derecesi soğutma hızı ile kontrol edilebilir. Malzeme hızlı soğutulunca kristalleşme oldukça azalır ve bunun sonucu olarak bazı plastiklerde tamamen amorf bir yapı meydana gelebilir. Kristalinite derecesi kopolimerizasyonda kontrol edilebilir. Kopolimerizasyon molekül zincirinin simetrisini bozduğundan kristalleşme kabiliyetini azaltır ve esnek bir malzemenin meydana gelmesini sağlar. Kristalin yapı çoğunlukla polimer çözelti veya eriyiğin soğutulması ile oluşurlar. Polimer elyaflarında olduğu gibi; bazı plastiklerde çekme kuvvetinin etkisiyle uzadığı zamanda da bir kristalleşme görülür. Bu olay sonucu oluşan yapıya yönlendirilmiş kristalin yapı denir.

Tablo 4.2, Termoplastiklerin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri (Akkurt, 1991).

Polimer ve tekrarlanan Ünite	Durumu	T _g °C	T _m , °C	Yoğunluk
Polietilen [-CH ₂ -CH ₂ -] _n	Dallanmış (%60 kristalin)	-120	115	0,91-0,93
	Lineer (%95 kristalin)	-120	138	0,94-0,965
Polipropilen [-CH ₂ -CH-] _n CH ₃	İzotaktik %60 kristalin	-10	176	0,90-0,906
Polistiren [-CH ₂ -CH-] _n 	Ataktik (amorf)	100	-	1,04-1,09
	İzotaktik (%50 kristalin)		239	
Poli (vinil klorür) [-CH ₂ -CH-] _n Cl	Genellikle amorf	87	212	1,35-1,45
	Kristalin- syndiotaktik		273	
Poli (viniliden klorür) [-CH ₂ -CCl ₂ -] _n	%75 kristalin	-19	190	1,65-1,72
Politetrafluoretilen [-CF ₂ -CF ₂ -] _n	%85 kristalin	-120	327	2,13-2,18
Polikaprolaktam (Naylon 6) [-N-(CH ₂) ₅ -C-] _n H	Kristalleşme		225	1,13-1,14
Poli (m-fenilen izoftalamid) Aromatik Naylon (Korex) [-N-  -N-C-  -C-] _n H	Kristalin		360	1,3

Tablo 4.2, Devam

Polimer ve tekrarlanan Ünite	Durumu	T _g °C	T _m °C	Yoğunluk
Poli (etilen tereftalat) $\left[\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ -\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}- \end{array} \right]_n$	%60 kristalinite	69	267	1,10-1,46
Polioksimetilen (Asetal reçine) $[-\text{CH}_2-\text{O}-]_n$	kristalin	-76	180	1,425
ABS Akrilonitril-butadien-stiren	Amorf	71-112		1,01-1,07
SAN Stiren-akrilonitril	Amorf			1,07-1,08
Poliimid $\left[\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \\ -\text{N} \quad \text{N} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	Kristalleşme		377	
Poli (klortrifluoretilen) $\left[\begin{array}{c} -\text{CF}_2-\text{CF}- \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Kismikristalin	45	210	2,09-2,14
Poli (vinilasetat) $\left[\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \right]_n$	Amorf	29		
Poli (vinilalkol) $\left[\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{OH} \end{array} \right]_n$	Amorf	85		1,19-1,31
Poli (metilmetakrilat) $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Ataktik (amorf) Syndiotaktik (kristalin) İzotaktik (kristalin)	105 120 45	200 160	1,17-1,20

Plastik malzemenin yapısı kısmi kristalin, kristalin, yönlendirilmiş kristalin, amorf, yönlendirilmiş amorf olabilir. Çoğunlukla amorf halden kristalin yapıya doğru malzemenin ergime sıcaklığı, çekme ve sürünme mukavemeti, rijitliği artarken teknolojisi zorlaşır.

Bazı termoplastiklere ait monomerlerin kimyasal formülleri, zincir yapısı (T_g) camsı duruma geçiş sıcaklığı, ergime sıcaklığı (T_m) ve yoğunluğu cetvel 2.4'de verilmiştir.

4.4.3. Plastiklerin molekül ağırlığı

Plastiklerin molekül ağırlıkları zincir uzunlukları ile orantılıdır. Malzemenin molekül ağırlığı, yine o malzemenin mekanik özelliklerini ve bağ kuvvetlerini etkilerler.

Polietilen veya polivinil klorür gibi bir malzeme küçük moleküllerden yapıldığı zaman sonuçta elde edilen moleküllerin hepsi aynı büyüklükte olamaz.

Sayica ortalama molekül ağırlığı (M_n) ve ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı (M_w) molekül ağırlığı tayininde kullanılanlardır.

$$M_n = \Delta P_{(n)} = \frac{W}{\sum n_i} = \frac{\sum n_i * M_i}{\sum n_i}$$

bağıntısıyla sayica ortalama molekül ağırlığı hesaplanabilir.
burada ;

-W ; Numunelerin toplam ağırlığı,

- n_i ; Ortalama molekül ağırlığı,

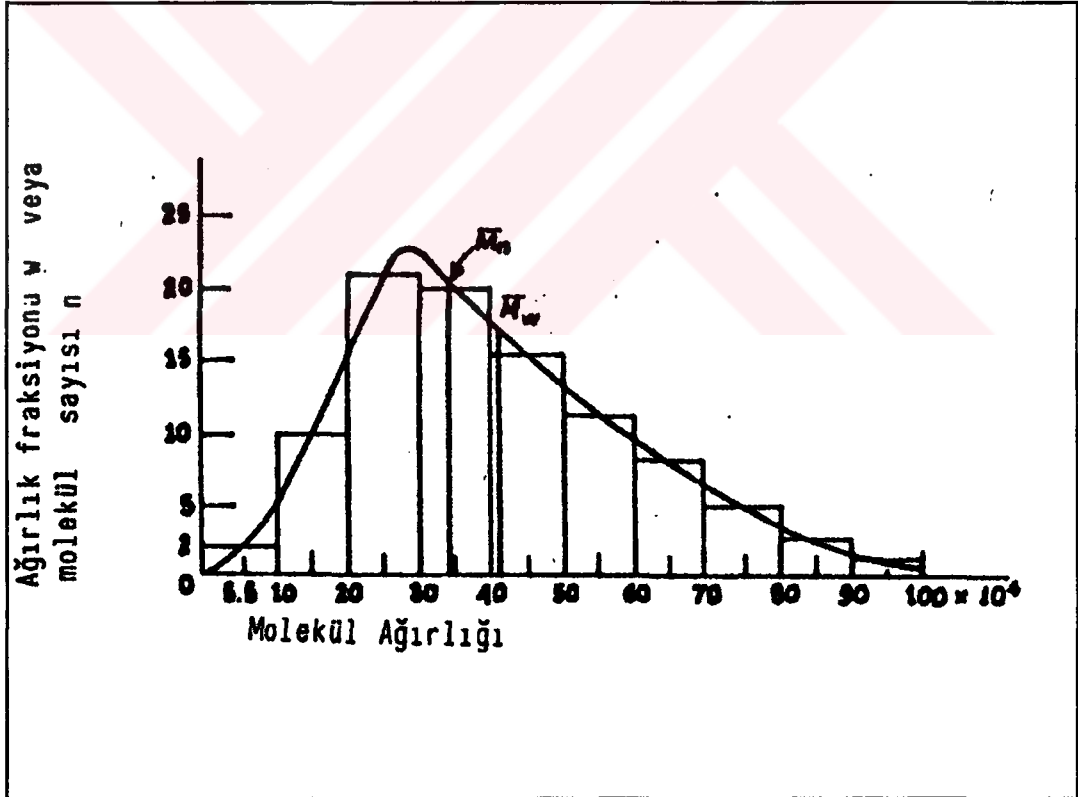
- M_i ; i fraksiyonunda zincir sayısıdır.

Polimer numunesinin ağırlığının numunede bulunan molekül sayısına oranı ayrıca ortalama molekül ağırlığının değeridir.

Ağırlıkça ortalama molekül ağırlığı (M_w) aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır

$$M_w = \frac{\sum W_i \cdot M_i}{\sum W_i} = \frac{\sum n_i \cdot M_i^2}{\sum n_i \cdot M_i} \cdot \frac{gr}{ort.mol.a\ddot{o}.}$$

- W_i ; Polimer zincir fonksiyon ağırlıkları ,
- M_i ; Moleküler ağırlık.



Şekil 4.6, Molekül ağırlığının dağılımı.

Polimer zincir fonksiyonlarının W_i ağırlıklarını ve M_i moleküler ağırlıklarının çarpımının polimer numunesinin toplam ağırlığına oranı ağırlıkça ortalama molekül ağırlığını verir.

Polimerlerin özellikleri molekül ağırlığının değerine bağlı olduğu gibi polimeri oluşturan zincirlerin molekül ağırlıklarının dağılımına da bağlıdır. Malzemenin iyileştirilmesi tam dağılımla ilişkilidir.

Şekil 4.6'da molekül ağırlığı dağılımının sayıca ve ağırlıkca fraksiyonunu gösteren eğri verilmektedir. Ağırlıkca molekül ağırlığı (M_w) değerinin, sayıca ortalama molekül ağırlığına (M_n) oranının bire yakın değerde olması dar bir dağılımı, oranın 3-10 arasında bir değer alması geniş bir dağılımı göstermesi demektir.

4.4.4 Katkılı Plastikler

Plastiklerin dayanıklılığını arttırmak ve bazı özelliklerini iyileştirmek için, malzeme bir veya daha fazla katkı maddeler ile harmanlanarak, ona istenilen özellik kazandırılır ve gerekli işlem yapılır. Katkı malzemesi olarak; dolgu malzemeleri, renk verici, yağlayıcı, karbon veya cam elyafları, başka polimer reçineleri, yumuşatıcılar, karalılaştırıcılar (stabilizatörler), aleve karşı katkıları, reaksiyon hızlandırıcılar (katalizörler) kullanılabilir.

Katkı maddeleri ana malzeme ile harmanlanırken bunlarda bazı özelliklerin bulunması gerekir.

- Harmanlama mekanik bir işlemdir. Kullanılan polimerlerin kimyasal bağları bu olay için önemli değildir.
- Harmanlanan ana polimerin fiziksel, teknolojik veya mekanik özelliklerinden en az bir tanesi iyileştirilmelidir.
- Harmanlanan polimerlerin genel karışımları yarı yarıya (%50-%50) olması idealdir. Miktarı en az % 25 olmalıdır.
- Harmanlama sonucu elde edilen karışım polimerinin camsı durumuna geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklığı, kimyasal bakımdan biri birine uygun polimerlerde camsı duruma geçiş

sıcaklığının arasındadır. Kimyasal bakımdan uygun olmayan polimerlerde harmanlanan polimerin en düşük camsı duruma geçiş sıcaklığında daha küçüktür.

Harmanlama işlemi;

- İnterpolimerizasyon,
- Fiziksel harmanlama,
- Aşılama (graft) polimerizasyonu.

İnterpolimerizasyon harmanlama işleminde katalizör organik peroksitler kullanılmaktadır. Bu işlem lastiğin stiren çözeltilisinin polimerizasyonunu içermektedir.

Fiziksel harmanlamada birbirine uygun olmayan polimerler birlikte öğütülür ve kendi yumuşama sıcaklığı içerisindeki sıcaklığa kadar ısıtılıp sonra soğutulursa; iki fazlı bir sistem elde edilir. Bu fazların yarıları farklıdır. Birisi matrisin içinde yayılmış küresel, lamel (yaprağımsı), silindir biçiminde diğer polimerin parçacıklarıdır. Diğer faz ise sürekli matris şeklindedir. Faz içerisindeki parçacıkların boyutları 1-20 µm arasında olan parçacıklar malzemeye çok iyi tokluk özelliği kazandırır.

Birbirine uygun olmayan polimerlerin harmanlanması için aşılama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile polimer matrisler iç içe nüfuz ederler. Uyum içerisinde olmayan polimerleri içerisine, her iki bileşenle de uyuşan üçüncü bir malzeme kullanılabilir.

4.4.5. Katkı maddelerinin tesiri

Polimerlerin birçoğu katkı maddeleri ile beraber işlenirler. Katkı maddeleri işlem sırasında veya hazırlanmış parçada istenilen özellikler yaratmak amacıyla kullanılırlar

Bazı katkı maddeleri yanma esnasındaki davranışı düzeltir, alev alma yeteneğini etkiler, elektrostatik yüklenmeye bağlı olarak toz parçacıkların çekilmesini azaltır, mikropları öldürür. Son çalışmalar katkı maddeleri ile ışığın tesirini arttırma yönünde olmuştur. Bu tip polimerler ışığın tesiri ile belirli bir süre sonra parçalanırlar, böyle polimerler paketleme endüstrisinde kullanılmaktadırlar.

4.4.6. Plastiklerde kullanılan katkı maddeleri

Plastiklerin özelliklerini iyileştirmede kullanılan katkı maddeleri dolgu ve elyaf şeklinde olabilir. Dolgu takviye sistemi kullanımında plastik maddenin maliyetini düşürmesi amaçlanmıştır. Dolgu malzemeleri, yeni oluşan malzemenin mekanik özelliklerini azaltır. Dolgu malzemesi arttıkça plastiğin mekanik özelliği zayıflar. Yalnız mika, CaCO_3 gibi mineral haldeki dolgu maddeleri yeni oluşan malzemenin ısı iletkenliğini artırır, soğutma süresinde şekil değiştirmeleri azaltır. Dolgu malzemeleri olarak lifli ve lifsiz (asbest, kağıt, mika, silikat, kil, talk, CaCO_3 gibi) bileşikler kullanılır.

Elyaf takviye sistemi pahalı bir sistem olmakla birlikte plastik malzemenin ısı ve darbe mukavemeti, çekme dayanımı, boyut kararlılığı gibi özelliklerini iyileştirir. Elyaf şeklinde karbon, cam ve aramid gibi bileşikler kullanılmaktadır.

Plastik malzemelerin birçok özelliğinin yanısıra mukavemet özelliklerini iyileştirmek için elyaf takviye sistemi kullanılmaktadır. dolgu takviye sistemi kullanılmış malzemedan iyi sonuç alınabilmesi için malzemelerin tane tane büyüklüğünün küçük olması ve buna bağlı olarak malzeme içerisinde homojen dağılmalıdır.

Tablo 4.3, Katkı maddelerinin etkileri ve sonuçları.

Tesir	Katkı Maddesi	Özellik veya Davranış Değişikliği
Kimyasal	Stabilizatör Katalizatör	Işığa ve ısıya dayanıklılık artar
Boyayan	Ağır metal bileşikler	Parçaların tümüyle boyanması
İşlenmeyi kolaylaştırıcı Hızlandırıcı	Kaydırma ve kalıp ayırma maddeleri Ayrışma maddeleri	Sürtünmenin azalması, kalıptan daha kolay çıkarma, köpük maddeleri, yapısal köpüğe sahip yapı parçaları. Kısaca; sıkı bir yüzeye ve hücreli bir çekirdek yapısına sahip parçalar.
Kuvvetlendirici	Lifler, raylar, doku, cam lifleri, asbest, tekstil ürünleri, kağıt, tahta	Katılığın artması, ısı dayanıklılığı, süreklilik, snizotropi, ısı genleşmenin azalması
Uzamaya yardım edici	Tahta ve mineral tozu, tebeşir	Aktif değil, ucuzlatıcı

Elyafaların kuvvetlendirici olarak kullanılmasında Şu faktörlerin de kullanılmasının göz önüne alınması gerekir.

- Elyafın matris tarafından iyi ıslanma kabiliyeti:

Elyaf, reçine tarafından ıslatılmalıdır. Aksi olur ıslatılmazsa, reçine ve elyafın temas yüzeylerinde boşluklar meydana gelir. Oluşan bu boşluklar temas halindeki yüzeyi ile olan bağları zayıflatır. Elyafalar uygun malzemedен ince bir film ile kaplanır.

- Matris ile elyafın temas yüzeyinde kimyasal reaksiyonun olmaması:

Elyafaların kaplandığı malzemelerin kimyasal bakımından kararlı olması ve matris ile reaksiyona girmemesi gerekir.

- Elyafın iyi yüzey karakteristiklerine sahip olması:

Cam elyaf belirli bir reçine ile kaplanabilir. Alüminyum elyafı epaksi reçine matris ile kullanıldığı zaman kaplanmaz. Karbon elyafı kaplanmaz. Burada elyaf ile matris arasındaki bağ, karbon elyafının yüzey özelliğine bağlı kalarak, onun mekanik özelliğini taşır.

4.4.7. Termoplastiklerin Kuvvetlendirilmesi

Termoplastikler çoğunlukla mineral karbon, aramid, cam elyafaları ile kuvvetlendirilirler.

4.4.7.1 Karbon elyafı ile kuvvetlendirme

Karbon elyafalarının çoğu selüloz ve naylon gibi organik polimer elyafalarının karbonizasyonu ile elde edilir. Elyafın özelliklerinin iyileştirilmesi için karbonizasyon işleminin 1000°C'de yapılıp 1500°C-2500°C'de ısıl işleme tabi tutulmasında yarar vardır. Bu işlem sonucunda elyaf gözenekli bir yapıya (poroziteye) sahip olur. BileŐik içerisindeki

karbon eltaf yönlenmiş veya gelişigüzel yerleştirilmiş, kısa, uzun veya sürekli olabilir.

Kuvvetlendirme amacıyla kullanılan elyafların da üstünlükleri ve mahsurları vardır. Sürekli karbon elyafı bileşime en iyi özellikler kazandırır. Uzunluğu yaklaşık 50 mm olan uzun kırılmış elyaflar çoğu zaman malzemenin rijitliğini artırır. Sürekli karbon elyafı bileşiğin özelliklerini en iyi duruma getirir.

Kısa elyaflar ucuzdur, ancak kuvvetlendirilmiş plastiğin özellikleri uzun veya sürekli elyaflarda elde edilenden daha zayıftır. Öğütülmüş karbon elyafı çok kısadır, uzunluğu ortalama 0,3 mm ve L/D oranı 30'olur.

Karbon kuvvetlendiricilerin genleşme katsayıları düşük, kalıplanma özelliği zayıftır. Fakat cam kuvvetlendiriciler ile kıyaslanınca onların 2-4 katı daha pahalı olmakla birlikte; malzemenin, sürünme, çekme, tokluk, yorulma ve aşınma dayanımını iyileştirmektedir. Mukavemet/ağırlık ve rijidlik/ağırlık oranları idealdir. Kullanılan karbonun miktarı malzemenin özelliklerini etkiler. Karbon ayrıca plastiğe elektrik iletkenliği özelliği verdiği için, bünyesinde yüksek karbon bulunan plastik malzemede elektronik aletlerin çeşitli aksamalarında (bilgisayar, hesap makinaları gibi..) aşınma ve sürtünme özelliklerini iyi olması avantaj kabul edilerek kızak, yatak gibi hareketli parçaların yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, askeri araçlarda, uzay araçlarında, uçak ve tenis raketleri yapımında v.b. alanlarında kullanılmaktadır(Akkurt, 1991).

4.4.7.2. Cam elyaf ile kuvvetlendirme

Cam elyafı denince, % 7.3 B₂O₃ , % 14.8 Al₂O₃ ve % 55.2 SiO₂ nin bileşiminden oluşan "E" camı düşünülür. Bu elyaf şu şekilde elde edilir:

Yukarıda sıralanan malzemeler 1500-1550 °C sıcaklıktaki bir fırında platin alaşımından bir kap içerisinde ergitilir. Bu kap kovan şeklindedir. Ergiyen malzeme belirli bir kuvvetle çekilir ve demetler halinde sarılır.

Cam elyafın üç kullanım şekli vardır.

- Cam Fıtil: Elyaf demetlerin fıtil şeklinde sarılması en yüksek çekme mukavemeti cam fıtil ile kuvvetlendirilmiş plastikte görülür. Cam fıtil liflerin yönünde, tek yönde malzemenin, mukavemetini artırır.

- Cam Dokuma: Cam fitillerinin hasır şeklinde sarılmasıdır. Cam elyaftan sonra ikinci sırada yüksek çekme mukavemeti cam dokuma ile kuvvetlendirilmiş plastikte görülür. Cam dokuma iki yönde malzemenin mukavemetini artırır.

- Cam Keçe: Cam demetlerinin kırılmış halde birim alana homojen olarak dağılması ile elde edilir. Yüksek çekme kuvveti konusunda cam dokumadan sonraki sırayı izler. Cam keçe herhangi bir doğrultuda malzemenin mukavemetini artırır.

Çekme mukavemeti E camından daha fazla ve pahalı olan "S" camı da kullanılmaktadır. Fiyatının fazla olmasından dolayı sık kullanılmamaktadır. Ancak özellikleri S camına benzeyen fiyatı da S camından daha ucuz olan S-2 camı üretilmektedir ki bu da, yine askeri alanda önemli elemanların yapımında kullanılmaktadır.

Kuvvetlendirici amacıyla kullanılan cam elyaflar, bu alanda kullanılan diğer malzemelere göre daha kolay elde edilebilir ve daha ucuzdur. Plastikler kalıplara konmadan önce kuvvetlendirici malzeme elde edilir. Kalıplanmış malzemelerin ağırlığınının %5-%60 sınırları arasında cam olması gerekir.

Cam elyafı ile kuvvetlendirilmiş naylonun çekme mukavemeti $68,95 \text{ N/mm}^2$ 'den $206,85 \text{ N/mm}^2$ 'a çıkar. Cam elyafı kullanılan malzemenin mekanik özellikleri 2-3 kat iyileşir.

Malzemenin mukavemetinin artması cam elyafın uzunluğu ile doğru orantılıdır. Buna bağlı olarak sürekli elyafın en yüksek mukavemeti sağlayacağı bir gerçektir.

Cam ile kuvvetlendirilmiş plastik malzemeler makina elemanı olarak çeşitli aksamların yapımında kullanılmaktadır. Çünkü cam elyaf ile kuvvetlendirilmiş malzemelerin darbe davranışları ve çentik hassasiyetleri iyileşir. Örneğin; kuvvetlendirilen polietilenin kullanım alanı palet, el bagajı v.b., kuvvetlendirilen poliester arabaların çamurlukları, yüksek voltajlı ortamlar için kullanılan elemanlar, elektrik konjektörleri, elektrik motorlarının fırça tutucuları; polipropilen otomobil kapılarının iç kısımlarında, havalandırma gövdelerinde cam ile kuvvetlendirilmiş naylon tipli çark yapımında kullanılırlar. Uzun elyaflarda (10 mm uzunluğunda) kuvvetlendirilen polipropilen plaka şeklinde imal edilerek arabaların bagaj yük taşıyıcı kısımlarında ve karoser kısmında kullanılmaktadır. Ayrıca dekoratif panellerde, sandalye ve depo yapımında kullanılmaktadır.

4.4.7.3. Aramid elyafı ile kuvvetlendirme

Aramid elyafı ile kuvvetlendirilmiş plastik malzeme düşük genleşme katsayısı ve sürtünme katsayısına sahiptir, aşınma ve abrazyon mukavemeti çok iyidir. Aramid elyafların sağladığı mukavemet çelik tellerin mukavemetinden daha yüksektir. Aramid kuvvetlendirici kullanılmış plastik malzemeler dişli çark, kompresör vanaları ile aşınma ve sürtünmenin kaçınılmaz olduğu kızak, kaymalı yatak gibi elemanların yapımında kullanılır.

4.4.7.4. Yumuşatıcı olarak kullanılan katkı malzemeleri

Plastiklerin esnekliğini artırmak için kullanılan katkı malzemelerine yumuşatıcı adı verilir.

Yumuşatıcı malzemeler üç grupta toplanır.

- 1-) Çözelti halinde bulunan yüksek kaynama noktasına sahip monomerler,
- 2-) Alçak molekül ağırlıklı polimer reçineleri,
- 3-) Kurumayan halde bulunan bitkisel yağlar.

Yumuşatıcı kullanılan malzemenin molekül zincirleri arasındaki bağ zayıflar, bağları zayıflayan moleküller zincirleri daha rahat hareket edebildiklerinden malzemeye esneklik özelliği kazandırır. Bunun yanında çekme ve kimyasal mukavemet azalır.

Malzemenin yumuşatıcı katkısıyla özelliklerinin değişimi, kullanılan katkı malzemesinin miktarına bağlıdır. Örneğin; PVC normal hallerde rijid bir yapıya sahiptir. Çeşitli miktardaki yumuşatıcı ilavesiyle esneklik kazandırılır.

4.4.7.5. Aleve karşı kullanılan katkılar

Genellikle saf halde bulunan plastikler etkilenmektedirler. Yüksek sıcaklığa dayanıklı aromatik polimerler, poliamid, politetrafluoretilen aleve karşı kısmen dayanıklıdır. Naylon, polifenilen oksid ve silikon gibi

plastiklerde kendi kendilerini söndürürler. Plastik malzemelerin alev karşısı mukavemetini artırmak mümkündür. Bunun için de; klorlu fosfatlar, klorlu parafinler, fosfor bileşikleri, çinko borat, barium metaborat, amonyum sülfamat gibi inorganik bileşiklerinde kullanılmaktadır.

4.4.7.6. Renklendirici

Plastik malzemelere renk vermek için bir miktar boya harmanlanabilir. Kullanılan boya fazla miktarda kullanılırsa; malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Renklendirmek amacıyla kullanılan katkı malzemesi % 0.1-0.5 oranı gibi çok az miktarlarda kullanılmalıdır. Boyalar çoğunlukla stiren polimeri içinde çözündürülür ve daha sonra reçine ile karıştırılır.

4.4.7.7. Katalizör hızlandırıcı sistemler

Genellikle kullanılan katalizör sistemleri:

- 1-) Benzoil peroksil-amin
- 2-) Metil etilen keton peroksit

Katalizör kullanımının amacı çapraz bağ kullanmaktır. Katalizör olarak kullanılan malzeme toz halinde iken reçineye veya malzemeye şekil vermeden önce kullanılır.

4.4.7.8. Stabilizatörler

Stabilizatörler, bir tür koruyucudur. Plastiklerin ışık, hava gibi dış etkenlerin etkisi ile yıpranmalarını önlemek için kullanılırlar.

Antioksidanlar plastik malzemenin oksitasyonunu önler ve bir çeşit stabilizatördür. Katkı malzemesi olarak kullanılan karbon siyahı malzemeyi kuvvetlendirirken; onun fotokimyasal yıpranmasını da önler.

Stabilizatör, genel olarak fenollar, aromatik aminler, aldehitler ve ketonlar gibi bileşimlerdir.

4.5. Kuvvetlendirilmiş Termosetler

Kuvvetlendirilmiş termosetlerin çoğunluğu (%95 dolaylarında) epoksil ve poliester plastikleridir. Poliester plastik en çok kullanılan plastik malzemedir.

4.5.1. Epoksiler

Epoksil reçine oda sıcaklığında sıvı halinde bulunur. Fakat sertleştirici ile katı halini alır. İşlem oda sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta yapılırsa daha iyi özellikler elde etmek mümkündür. Epoksil reçine kullanım sonucu elde edilen malzeme sert ve toktur. Epoksil termosetlerinin elektriksel özellikleri, aşınma mukavemeti ve ısı kararlılığı çok iyidir. Mukavemeti, asitlere karşı zayıf, çözücü ve alkalilere karşı iyidir.

4.5.2. Poliester

Atmosfer basıncında ve oda sıcaklığında işlem görebilirler. Mekanik, kimyasal, elektrik, boyut kararlılığı ve fiyat bakımından uygun bir termosettir. Poliester cam veya karbon elyafı ile kuvvetlendirilir. Kuvvetlendirilen bileşimin çekme mukavemeti artar. % 80 cam elyafı içeren cam ile kuvvetlendirilmiş poliesterler imal edilmektedir.

Poliesterler kalıplanmaya hazır reçine olarak; kalıplanmış bileşim ve kalıplanmış plaka şeklinde bulunabilir. Kalıplanmış bileşim reçine, dolgu ve çeşitli katkıları, cam elyafı içerirler.

Plaka şeklinde kalıplanmış bileşimde reçine, cam elyafı, dolgu ve katkıları bulunur. Bu bileşimdeki cam elyafı; yönlü, sürekli ve gelişigüzel şekilde bulunur.

Poliesterlere çok daha iyi mekanik ve ısı özellikleri kazandırmak için, malzeme karbon elyafı ile kuvvetlendirilebilir. Ancak bu şekilde kuvvetlendirilen poliesterin fiyatı, cam elyafı ile kuvvetlendirilenin 3-4 katıdır (Şalvon, 1993).

Poliesterler, ayrıca özel çalışmalar için kağıt, mineral, asbest gibi dolgu malzemelerle kuvvetlendirilirler. Kağıt ile takviye edilmiş poliesterler genellikle dekoratif ürünlerin elde edilmesinde kullanılır. Bu amaçla kullanılan kağıt, ısı ve ışığa karşı dayanıklı, basınca karşı temizlenebilir olmalıdır. Dekoratif alanında kullanılan kağıt takviyeli poliesterlerin iç kısmında cam elyafı, dış kısmında kağıt takviyeli poliester bulunur.

Mineral dolgu maddeler özel amaçlar için kullanılır. Örneğin; doymamış poliester ile mermer tozu karışımı sert

olduğu için, küvet ve lavabo yapımında kullanılır. Talk doymamış poliestere % 35 gibi bir oranda katıldığında polimerizasyon süresini iki kat azaltır, aynı miktarda CaCO₃ ise polimerizasyon süresini % 20-30 arasında kısaltır.

Asbest genellikle bileşimin sertliğinin büyümesini önler, ana reçine ile uyumlu olduğundan su absorpsiyonunu azaltır. Asbest cam elyaf ile birlikte kullanılırsa, bileşimin fiyatını düşürür.

4.6. Elyaf Kuvvetlendiricilerin Sürünme Ve Yorulma Üzerine Etkisi

Sürünmenin ve sonucunda da yorulmanın en çok gözleendiği parçalar dişli çark, güç ileten aletlerin gövdeleri, kompresör ve pompa vanaları, tenis raketleri v.b. Kuvvetlendiriciler ile sürünmenin, yıpranmanın asgari miktara düşürülmesi amaçlanmıştır.

4.6.1. Kuvvetlendiricinin sürünme üzerine etkisi

Karbon elyafının sürünmeye karşı oluşturduğu mukavemet cam elyafının oluşturduğu mukavemetten daha etkilidir.

Kuvvetlendirici miktarının büyümesi ile sürünme mukavemeti artar.

Özel dolgu maddelerinin etkisi elyaf kuvvetlendiricilerden daha azdır. Fakat dolgusuz reçinelere göre daha iyi bir sürünme mukavemeti kazandırır.

Ateşe dayanıklı katkıların eğilme elastiklik modülü üzerine etkisi bunların sürünme üzerine etkisi hakkında fikir verir. Bu katkılar çeşitli reçinelerin sürünme mukavemetini çeşitli şekilde etkilerler. Her durum ayrı incelenebilir.

4.6.2. Kuvvetlendiricinin yorulma üzerine etkisi

Elyaf kuvvetlendiriciler malzemenin mukavemetini iyileştirirler. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha etkindir.

Özellikleri iyileştirmiş bileşimin çalışma sırasında bazı problemleri olur. Ana malzeme içerisinde dağınık halde bulunan dolgu malzemesinin işlevini yerine getirebilmesi yani sürtünme yüzeyine ulaşp yağlama görevini yapması belirli bir zaman içerisinde gerçekleşir. Bu süre dolmadan temas halindeki yüzeylerden hasarların olması kaçınılmazdır. Plastiklerin bu problemini gidermek için sıvı slikonlar kullanılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır.

4.6.3. Yağlayıcı dolgu malzemeleri

Plastiklerin sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştiren ve yağlayıcı dolgu adı verilen malzemeler: sıvı slikon, grafit tozu, politetrafluoretilen, silikon ve karbon elyafları.

a. Sıvı silikon; ana reçine ile çok uyumludur, iyi bir harmanlama yapılabilir. Silikon molekül ana matrinden ayrılıp sürtünme yüzeyleri arasında sürekli bir film oluştururlar. Yüzeylerde oluşturduğu sınır sürtünme tabakası aşınmayı engelleyici olduğundan tercih edilmektedir.

b. Grafit tozu, sulu ortamda çalışan parçalarda kullanılır. Grafit tozu düşük sürtünme etkilerine ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bir katı yağlayıcıdır. Yağlama kabiliyeti yapı, saflık ve tane büyüklüğüne bağlıdır.

c. Politetrafluoretilen ana malzeme içerisinde tanecik şeklinde dağılmış olarak bulunur. Bileşimi çok iyi sürtünme ve aşınma özellikleri kazandırır. Sürtünme katsayısı düşüktür. Statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısından küçüktür. Bu özellik metal temas yüzeylerinde kayma olayını azaltmaktadır. PTFE tanecikleri malzeme içerisinde sürtünme yüzeyine gelip, bu yüzeyde yüksek yağlama özelliğine sahip bir film oluşturur.

d. Politetrafluoretilen ve silikon, ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilen sürtünme ve aşınma bakımından en iyi yağlayıcı dolgu malzemeler grubundandır.

Kuvvetlendirilmiş veya yağlayıcı dolgu malzemelerle harmanlanmış plastik malzemeler çeşitli ortamlarda kullanılırlar. Çok iyi kimyasal mukavemete sahip olan naylon bileşimleri sert çalışan parçaların yapımında kullanılırlar. Polikarbonal ağırlıklı bileşimler dişli çark, kaymalı yatak ve kızak gibi doğruluğu ve kimyasal mukavemeti önemli olmayan parçaların yapımında kullanılır.

Ana malzeme içerisinde kullanılan yağlayıcı dolgu malzemenin miktarı reçine ve dolgunun tipine bağlıdır. Aşağıda verilen oranlar dolgu yağlayıcı malzemenin kullanılacak ortalama yüzdesidir.

Silikon % 1.5; Grafit % 10; politetrafluoretilen % 15-20; politetrafluoretilen ve silikon % 15-20; molibden disülfür (MoS_2) % 2.5

4.7. Plastik Köpükler

Köpükler plastiklerden elde edilirler. Köpüklerin hacmi büyük, yoğunluğu düşüktür. Kalıplama sırasında ergimiş polimere gaz direkt verilerek veya kimyasal üfleme malzemesi ilave edilerek köpük elde edilir. Köpükleme işlemi alçak basınçlı köpükleme ve yüksek basınçlı köpükleme olmak üzere iki gruba ayrılır.

4.7.1. Alçak basınçlı köpükleme

Bu yöntemde kalıp boşluğuna belirli oranda reçine ve gaz karışımı enjekte edilir. Bu karışım kalıpta alçak basınç oluşturur ve kalıp boşluğunu yüksek basınca sahip olan gaz kabarcıkları genişlererek doldurur. Malzemenin kalıp yüzeyi ile temasta bulunan hücrelerinde çökme olur. Köpük özü üzerinde tabaka şeklinde bir kabuk meydana gelir. Kabuk kalınlıkları, kalıplama sıcaklığına, ergiyiğin sıcaklığı ve basıncına, enjekte edilen ergiyik miktarına, üfleme malzemesinin cins ve miktarına bağlı olarak artar. Standart cidar kalınlığı 6.35 mm'dir. Alçak basınçlı köpükleme işlemi, büyük hacimli parçaların elde edilmesinde kullanılan ekonomik ve kolay bir yöntemdir. Çok büyük parçaların kalıplanabilmesi için, çoklu enjeksiyon memeleri kullanılabilir.

Aynı sistem içerisinde hareket edilerek konjeksiyon yöntemi kullanılarak köpük elde edilebilir. Konjeksiyon yönteminde; birbirleriyle uyumlu iki reçine kullanılır içerisinde öncelikle katı reçine enjekte edilir. Kullanılan katı reçine kalıp cidarında bir kabuk oluşturur. Şişirme gaz malzemesini içeren ikinci reçine, kalıp içerisinde enjekte edilir. Sonuçta köpük meydana gelir.

Alçak basınç yönteminde elde edilen yüzey çok pürüzlüdür. Ancak alçak basınç yönteminin değişik uygulamasında yüzey pürüzlülüğü iyileştirilebilir. Alçak basınç sistemi normal kalıplama sisteminden daha ucuzdur.

4.7.2. Yüksek basınçlı köpükleme

Bu yöntemde, şişirme gazı ihtiva eden ergiyik kullanılır. Bu eriyik 35-140 N/mm²'lik bir basınçla kalıp doluncaya kadar enjekte edilir. Kalıp yüzeyinde kabuk oluşur, fakat köpüklenme olmaz. Basınç köpüklenmeye engel olur. Düşürülen basınç ile kalıpta oluşan boş hacimi dolduran köpük meydana gelir.

Köpük yapılı malzemelerin cidar kalınlığının % 25 artması, aynı ağırlıkta rijidliğin iki kat artmasını sağlar. Yapı içerisinde gerilmeler olmamaktadır. Köpüklü parçalarda yüzey kalitesi iyi değildir. Yüksek basınç yöntemi pahalıdır.

4.8. Plastiklerde Tokluk ve Sertlik

4.8.1. Plastiklerde tokluk

Tokluk, malzemelerin darbeleri kuvvetleri karşı gösterdiği önemli bir özelliktir. Darbe etkisinde kalan plastik malzemelerin davranışları farklıdır. Malzemenin tokluğu arttıkça, darbelere karşı mukavemeti artar. Dişli yapımında kullanılan, plastik araba tamponlarının yapımında kullanılan ABS (Akrilonitril-butadien-stiren terpolimeri) çok tok olur. Cam gibi kırılğan olan akrilik ve polistiren oldukça gevreklerdir.

Bazı işleme yöntemleri malzemenin tokluğunu azaltmaktadır. Örneğin; enjeksiyon kalıplamada ergime basınçlarının çok yüksek olması, kalıbın belli kısımlarında büyük artık gerilmeler meydana getirir. Kalıplaşmış plastikte kaynak çizgileri ve yüksek yönlenmiş bölgeler darbelere karşı zayıf bölgeler oluştururlar. Yönlenmiş malzeme bölgesinde, yönlenme yönünde malzeme kuvvetli; fakat yönlenme yönüne dik doğrultudaki bölge zayıftır.

Genellikle plastik malzemeler, şiddetli gerilme yığılmaları, keskin köşeler, çentikler vb. ihtiva ettikleri veya sıfırın altında gibi çok düşük sıcaklıklara maruz kaldıkları zaman gevrekleşirler. Gevrek plastiklerin darbe mukavemetini iyileştirmek için lastik dolgu ilave metodu kullanılabilir.

4.8.2. Plastik malzemede sertlik

Plastik malzemelerin kalitesini tesbit etmek için tahribatsız bir muayene olan sertlik deneyi yapılır. Sertlik ölçmede Rockwell, Vickers, Shore ve daha başka konvansiyonel sertlik ölçme yöntemleri kullanılabilir. Plastik malzemelerde akma gerilmesi, viskoelastisite, gevreklik, mukavemet, elastiklik modülü sertlik büyüklüğünü etkilerler.

Plastiklere uygulanan sertlik ölçme deney yöntemi standartlaştırılmıştır. Yöntemin esası batıcı uç olarak kullanılan sertleştirilmiş çelik bilyanın batma derinliğinin ölçülmesine dayanır. Bulunan değerler numunenin geometrisine ve onun kalınlığına bağlıdır. Farklı numune geometrisi kullanıldığı zaman sertlik değeri "izafi sertlik", standart numune kullanıldığı zaman bulunan değer "standart sertlik" olarak isimlendirilir.

Sertlik deneyleri reçinelerin pişirilmesi, vernik kaplama dayanıklılığı, naylona suyun etkimesi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

4.9. Plastiklerin Sürtünme ve Aşınma Özellikleri

Plastiklerin sürtünme ve aşınma özellikleri, dişli çark, kaymalı ve yuvarlanmalı yataklar, kızaklar gibi elemanlarda oldukça önemlidir.

Sürtünme;

$\mu = F_n / F_s$ şeklindeki katsayı ile ifade edilebilir.

Eşitlikte;

μ : Sürtünme katsayısını,

F_n : Temas yüzeyine etkiyen normal kuvveti,

F_s : Sürtünme kuvvetini

göstermektedir.

Sürtünme katsayısı farklı koşullarda tayin edilebilir. Kuru, sınır ve sıvı sürtünme koşullarında gerçekleşebilir. Temas eden yüzeyler arasında hiçbir yağlayıcı madde bulunmadığı takdirde kuru sürtünme yüzeyleri arasında birbirini tamamen ayırmayan bir yağlayıcı madde bulunduğu durumda sınır sürtünme; yüzeylerin arasında, yüzeyleri tamamen ayıran bir yağlayıcı madde bulunduğu durumda sıvı sürtünme gerçekleşir.

Plastiklerin sürtünme davranışını; kayma hızı, çevre koşulları, temas yüzeyin çeşidi gibi faktörler etkilendiğinde bir plastik malzeme için kesin bir sürtünme katsayısı değerinin verilmesi güçtür. Temas eden yüzeylerin yapısı, malzemesi sürtünme katsayısını etkilerler.

Temas yüzeylerinin sürtünme katsayısına etkisi tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.4, Sürtünme katsayısı üzerine temas yüzeylerinin etkisi

Malzeme	μ
Polipropilen üzerine polipropilen (kalıplanmış)	0.6
Polipropilen üzerine polipropilen (aşınmış)	0.28
Çelik üzerine polipropilen	0.25
Naylon üzerine naylon (kalıplanmış)	0.65
Naylon üzerine naylon (aşınmış)	0.46
Çelik üzerine naylon	0.41

Yukarıda verilen tablodan bir genelleme yapılacak olursa; plastik-metal temas yüzeylerinin sürtünme katsayısı plastik-plastik temas yüzeylerinin sürtünme katsayısından daha düşük olduğu söylenebilir.

Plastik malzemelerde adhezyon, yorulma, abrazyon ve korozyon gibi aşınma çeşitlerinin varlığı bilinmektedir. Adhezyon aşınması en yaygın aşınma çeşididir. Adhezyon aşınması yüzey basıncı (P), kayma hızı (V) ve sıcaklığa bağlıdır. Malzeme yüzeyi işlendikten sonra yüzeyde pürüzler vardır. Yük altında bu pürüzler temas halinde iken çok büyük basıncılar meydana gelir ve kaynak bağları oluşur. Ters hareket sırasında bu bağlar kopar. Bağların kopmasını gerçekleştiren kuvvet sürtünme kuvvetidir. Bağların kopmasıyla malzeme meydana gelen kayıp adhezyon aşınmasıdır.

Politetrafluoretilen, naylon gibi plastikler, kuru sürtünme koşullarında aşınma bakımından metallere daha iyi davranırlar. Metallerde görülen yeme aşınması (adhezyon aşınmasının şiddetli bir şeklidir) plastiklerde görülmez. Ayrıca plastikler su ile yağlanarak da çalışabilirler.

Adhezyon aşınması zamana bağlı olarak gelişir. Adhezyon aşınması sonucu meydana gelen malzeme kaybı parçanın fonksiyonunu önemli ölçüde etkilemedikçe parça çalışabilir. Aşınan malzemeden dolayı parçanın fonksiyonu etkilenir fakat parça bozulmuş kabul edilmez.

5. PLASTİKLERİN İŞLEME, ÇALIŞMA VE ÇEVRE ETKİSİ ALTINDA YIPRANMASI

5.1. Yıpranma Olayı

Makromoleküllerin ana zincirlerinde kopmalar oluşturan reaksiyon yıpranma olayı olarak yorumlanır. Ana zincirin atomlar arası bağı kovalent olduğu zaman makromoleküller kopması ile serbest makroradikaller oluşur. Yıpranma sırasında oluşan makroradikaller reaksiyona girerek dallanmış, çapraz bağ gibi yapıların meydana gelmesine neden olurlar. Kimyasal bağın kovalent veya iyonik oluşuna bağlı olarak; polimerlerde radikal, iyonik ve iyono-radikal olmak üzere üç yıpranma mekanizması meydana gelebilir.

Yıpranma sırasında molekül zincirlerde kopmalar meydana gelir. Bu kopmalar da zincir uzunluklarını kısaltırlar. Plastiklerinin özelliklerinin çoğu defa molekül zincirlerinin uzunluğuna bağlı olduğu göz önüne alınırsa yıpranmanın bu özelliklerin bazısını yok ettiğini veya azalttığını belirtmek mümkündür(Tabor, 1987).

Plastik malzemelerin yıpranması;

- Fiziksel Yıpranma: Mekanik, termik, fotokimyasal ve radyasyon gibi olayların etkisi altında oluşur.
- Kimyasal Yıpranma: Kimyasal faktörlerin etkisi altında meydana gelir. Oksidasyon, gerilme çatlama, çözülme ve yumuşama yıpranmaları kimyasal etkilerle gerçekleşir.

5.2. Sıcaklığın Etkisi

Isı etkisinde kalan plastiklerin yapısında bazı kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Plastiklerin yüksek sıcaklıklarda sertliklerini muhafaza etme kabiliyetlerine ısıl direnç; sıcaklığın etkisi altında kimyasal bozulmaya karşı direncine ısıl kararlılık denmektedir. Plastiklerin ısıl kararlılığını belirleyen ana faktör, ana zincirin atomları arasındaki bağ enerjisidir.

Plastik malzemelerde ısıl etkiye karşı en kuvvetli bağ karbon-karbon bağıdır. Hidrojen atomlarının molekül içine girmeleriyle karbon atomları arasındaki bağlar gelişigüzel kopar. Bu durumda zincirden ucu doymuş bir ünite ve ucu doymamış bir ünite olmak üzere iki zincir kısmı meydana gelir. Bir başka kopma da, polistiren ve polimetil gibi plastiklerde görülen zincir uçlarında meydana gelen kopmadır. Plastik içerisinde hidrojen atomlarının bulunması C-C bağının sağladığı ısıl kararlılığı ve enerjisini azaltmaktadır. Hidrojen yerine flor atomunun bulunması ısıl kararlılığı artırmaktadır. Bunun içindir ki; politetrafluoretilen 400 °C'da özelliklerini muhafaza edebilmektedir. Ana zincirde bulunan oksijen ise; ısıl kararlılığı azaltmaktadır.

Günümüzde çeşitli yöntemlerle, 800-900 °C'da ısıl kararlılığını kaybetmeyen, çok halkalı bir yapısı olan poli-n-fenilen, polikrilat, poliamit gibi plastikler elde edilmiştir (Akkurt, 1991).

Sıcaklığın plastik üzerine etkisini dört grupta incelemek mümkündür.

- Kısa süreli etki; şekil kararlılığı, boyut kararlılığı, elektriksel özellikleri kapsar.
- Kısa ve uzun süreli etki; sürünme, sürünme kopması ve kimyasal direnci etkiler.

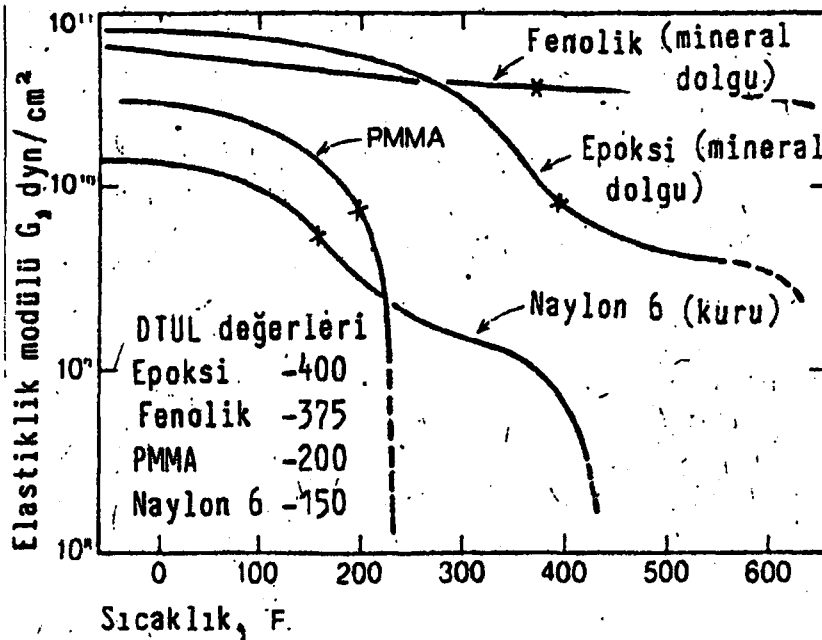
- Uzun süreli etki; ısısız yaşlanma direncini etkiler.
- Kendi kendine oluşan sıcaklığın etkisi; sürtünme, aşınma ve yanma kabiliyeti gibi özellikleri kapsar.

5.2.1. Şekil kararlılığı

Amorf termoplastikler, camsı duruma geçişli termosetler, camsı duruma geçişli olmayan termosetler, kısmi kristalin plastiklerin davranışları farklıdır.

Burulma pandülü deneyi ile kısa süreli etkide plastiklerin davranışı incelenebilir. Burulma pandülü deneylerine dayanarak çeşitli plastiklerin sıcaklığın etkisi altında davranışı gösterilmiştir. (Şekil 5.1.) Şekilde X işareti camsı duruma geçiş sıcaklığının üst sınıra yakın bir noktayı ifade etmektedir (Furber, 1987).

Şekilde polimetilmetakrilatın (PMMA) davranışı verilmişse de PVC, ABS, polistiren, SAN (stiren-akrilonitrik) gibi plastiklerde davranış aynıdır.



Şekil 5.1, Sıcaklık-elasticlik arasındaki ilişki.

Şekil (5.1) incelenecek olursa şu sonuçlara varılabilir. Sıcaklığın artmasıyla malzemenin mekanik özellikleri camsı duruma geçiş sıcaklığına kadar çok az düşme gösterirken; camsı durumu geçiş sıcaklığında mekanik özelliklerde büyük değişiklikler görülmektedir. Malzeme yük taşıyamaz ve imalatta aldığı şekil bozulur.

Fenol plastikler melamin ve silikonları kapsarlar. Fenolik plastiklerin camsı duruma geçiş sıcaklıklarının olmadığı (şekil 5.1 de) görülmektedir.

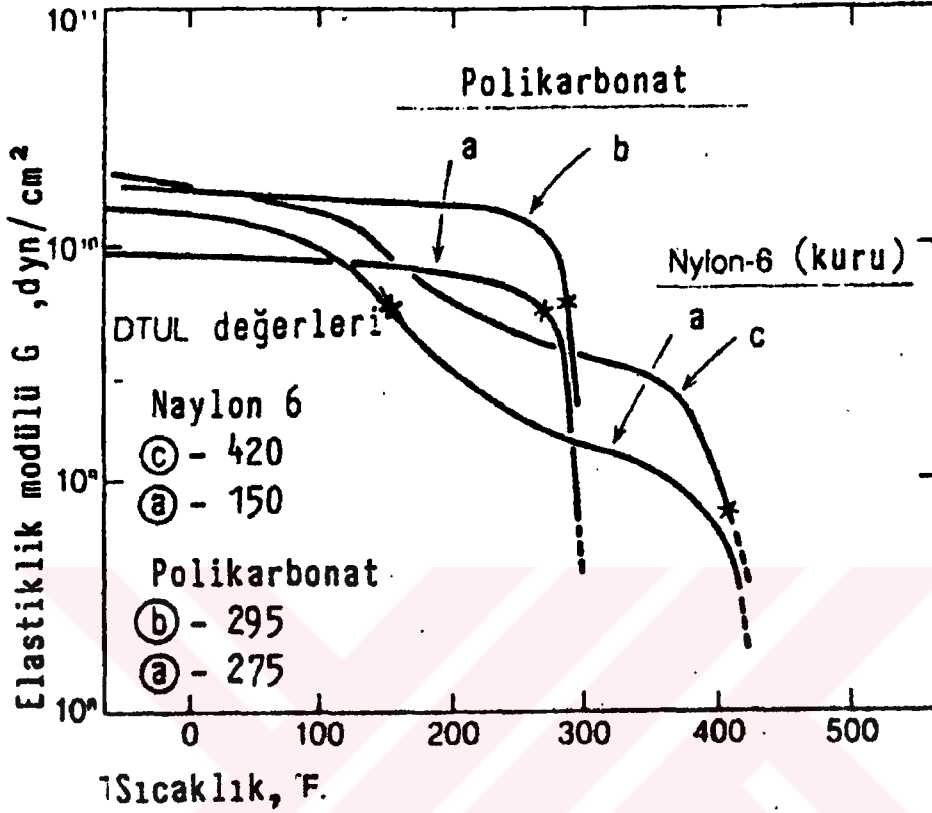
Kısmi kristalin termoplastikler:

Nylon kapsamına giren asetal, poliolefin, fluoropolimer ve termoplastik poliester aynı davranışları gösterirler. Kristalin bağların ve kristalin yapının bozulduğu ergime sıcaklığının, camsı duruma geçiş sıcaklığından daha büyük olmasından dolayı; mekanik özelliklerini muhafaza ederler.

Camsı duruma geçiş bölgesinde malzemenin mekanik özelliklerinin % 50 civarında azalması söz konusu olduğundan kuvvetlendiriciler kullanılmaktadır. Kullanılan kuvvetlendiriciler sıcaklık bölgesini büyütürler, mekanik özellikleri artırırılar.

Kısmi kristalin termoplastiklerde şekil kararlılığı ergime noktasında bozulmaktadır. Genleşme katsayısı camsı duruma geçiş sıcaklığının üstünde 2-3 kat artar. Genleşmenin artması plastik malzemenin oksijen geçirgenliğini de artırmaktadır. Bu olaydan sonra plastiğin ısısız oksitlenmeye karşı direnci azalır. Sürtünme kopma değeri düşer.

Şekil 5.2 de görüldüğü üzere amorf termoplastiklerde kuvvetlendiriciler sıcaklık bölgesinde önemli artış göstermemektedir, fakat rijidliği artırmaktadır (Furber, 1987).



Şekil 5.2, Amorf ve kısmi kristalin plastiklerin, sıcaklığa bağlı dinamik elastiklik kayma modülünün değerleri a. dolgunuz; b. % 20 cam ile kuvvetlendirilmiş; c. % 30 cam ile kuvvetlendirilmiştir.

5.2.2. Boyut kararlılığı

Plastiklerin genleşme katsayılarınının yüksek olmalarından dolayı sıcaklığın etkisi altında büyük ölçüde boyut değiştirdikleri görülür.

Boyut kararlılığı içerisinde büzülme önemli bir olaydır. Kalıplama işlemi sonrasında büzülme oluşur. Büzülme oluşumları için; farklı soğuma hızları, kuvvetlendirici

liflerin varlığı, polimer moleküllerin yönlenmesi neden olarak gösterilebilir. Soğuma hızlarının farklılıkları çarpılmaların meydana gelmesine de neden olurlar.

5.2.3. Isısal yaşlanma

Malzemenin kimyasal reaksiyonu sonucu yıpranması söz konusudur. Çünkü uzun süre sıcaklığın etkisinde bulunan plastikler neon ve oksijen tarafından etkilenir. Yıpranma süresi havanın kirlenme derecesi ve ultraviyole ışınları gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir.

5.3. Fotokimyasal ve Radyasyon Yıpranması

Fotokimyasal yıpranma ışınların etkisiyle meydana gelir. Işınların dalga uzunluğu, polimerin yapısı ve radyasyonun şiddeti gibi faktörler yıpranma derecesini belirler.

Yıpranma olayını gerçekleştiren alfa, beta, gamma, X ışınları, polimer moleküllerini serbest radikallere veya bir radikal ve bir iyon ayırmaktadır.

5.4. Kimyasal Yıpranma

Plastik malzemenin kimyasal etkilere karşı dirençli olması malzeme için bir üstünlüktür. Plastiklerin su, asit, alkol, oksijen, aminler gibi bazı kimyasal faktörlere karşı

özelliklerini metallere göre daha uzun süre korudukları bilinmektedir. Bazı plastiklerin su emmelerinden dolayı bundan elektriksel, boyutsal ve mekanik özellikleri etkilenebilir. Fakat metallerde görülen korozyon olayı hiçbir zaman plastiklerde görülmez.

Çok sayıda kimyasal yıpranma çeşidi vardır. Ancak burada önemli görülen kimyasal yıpranma olayları açıklanacaktır.

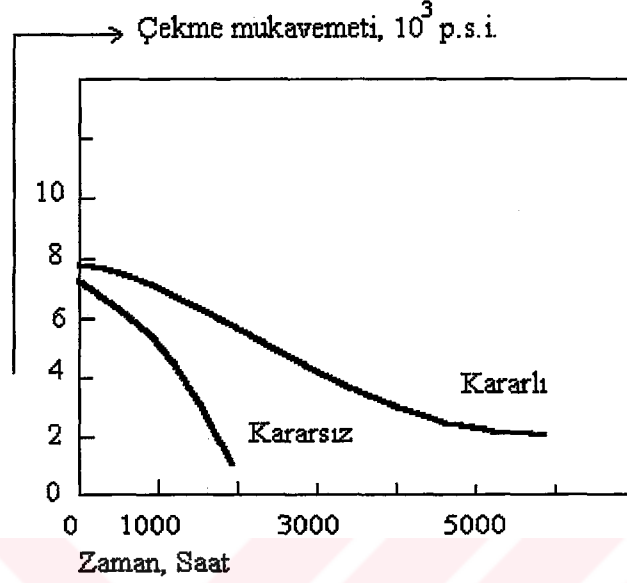
5.4.1. Hidroliz yıpranma

Hidroliz; suyun, asitlerin, alkalilerin ve tuzların etkisi altında meydana gelen yıpranma şeklidir. Bu yıpranma, molekül bağlarının kopduğu yerde su moleküllerinin ilave edilmesi ile oluşur. Hidrolize karşı hassasiyet bakımından şöyle bir sıralama yapılabilir (Akkurt, 1991).

eter < ester < amid < asetal

Hidroliz yıpranma, sıcaklık ve bunun çözelti içerisindeki yoğunluğuyla ilişkilidir. Şekil 5.6'da sıcaklığı 76,76 °C olan suda tutulan kararlı ve kararsız iki çeşit naylon 66'nın suda kalma zamanına bağlı olarak çekme mukavemeti gösterilmiştir.

Şekil 5.6'ya göre kararlı naylonun hidrolizi çok yavaş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, ancak çok uzun bir süre sonra malzeme kullanılamayacak hale gelir. Yıpranma hızlı veya yavaş olabilir ve malzeme özellikleri ile meydana gelen değişiklikler kısa veya uzun zamanda gerçekleşebilir.



Şekil 5.3, Nylon 66'nın 76.7°C de hidroliz direnci.

5.4.2. Oksidatif yıpranma

Havada bulunan oksijen ile ozon gibi oksidanların etkisi altında meydana gelen yıpranma oksidatif yıpranma olarak adlandırılır.

Malzemenin oksidatif yıpranma direnci, malzemenin yapısında kolayca oksitlenebilen grupların ve bağların varlığına bağlıdır. Doymamış hidrokarbonlar gibi karbon zinciri makromolekül sel bileşiklerle ana zincirde bulunan çift bağlar oksidasyona daha elverişlidir. Lineer polienler oksidatif yıpranma etkisinde kalırlar. Dallanmış polienler ise yıpranmazlar, üç boyutlu yapılar oluştururlar.

Karbon zincirli doymuş polimerler (polietilen, polistiren vb.) oksidasyona karşı daha dirençlidir. Polimerin yapısına klor ve fluorun ilavesi oksitlenmeye karşı direnci artırır.

Oksidatif yıpranma sıcaklıkla ilgilidir. Oda sıcaklığında bu malzemeler yıpranmazlar, fakat yüksek sıcaklığın mevcut olduğu ortamda yıpranırlar (Dowson, 1987).

5.4.3. Çözünme ve yumuşama

Yüksek molekül ağırlıklarına sahip olan plastikler zor çözülürler. Her plastik farklı çözücü içerisinde çözünür. Çözünme olayı çözücüler içerisinde çok yavaş gerçekleşirken, şekil ve boyutlarda değişiklikler ve ayrıca şişme meydana gelmektedir. Kimyasal çözücü çok iyi özellikte bir çözücü olduğu durumda, emme ve bunun sonucunda yumuşama meydana gelmektedir. Emme az olduğu takdirde malzeme kullanılabilir özelliğini kaybetmez.

Çarpılma boyut genişlemesi, camsı duruma geçiş sıcaklığının azalması, mukavemet ve rijidliğin azalması gibi faktörler malzemenin yumuşamasına neden olurlar. Camsı duruma geçiş sıcaklığının (T_g)'nin altında plastikler oldukça kırılğandır. (T_g) sıcaklığının üzerinde plastiklerin darbe dirençleri yüksektir ve lastik gibi davranırlar. Bunun içindir ki; bazı plastiklerin camsı duruma geçiş sıcaklıklarını düşürmek için plastikleştiriciler kullanılır PVC lerde bu özellikleri taşırlar. PVC'ler düşük sıcaklıklarda daha esnek ve darbelere karşı daha dayanıklıdırlar. PVC nin camsı duruma geçiş sıcaklığı 80 °C dir. Kullanılan plastikleştirici etkisi ile (T_g) sıcaklığı 0 °C'a kadar düşürülebilir.

5.4.4. Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşumu

Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşumu, kimyasal eleman tarafından plastiğin gerilmesiz olduğu durumda onu çözen veya çok az etkileyen; gerilmeli olduğu durumda çizgisel çatlaklar oluşturarak onun bozunmasına neden olan yıpranma şeklidir.

Ortam etkisiyle gerilmeli çatlak oluşması olayında; kimyasal eleman malzemenin yüzeyinde kimyasal etki sonucu bir zayıf nokta oluşturur. Bu nokta zamanla çekme ve eğilme gerilmelerin etkisi altında çatlağa dönüşür. Oluşan çatlak bazı elemanların malzemenin içerisine sızmasını sağlar. Böylece çatlak yayılmaya başlar ve malzemenin daha büyük çatlaklar oluşturmasına, kopmasına neden olur.

Ortam etkisi ile gerilmeli çatlak oluşma hızı; kimyasal elemanın çeşidine, yoğunluğuna, yüzey pürüzlülüğüne, sıcaklığa ve gerilme gibi faktörlere bağlıdır. Bugüne kadar ortam etkisi ile gerilme çatlak oluşumunu ölçülmesi için bir kriter bulunamamıştır (Tabor, 1987).

5.5. Fotokimyasal ve Radyasyon Yıpranması

Işınların etkisiyle meydana gelen yıpranmaya fotokimyasal yıpranma denilmektedir. Yıpranma derecesi radyasyonun şiddeti, polimerin yapısı, yıpranma derecesi gibi faktörlere bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda tutulan bazı polimerler ışık ile çözünme denilen depolimerizasyon olayına neden olurlar.

Alfa, beta, gamma ve X ışınları gibi radyasyonların etkisinde kalan polimerlerde; polimer molekülü serbest radikallere veya bir radikal ve bir iyon ayrılırlar. Serbest radikaller değişik kimyasal reaksiyonlara girerler. Çapraz bağlı, lineer ve dallanmış polimerler gibi yıpranma ürünleri oluştururlar.

5.6. Mekanik Kimyasal Yıpranma

Plastiklerin karıştırma, öğütme ve enjeksiyon gibi işlemler sırasında veya parça halinde kullanım sürecinde zincirlerin kopmasına neden olan reaksiyonlara mekanik kimyasal yıpranma adı verilir. Bu yıpranmanın gerçekleştiği malzemelerde molekül ağırlıkları azalır.

Yıpranma sırasında yapı içerisindeki enerjinin istatistikî değişmesi sonucu malzemede zincirlerin kopma olayı gerçekleşir. Enerjinin değişmesi, malzemenin kullanımı sırasında daha aktif durumda olduğu için zincir kopmaları meydana gelir.

Mekanik yıpranmayı gerçekleştiren bir başka neden; ultrasonik titreşimlerdir. 20.000 Hz ve daha büyük olan yüksek frekanslı ultrasonik titreşimler mekanik yıpranmalara neden olurlar.

5.7. Yıpranmaya Karşı Önlemler

Yıpranmanın esasını, plastiklerin işleme, kullanma, polimerizasyon sırasında çeşitli faktörlerin etkisinde

kalarak ana zincirin kopması ile oluşan serbest radikaller oluşturur.

Yıpranmanın nedenleri bilindiğine göre önlem alma yolları geliştirilmiştir. Yıpranma genelde;

- Stabilizatör denilen özel madde kullanılarak,
- Saf monomer kullanılarak önlenebilir.

Pratikte her plastik malzeme ve korunması gereken her özellik için ayrı bir stabilizatör vardır. Stabilizatörler, çeşitli etkenlere karşı plastiklerin başlangıçtaki özelliklerini koruyan maddelerdir. Kullanılan stabilizatörler, yıpranmayı gerçekleştiren serbest radikallerin oluşmasını engellerler. Plastiklerin işlenmesi ergime noktası ile camsı duruma geçiş sıcaklığı arasında gerçekleştirilir. Bu sıcaklıklar arası mesafenin birbirine uzak olması ideal olandır. Mesafenin uzak olması ergime noktasının veya camsı duruma geçiş sıcaklığının azaltılması ile sağlanabilir. Fakat bu yöntem malzemenin kullanma kalitesini azaltmaktadır. Plastiğin camsı duruma geçiş sıcaklığının arttırılması ile sıcaklıklar arası fark büyütülerek stabilizatör kullanılır.

Saf olmayan monomerlerde bulunan yabancı maddeler, serbest radikaller oluşturarak yıpranmayı gerçekleştirirler. Saf monomer kullanımı problemi kısmen çözer. Saf monomer kullanıldığı durumlarda yüksek sıcaklıkta çalışılırsa yine yıpranma olayı gerçekleşir (Rhee; Ludema, 1987).

6. POLİVİNİKLORÜR (PVC)

Türkiye'de ilk kez 1970 yılında PETKİM Yarımca Petrokimya kompleksinde üretilmiştir.

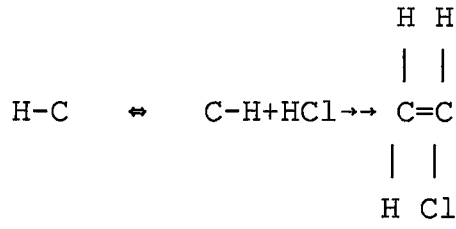
Ülkemizim ikinci petrokimya kompleksi olan PETKİM Aliağa Petrokimya kompleksinde ise PVC'nin üretimine 09.03.1986 tarihinde başlanmıştır.

Solvay and CIE firmasının lisansörlüğü CTIP ve BİMKAL firmalarının mühendisliği, ALARKO firmasının da inşaat montajını yaptığı PVC fabrikası "Batch" prosesiyle çalışan aynı kapasiteli üç gruptan oluşmaktadır.

Yıllık kapasitesi 100.000 ton/yıl olan fabrikada PVC ürünü ham madde vinil klorür monomerin belirli basınç ve sıcaklıkla katalizör eşliğinde polimerizasyonu ile elde edilir. Toz olarak elde edilen ürün 25 kg'lık ventilli kraft kağıt torbalarda paketlenildikten sonra piyasaya verilir.

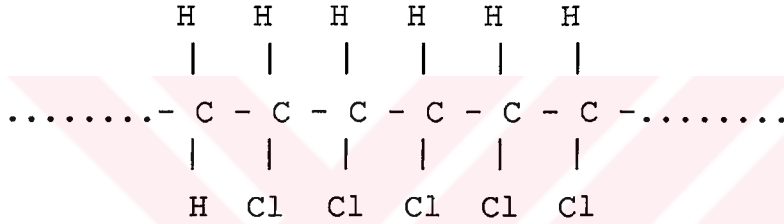
6.1. Polivinilklorür'ün Oluşumu

Vinilklorür gazı -14°C de su berraklığında bir sıvıya kondanse olan ve teknikte tuz asidinin asetilenle basınç altında birleşmesiyle oluşan bir gazdır (Yıldırım, 1982).



Asetilen Tuz Asidi Vinilklorür

Bu gaz yüksek sıcaklık ve basınç altında polimerizasyonla polivinilklorüre dönüşür.



Reaksiyonun gerçekleştiği sıcaklığa bağlı olarak polimerizasyon derecesi ve polimerizatin özellikleri etkilenebilir.

Vinil polimer ve kopolimerleri arasında polivinilklorür en çok kullanılanıdır. PVC çeşitli yumuşatıcı, kuvvetlendirici, yağlayıcı, darbe değiştirici, stabilizatör gibi maddelerle takviye edilerek değişik özelliklere sahip, farklı kullanım alanlarında kullanıma uygun şekilde elde edilebilirler. PVC'lerin esnek, rijid, opak, saydam gibi çeşitleri vardır.

PVC 80°C'nin hemen üzerinde bir sıcaklıkta, yumuşamaya başlar ve bu sıcaklığın üzerinde şekillendirme işlemi gerçekleşebilir. Çok yüksek sıcaklıklarda PVC özelliğini kaybeder.

6.2. PVC'lerin Kimyasal Özellikleri

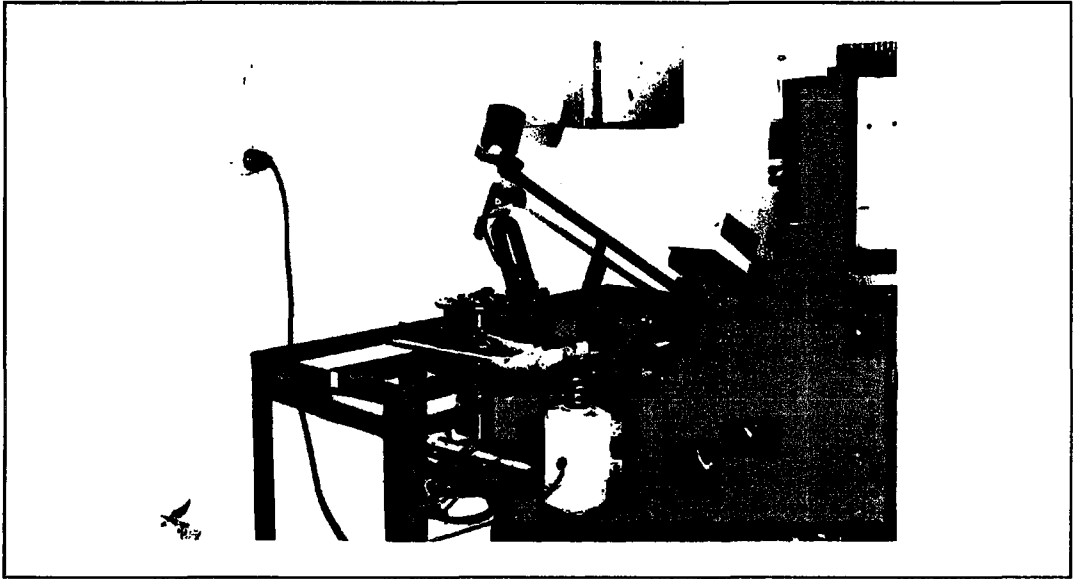
PVC'lerde yumuşatıcı bulunmuyorsa; bu malzeme oda sıcaklığında serttir. Sıcaklık azaldıkça malzeme gevrekleşir. PVC'lerin en uygun kullanım sıcaklıkları 20-70°C arasındadır. PVC'ler alev karşı oldukça dirençlidir. Kendi kendisini söndürme yeteneği vardır. Alev karşısında oluşan klor gazı alevin sönmelerini sağlar. Kimyasal elemanlar karşısında özelliklerini uzun süre korurlar. Asitlere, bazlara, alkole ve mineral yağlarına karşı dayanıklıdırlar. Isı ve elektriksel yalıtkanlığı iyidir (Yıldırım, 1982).

Yukarıda anılan olumlu özellikleri PVC'nin sanayi kesiminde yaygın bir kullanıma sahip olmasına neden olmuştur. Sert PVC özellikle borular, akümülatör kutularında, tabak, plak yapımında ve kimyasal maddelerin bulundurulduğu kapların çeperlerinde kullanılır. Sert PVC folyolardan, manyetik ses bantları; yağ geçirmeyen kaplar ve selofen bantları, saydam ve renkli filmler yapılır.

7. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

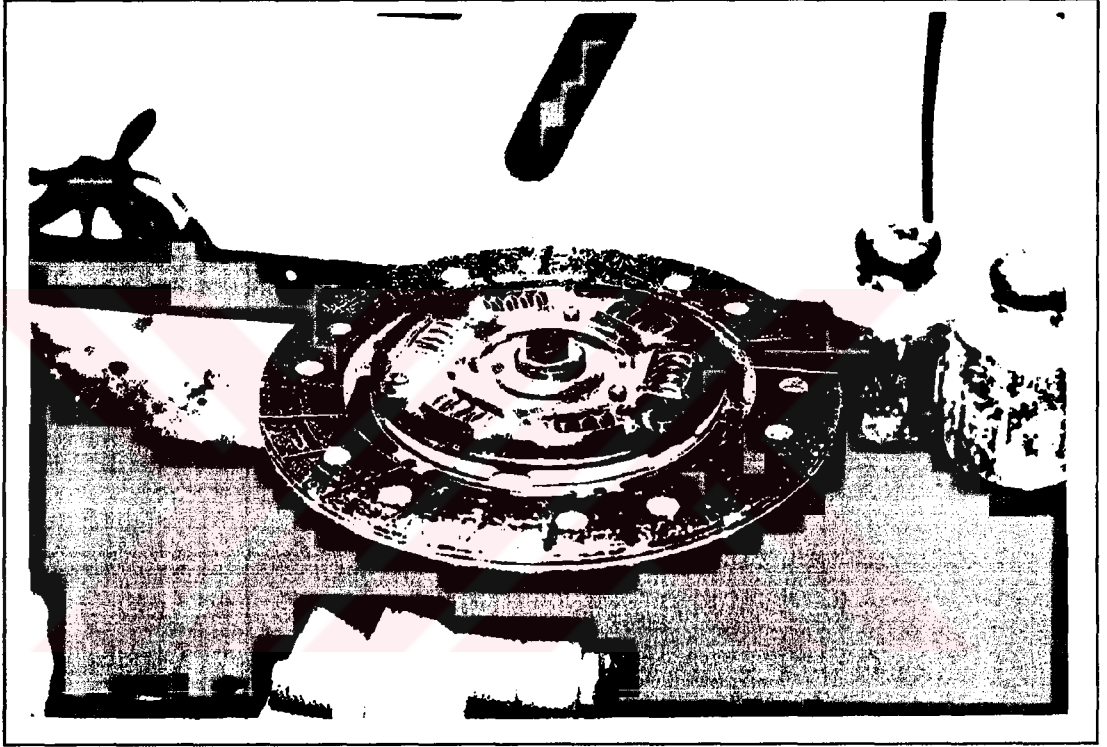
7.1 Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalar için Resim-1'de görülen deney seti kurulmuştur. 0.55 kW. gücünde bir elektrik motoru kaplinine kasnak monte edilerek devir sayısının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Elektrik motorundan alınan devir kayış kasnak sistemi ile üzerinde "doğan" marka otomobilin debriyaj balatası bulunan mile aktarılmaktadır. Debriyaj plakasının kullanılmasının nedeni, gerektiğinde aynı özelliklere sahip yeni bir debriyaj plakası ile değiştirilebilmesidir. Ayrıca elektrik motorundan kayış-kasnak sistemiyle aktarılan hareket ister istemez titreşimlere sebep olabilecektir. Titreşimleri sönmüştür. Titreşimleri için debriyaj üzerindeki yaylara benzer bir sistem kurmak yerine, titreşimleri yutan ve fabrikasyon imal edilen debriyaj plakasını kullanmak daha avantajlıdır (Resim 2).



Resim 1, Deney setinin genel görünüşü

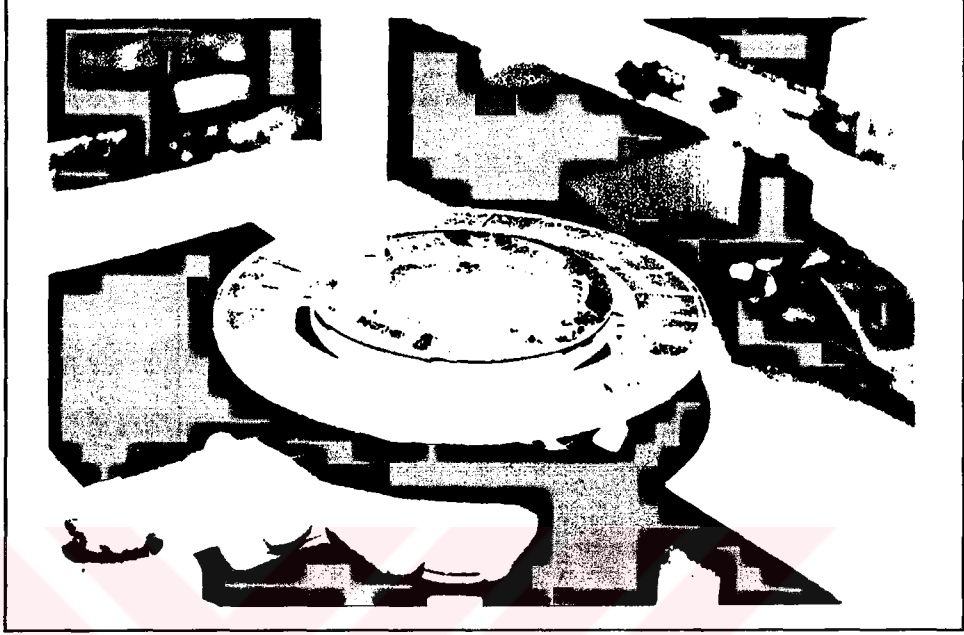
Deney düzeneğinde hazır debriyaj plakasının diğer bir nedeni, sürtünme katsayısını literatürlerde verilmiş olmasıdır.



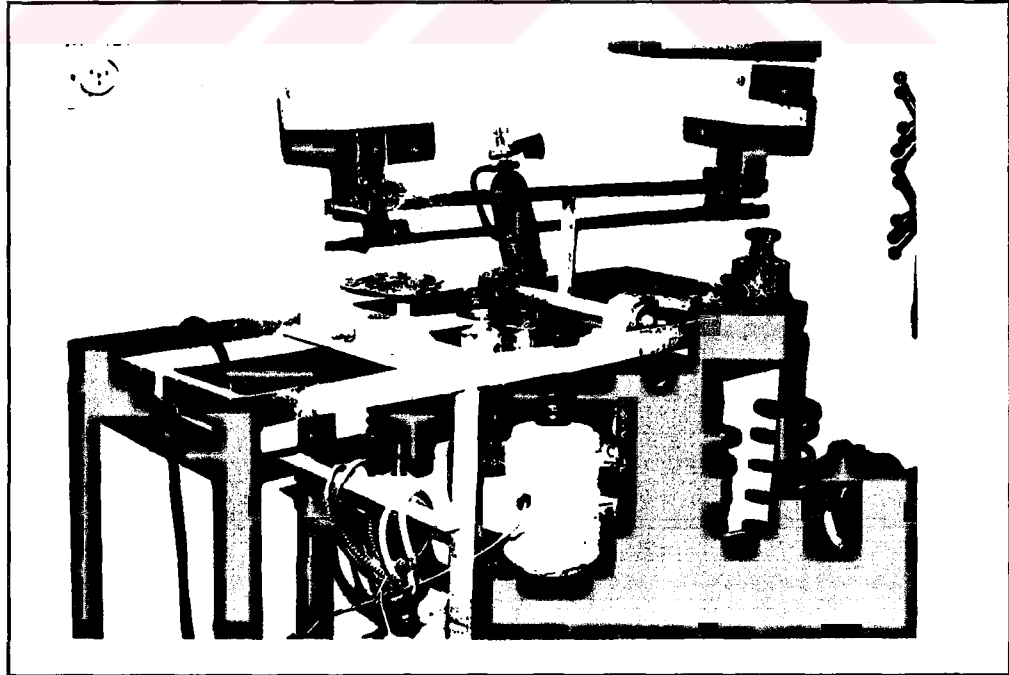
Resim 2, Deneyde kullanılan debriyaj plakasının genel görünümü

Resim-3'de görüldüğü gibi deneysel uygulamalara maruz tutulan silindirik plastik malzemelerin tutturulduğu manivela koluna benzer bir düzenek kurulmuştur.

Silindirik plastik malzemenin yüzeyinin debriyaj plakası üzerindeki balata üzerine dik bindirme yapması ayrıca balatayı ortalaması için bir kızak sistemi yapılmış ve manivela kolu, balatanın radyal yönünde hareket edebilmesini sağlamıştır (Resim 3 ve Resim 4).

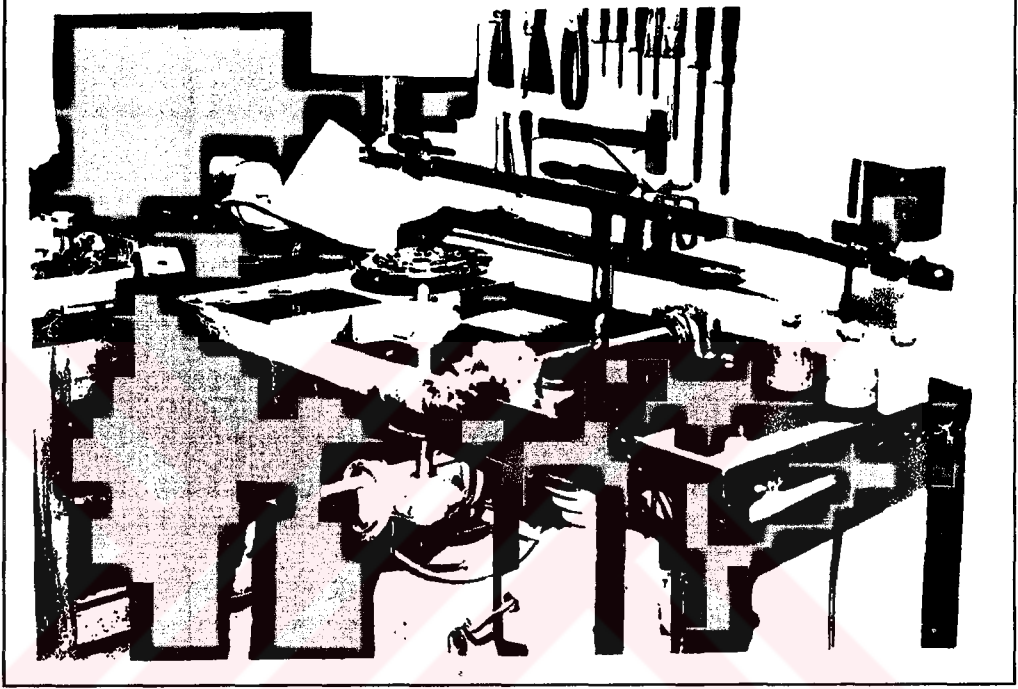


Resim 3, Plastik çubuğun balata üzerine yaptığı düşey bindirme



Resim 4, Plastik çubukların tutturulduğu manivela kolu

Manivela kolunun debriyaj plakası eksenî yönünde hareketini sağlamak amacıyla bu rulman yatak kullanılmıştır. Kaymalı yatak yerine rulman kullanılması nın nedeni, sürtünme kayıplarının minimuma indirilmesidir. (Resim-5)

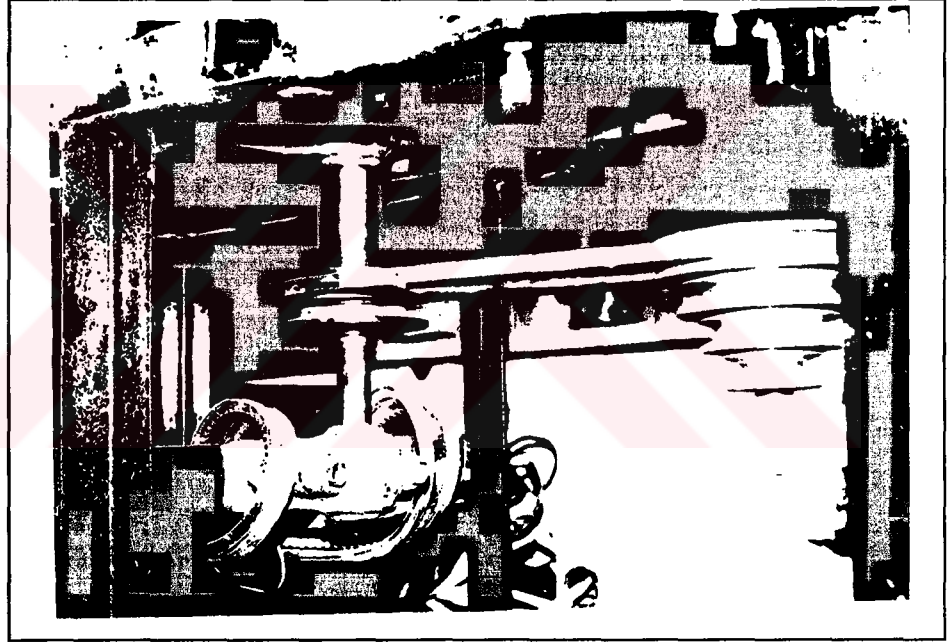


Resim 5, Manivela kolunda kullanılan rulman yataklar

Manivela kolunun iki başına aynı ağırlıklara sahip kutular monte edilmiştir. Manivela kolu yatay konuma getirildiğinde, yatay konumda tutularak ağırlıklar arasında farklılığın olmadığı çubuğun yatay konumunu muhafaza etmesinden anlaşılmıştır (Resim-4).

Deneysel çalışmalarda kilolar kullanılmıştır. Manivela kolu ve silindirik plastik çubukların kendi ağırlığı nedeniyle ağırlıklarda değişiklik olup olmadığını saptamak için hassas el kantarı kullanılmıştır. El kantarı kiloların konulduğu kutunun merkezine takılarak yukarı doğru oldukça ağır hareket ettirilerek çekilmiş ve plastik çubuğun balatadan ayrılmaya başladığı noktadaki skala video kamera ile tesbit edilmiştir .

Debriyaj plakasının bulunduğu mil sabit yapılmıştır. Elektrik motorundan alınan hareketin debriyaj plakasını taşıyan mile aktarılmasında kayışta kasılmaları ve merkezden kaçmaları önlemek için elektrik motoru düşey yönde bir kızak üzerine oturtulmuş; böylece kayışın yuvasına düzgün oturması ve yatay konumunu muhafaza etmesi sağlanmıştır. Değişik devirlere geçişte elektrik motorunu düşey konumu üzerinde oynanarak ayar yapılmıştır(Resim-6).



Resim 6, Kayış, kasnak sistemi ve yüksekliği ayar mekanizması

Sürtünme katsayısının doğruluğunu saptamak için,debriyaj plakası üzerine bir yük konulmuş ve debriyaj plakasının eğik konumdaki açısı değiştirilerek yükün harekete başladığı açı ölçülmüştür. Deneysel okunan değerler literatürdeki değerleri sağladığı görülmüştür.

7.2 Deneyleerde EŖit KoŖulların Sağlanması

Deneysel alıŖmaların yorumlanmasında deney koŖulları önemli rol oynamaktadır. Öncelikle deneyin yapıldığı ortam, deęiŖikliğe uğramamalıdır. Bu nedenle deney süresince aŖağıda belirtilen hususların deęiŖmemesi için azami gayret gsterilmiŖtir. Deney koŖullarında görülen en kk deęiŖme sonucunda, söz konusu deney tekrarlanmıŖtır.

Elektrik motorunun devir sayısının deęiŖmesinin, plastik buklarda meydana gelen aŖınmayı etkileyeceği açıktır. Bu nedenle pens ampermetre ile elektrik motorunun çektiği akım sürekli llmŖtir. Diğer taraftan debriyaj plakasını taŖıyan milin alt ucuna takılan takometre ile mil değeri sürekli gözetim altında tutulmuŖtur. Çıplak gözle yapılan ölçümlerde refleksler sonucu kk sapmaların gözden kaçabileceği dikkate alınarak, deneylerin büyük bir kısmı video kameraya alınmıŖ ve tekrar tekrar seyredilerek sapmaların meydana geldiği deneyler iptal edilmiŖtir.

Ağırlık ve zamana bağlı plastik malzemedeki aŖınmalar incelendiğinden, zaman aralıkları kronometre ile llmŖ, ayrıca kameranın saat göstergesi açık tutularak kronometre ile paralellik saęlanmıŖtır.

Plastik buklar aynı malzemedden tornalanmıŖtır. Çapları ve boyları aynı özellikle imal edilmiŖtir. Deneyler sonucunda buklardaki kısalmalar kumpas ile llmŖtir. Ayrıca kuyumcu terazisi ile deney öncesi ve deney sonrası bukların ağırlıkları, gram cinsinden gramın binde biri hassasiyetiyle llmŖtir.

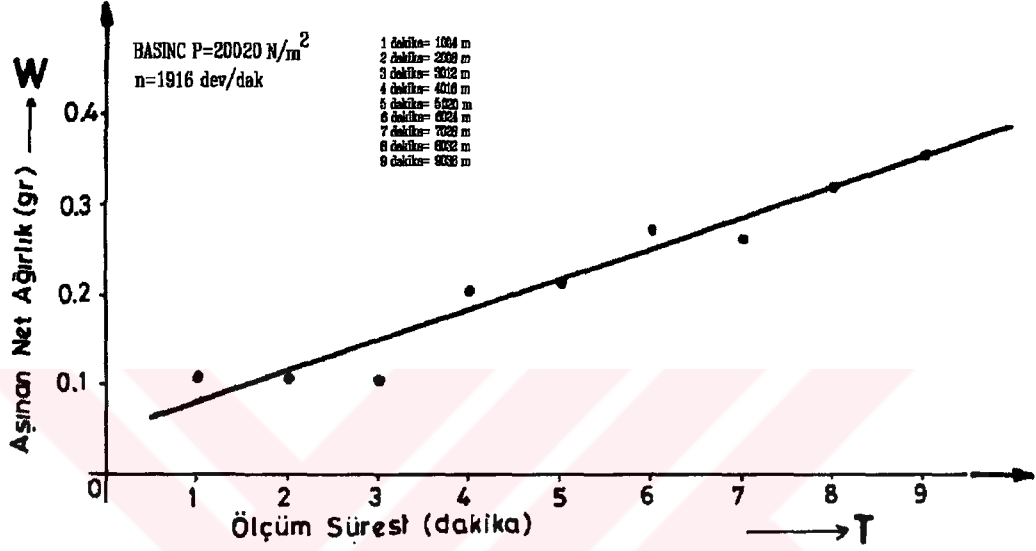
Balata üzerinde biriken plastik talaşlar, kıl fırça ile her deney sonrası temizlenmiştir. Uzun ölçmelerde ağırlık altındaki balatanın ısındığı saptandığından, sıcaklık etkisiyle aşınma miktarının değişebileceği varsayımından hareket edilerek, balata tamamen soğumadan yeni ölçümlere geçilmemiştir.

Çevre sıcaklığı deney sonuçlarını etkileyebileceğinden bir termometre ile oda sıcaklığı deney süresince ölçülmüş ve aynı oda sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.

7.3 Deneysel Ölçmeler

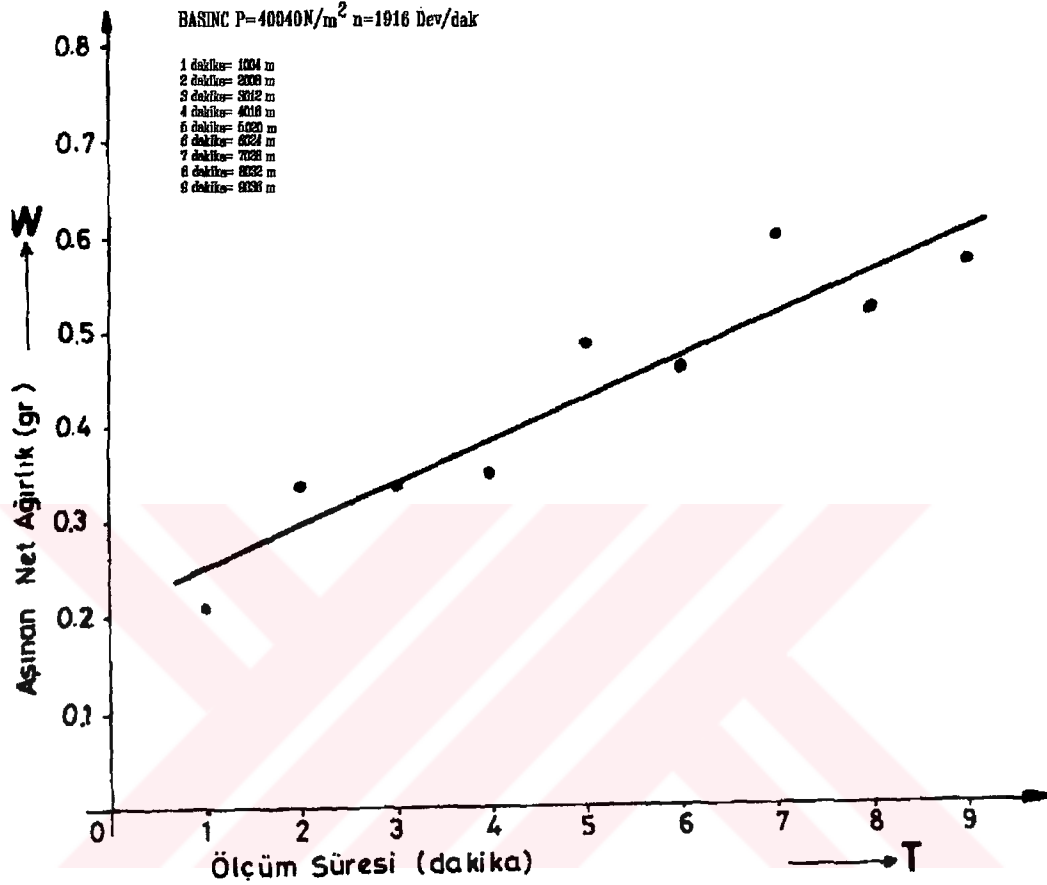
Deneysel ölçmelerde aşağıdaki yol izlenmiştir. Sabit devir sayısında ve sabit yük altında, zamana bağlı aşınan malzeme miktarı ölçülmüştür. Sonra devir sabit tutularak ancak yük değiştirilerek, aynı zaman dilimleri için aşınan malzeme miktarları ölçülmüştür.

Diyagram 1'de deney seti devri $n=1916 \text{ dak}^{-1}$ ve uygulanan basınç $P=20 \text{ kPa}$ 'dır. Artan ölçüm süresine bağlı olarak plastik malzemede aşınan net ağırlık değişiminin verildiği diyagramda, aşınmanın süreye bağlı olarak doğrusal değiştiği görülmektedir. Aynı diyagramda apsiste dakika olarak verilen sürelerin ne miktarda aşınma yoluna karşılık geldiği de metre olarak verilmiştir.



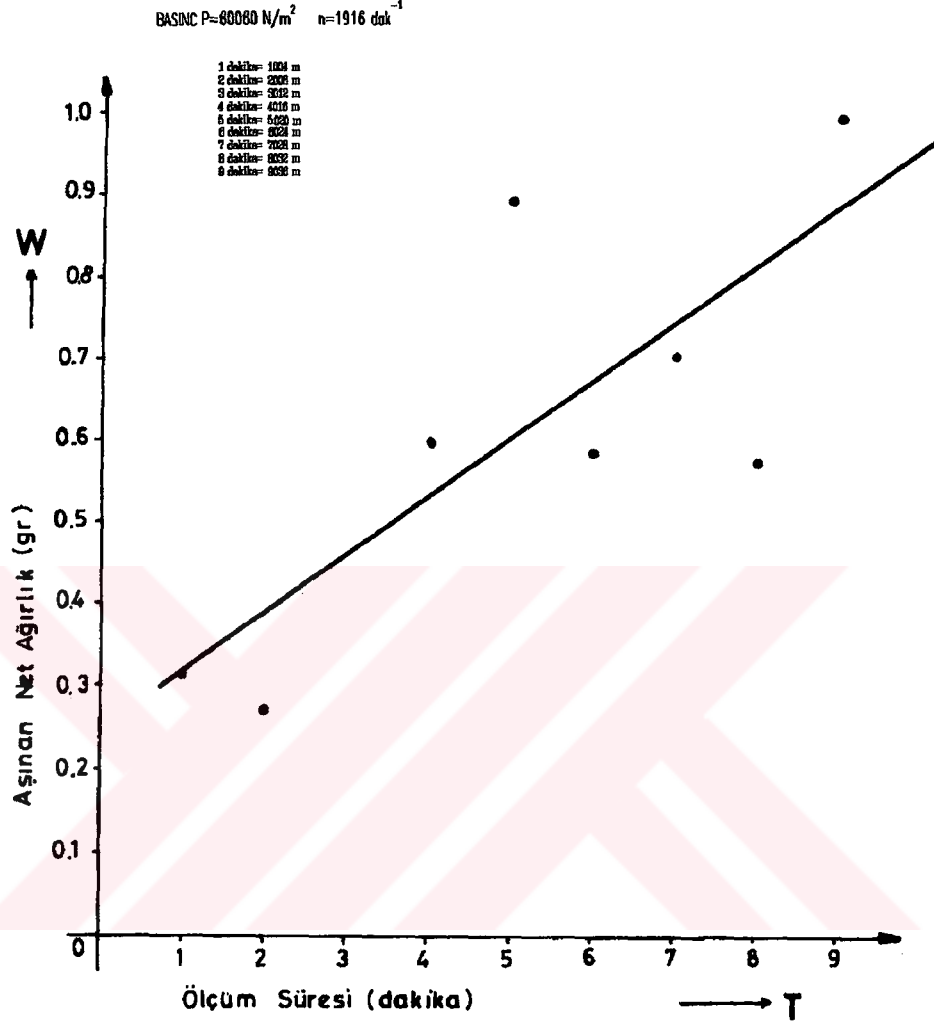
Diyagram 1, $P=20020 \text{ N/m}^2$ basınç ve $n= 1916 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık

Diyagram 2'de deney seti devri $n=1916 \text{ dak}^{-1}$ ve uygulanan basınç $P=40 \text{ kPa}$.'a çıkarmıştır. Diyagramdan da farkedileceği gibi aşınan miktar Diyagram 1'dekine oranla artma göstermiştir. Deneyden elde edilen ölçme sonuçlarının dağılımı, 20 kPa . basınç altında yapılan ölçümlerle uyum içerisindedir.



Diyagram 2, $P=40040\text{ N/m}^2$ basınç ve $n=1916\text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlığın ölçüm süresine bağlı değişimi

Diyagram 3'te görülen serpm diyagramı incelendiğinde 1 ve 2 nolu diyagramlara oranla aşınmanın arttığı hemen farkedilir. Sonuçlardan beklenti de bu yöndedir. Çünkü artan ağırlık karşısında aşınmanın artması gerekir. 60 kPa. ve 80 kPa.'lık basınç altında artan süre karşısında aşınan plastik malzeme miktarında önemli değişiklik olmadığı görülür. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir. 60 kPa.'lık basınç altında 4. dakikadan sonra ve 40 kPa. lık basınç altında ise 3. dakikadan sonra

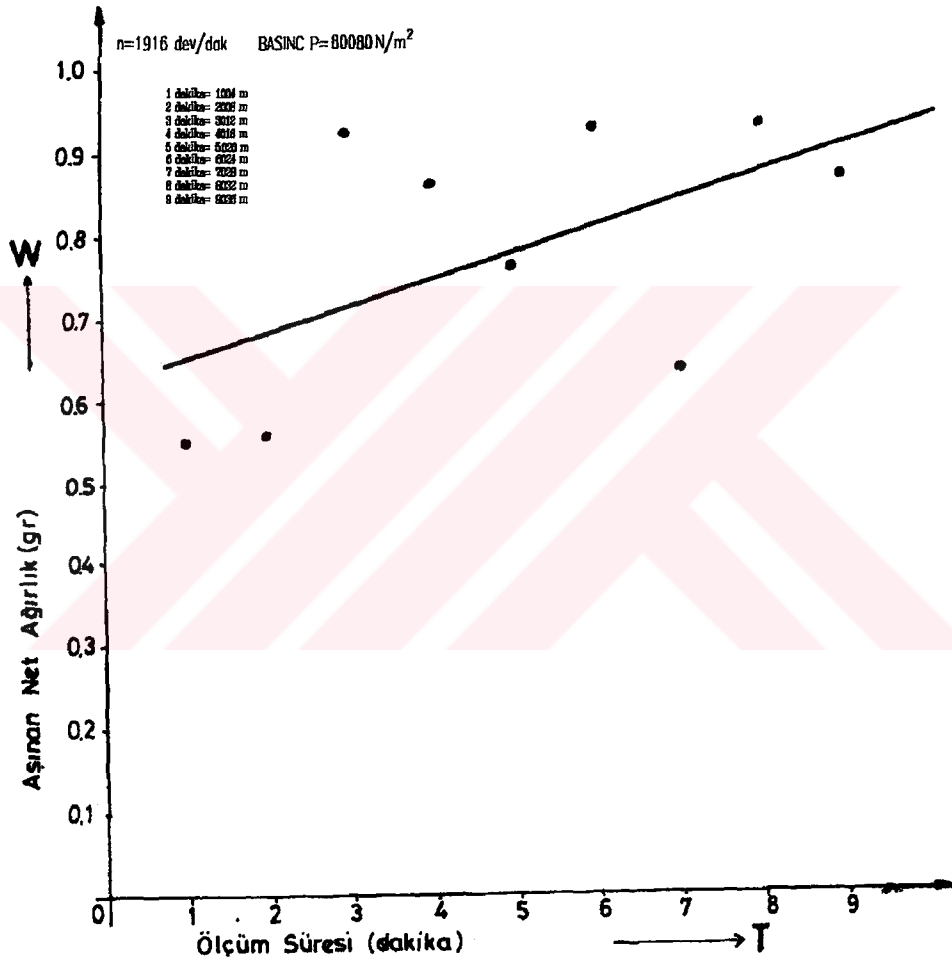


Diyagram 3, $P=60060 \text{ N/m}^2$ basınç ve $n=1916 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede

balata üzerinde biriken plastik malzeme kayganlık oluşturmakta ve plastik malzeme ile balata yüzeyi birbirine alışmaktadır.

Burada önemli bir sonuç çıkmaktadır. Deneyde kullanılan plastik malzeme; çalıştığı ortama ve sıcaklığa bağlı olarak belli bir süre sonra sürtünen yüzeylerin birbirine alışması

ile sürtünme aşınması düşmeye başlamaktadır. Avantaj olarak ortaya çıkan bu durumda, önemli olan basınç olmaktadır. basınç ve sürtünmeden ötürü meydana gelen sıcaklık sabit tutulabilirse, bir noktadan sonra sürtünmeden meydana gelen aşınma kendiliğinden sabit seyredecektir.

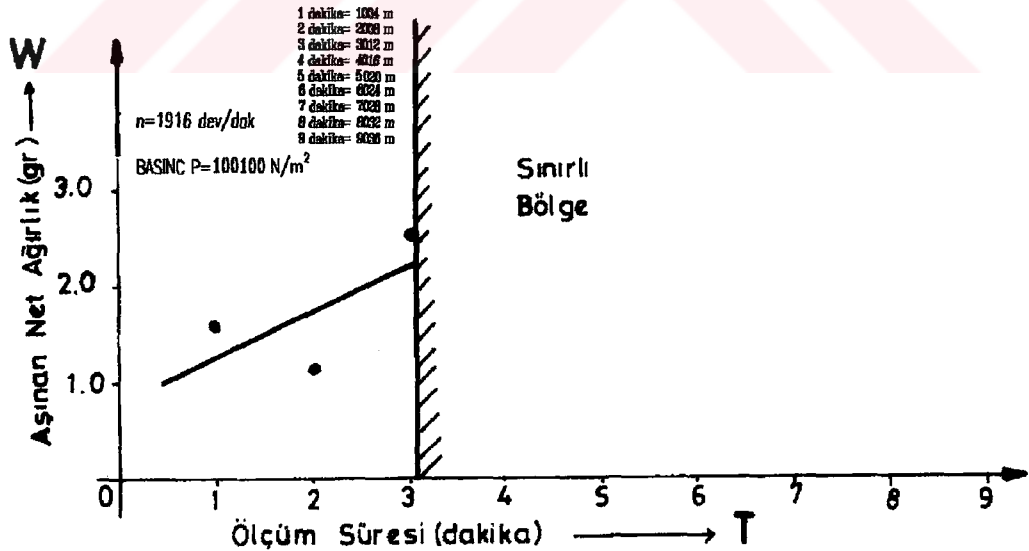


Diyagram 4, $P=80080 \text{ N/m}^2$ basınç ve $n= 1916 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.

3 ve 4 nolu diyagramlarda deney sonuçlarındaki sapmanın 1 ve 2 nolu diyagramlardaki değerlere oranla artma göstermesinin nedeni, artan basınç altında balata plakasının

düşey yüke maruz kalmasıdır. Artan düşey basınca bağlı olarak, balata plakası ister istemez salınım yapmakta, her ne kadar balata üzerinde titreşimi yutan yaylar bulunmakta ise de basınç artınca titreşimler tamamen sönümleşmemektedir.

Diyagram 5'te ilginç bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu deneyde balataya uygulanan basınç 100100 kPa.'a çıkartılmaktadır. Diğer bir deyimle plastik çubuk malzeme, balataya daha aşırı bir basınçla etki yapmaktadır. Deney süreleri öncekilerle aynı tutulmasına karşın, daha ilk dakikalarda aşınma büyük olmaktadır. Gene ilginç olan bir nokta 5 nolu diyagramdaki deney şartlarında 3. dakikadan sonra malzeme aşınmasının ölçülememesidir. Çünkü malzeme artan basınç ve sürtünme ısısı karşısında erimiştir.

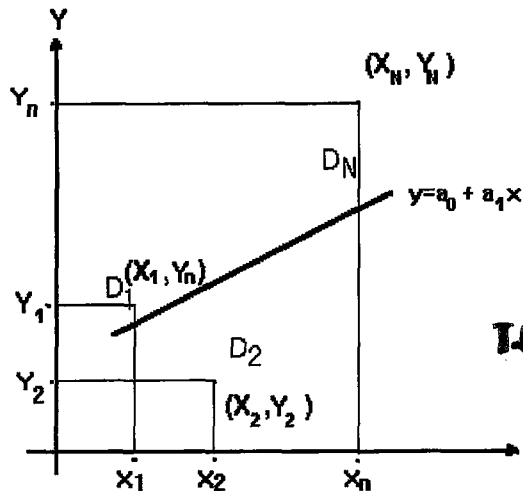


Diyagram 5, P=100100 N/m² basınç ve n=1916 dak⁻¹ değerinde sınır bölgesinin tanımı

Yukarıdaki diyagramlarla ilgili yapılan yorumların doğruluğunun desteklenebilmesi için regrasyondan yararlanılabilir. Çünkü, özellikle 1. ve 2. diyagramlarda deney sonuçlarının dağılımı incelendiğinde lineer bir değişimin olduğu farkedilir. 3. ve 4. diyagramlarda da öncekiler kadar olmasa bile yine lineer regrasyonun uygulanabileceği görülmektedir. Sonuçları bilimsel bir temele oturtmak için en küçük kareler yöntemi kullanılarak aşağıdaki formülasyonlar yazılabilir.

7.4 En Küçük Kareler Metodu

Şekilde görülen ve (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) ... (X_N, Y_N) notasyonu ile tanımlanan noktaları göz önüne alalım. Herhangi bir X_i değeri için iki Y değeri vardır. Bunlardan biri X_i değeri ile birlikte verilen Y_i değeri, diğeri ise X_i değeri için regrasyon doğrusundan bulunan Y_i değeridir. Y_i değeri ile Y_i değeri arasındaki farka "sapma", "hata" veya "artık değer" adı verilir. D_i ile gösterilen sapmalar pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Herbir X_i değeri için birtek D_i sapması değeri vardır. Bu nedenle N sayıdaki nokta için D_1, D_2, \dots, D_N olmak üzere N adet sapma değeri vardır.



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Şekil 7.1, Ölçüm değerlerinin lineer regrasyon ile değerlendirilmesi

Hata kareleri toplamı

$$S = \sum_{i=1}^N D_i^2 \quad (1)$$

denklemleri ile gösterildiği takdirde seçilecek her bir regresyon doğrusu için farklı bir S değeri elde edilir. Teorik olarak S değeri minimum olan doğrunun, serpiye diyagramındaki noktalara en iyi uyan doğru olduğu söylenebilir. Bu düşünceden, regresyon doğrusunun katsayılarını hesaplama işlemine en küçük kareler metodu adı verilir.

(1) Denklemimizin ikinci tarafı daha açık yazılırsa

$$S = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - Y_i)^2$$

$$S = \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 x_i - y_i)^2$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemde a_0 ve a_1 değişken olarak bulunmaktadır. S fonksiyonunun minimum değerini veren değişken değerinin bulunması için S fonksiyonunun a_0 ve a_1 değişkenlerine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenir ve elde edilen denklem sistemi çözülür. Bu halde;

$$\frac{\Delta S}{\Delta a_0} = \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 x_i - y_i) = 0$$

denklem sistemi bulunur. Denklemler yeniden düzenlenerek

$$(N) a_0 + \left(\sum_{i=1}^N x_i \right) a_1 = \sum_{i=1}^N y_i$$

$$\left(\sum_{i=1}^N x_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) a_1 = \sum_{i=1}^N x_i y_i$$

denklem sistemi elde edilir. Denklem sistemi matris notasyonu ile gösterilirse

$$\underbrace{\begin{pmatrix} N & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{pmatrix}}_M \underbrace{\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \end{pmatrix}}_A = \underbrace{\begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \end{pmatrix}}_N$$

$$MA=N \quad (3)$$

denklemini elde edilir. Eğer serpmeye diyagramındaki noktaların koordinatlarından faydalanılarak

$$\begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix}$$

matrisleri düzenlenirse

$M=X^T X$ ve $N=X^T Y$ olduğu görülür. Bu halde (3) nolu denklem

$(X^T X)A=X^T Y$ şekline dönüşür.

Denklemin her iki tarafı $(X^T X)^{-1}$ ile çarpılarak,

$$\frac{(X^T X)^{-1} (X^T X) A = (X^T X)^{-1} X^T Y}{\text{-----}_0}$$

I

$$IA = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad \text{veya}$$

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

denklemini elde edilir. Denklemin sağ tarafındaki matris işlemleri tamamlandığında A kolon matrisinin elemanları olarak regresyon doğrusuna ait regresyon katsayıları hesaplanmış olur.

NOT: Regresyon katsayıları ancak $(X^T X)$ matrisinin singüler olmaması halinde hesaplanabilir.

7.5 Korelasyon Katsayısı

Korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin dercesini tanımlayan bir kelimedir.

Değişkenler arasındaki korelasyon, korelasyon katsayısı adı verilen ve,

$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_0)^2}{\sum (Y_i - Y_0)^2}}$$

denklemleri ile tanımlanan katsayı ile ölçülür. Korelasyon katsayısı r , $+1$ ve -1 arasında değişik değerler alabilir. " r " nin -1 ya da $+1$ 'e eşit olması halinde değişkenler arasında mükemmel bir korelasyonun olduğu; " r " nin sifıra eşit olması halinde ise değişkenler arasında herhangi bir korelasyonun olmadığı değişkenler arasında bulunacak ilişkinin anlamsız olduğu söylenebilir.

Aşağıdaki program en küçük kareler metodu ile lineer regresyon katsayılarını ve korelasyon katsayılarını hesaplar.


```

10 CLS
20 READ N
30 'TX=TOPLAM X, TY=TOPLAM Y, TXY=TOPLAM X^2'NİN TOPLAMI
40 'TYK=TOPLAM Y^2'NİN TOPLAMI, TXY X*Y TOPLAMI
50 '---TX,TY, TXK, TYK, TXY HESABI---
60 FOR I=1 TO N
70 READ X,Y
80 TX=TX+X:TY=TY+Y:TXK=TXK+X^2:TYK=TYK+Y^2:TXY=TXY+(X*Y)
90 NEXT
100 '---LRB'NİN HESABI---
110 LRB=(N*TXY-(TX*TY))/(N*TXK-TX^2)
120 '---LRA'NİN HESABI---
130 LRA=(TY-LRB*TX)/N
140 '---COR HESABI---
150 COR=(N*TXY-TX*TY)/SQRT((N*TXK-TX^2)*(N*TYK-(TY)^2))
160 PRINT "LRB=":LRB
170 PRINT "LRA=":LRA
180 PRINT "COR=":COR
183 IF S=1 THEN END
185 PRINT :PRINT "İKİNCİ DENEY SONUÇLARI":PRINT
186 TY=0:TX=0:TYK=0:TXK=0:TXY=0:S=1:GOTO 20
190 END
200 DATA 9
210 DATA 1,0.1095,2,0.1089,3,0.1086,4,0.2085,5,0.2138
220 DATA 6,0.2737,7,0.2648
230 DATA 9
240 DATA 1,0.2051,2,0.3340,3,0.3345,4,0.3498,5,0.4853
250 DATA 6,0.4597,7,0.5927,8,0.5193,9,0.5701

```

Yukarıdaki formülasyonlar ışığında lineer regrasyon için bir BASIC programı yazılmıştır. Deney sonuçları bilgisayarda değerlendirildiğinde tablo 1 sonuçları elde edilmiştir. 1. ve 2. diyagramlarda çok güzel bir korelasyon olduğu ($r=0.971$ ve $r=0.934$) görülmektedir. Keza 3. ve 4. diyagramlarda da yine iyi korelasyon elde edilmiştir.

Tablo 1: $n=1916$ dak^{-1} devirde ve değişik basınçlar altında yapılan deneylerden Diyagram 1,2,3 ve 4'de verilen noktaların lineer regrasyon sonuçları.

UYGULANAN BASINÇLAR

	sembol	20 kPa	40 kPa	60 kPa	80 kPa	100 kPa
SAYI	n	9	9	9	9	3
TOPX	$\sum X$	45	45	45	45	6
TOPY	$\sum Y$	1.9642	3.8505	5.4213	7.033	5.2838
TOPX ²	$\sum X^2$	285	285	285	285	14
TOPY ²	$\sum Y^2$	0.4992	1.7806	3.7522	5.699	10.30
TOPXY	$\sum XY$	11.819	21.894	31.332	37.05	11.52
ARİT. ORT.	$\sum X/n$	5	5	5	5	2
ARİT. ORT.	$\sum Y/n$	0.2182	0.4278	0.6023	0.7814	1.76612
SDXN	X_{ort}	2.5819	2.5819	2.5819	2.5819	0.816
SDYN	Y_{ort}	0.0885	0.1217	0.2325	0.1502	0.5761
SDX	$X_{\text{ort}}-1$	2.7338	2.7338	2.7386	2.7386	1
SDY	$Y_{\text{ort}}-1$	0.0939	0.1290	0.2466	0.1593	0.7056
LRA	a	0.0517	0.2076	0.2502	0.6244	0.8069
LRB	b	0.0333	0.0440	0.070	0.0314	0.477
KORELAS YON	r	0.971	0.934	0.782	0.5399	0.6761

Bu sonuçlar yukarıda deney sonuçları için düşünülen tasarımın doğruluğunu ortaya koymaya yeterlidir. Matematiksel modelleme sonucunda deney sonuçları için elde edilebilecek doğru denklemleri sırasıyla ,

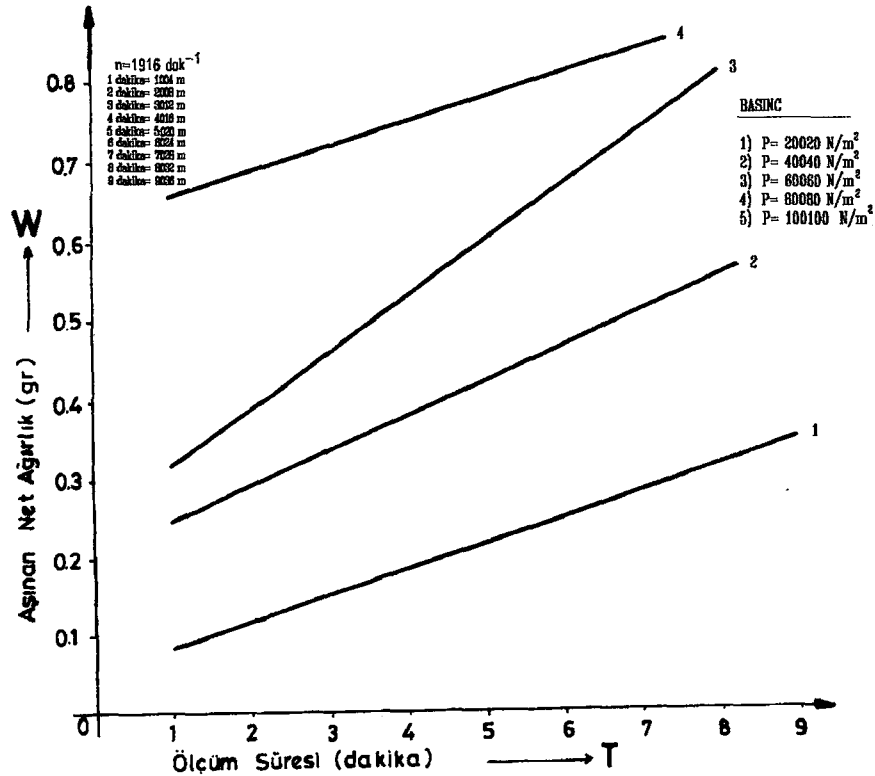
$$W=0.0517+0.0333T$$

$$W=0.20765+0.0440T$$

$$W=0.2502+0.070T$$

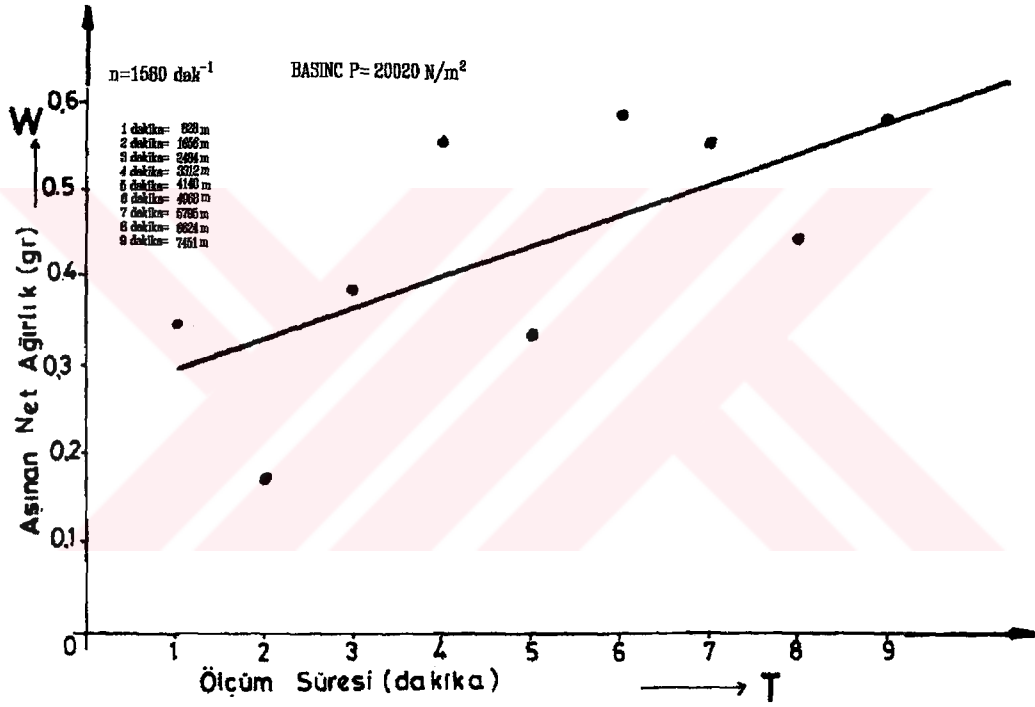
$$W=0.62444+0.0314T$$

şeklinde bulunur. Bu sonuçlar Diyagram 6'da toplu gösterilmiştir. Diyagram 6'da görüldüğü gibi artan basınca bağlı olarak aşınan malzeme miktarı da artmaktadır. 20,40 ve 60 kPa.'larda doğruların eğimi artarken 80 kPa.'lık basınçta doğru eğimi düşmektedir. Bunun nedeni sürtünen yüzeylerin ısınması sonucu aşınmayı kısmen frenlemesi olarak gösterilebilir. Basınç artırıldığında örneğin 100 kPa.'a çıkartıldığında plastik malzeme erimiştir. Bu durum Diyagram 5'de açıklanmıştır.

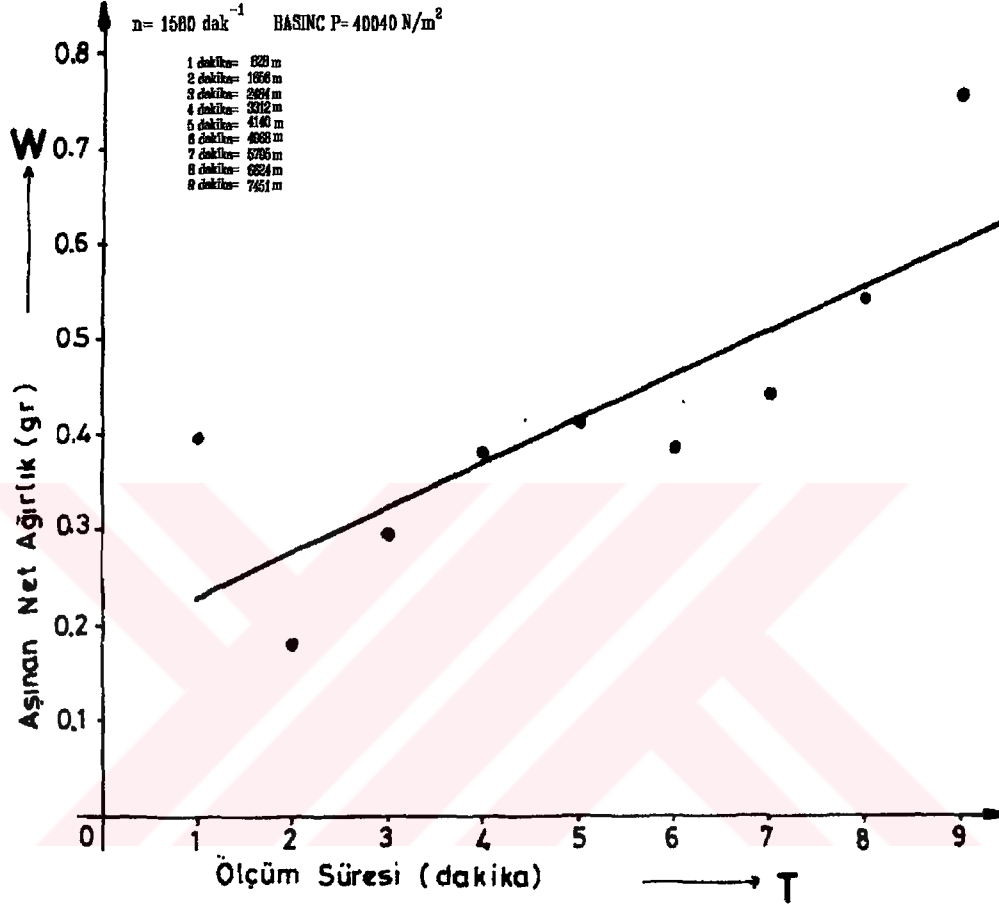


Diyagram 6: n=1916 dak⁻¹ değerinde değişik basınçlar altında plastik malzemede aşınan net ağırlık.

Deneyler $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde tekrarlanmıştır. Devir sayısı değiştirilirken, diğer parametreler(basınç, süre, sıcaklık kontrolleri) sabit tutulmuştur; Devir sayısının sonucu nasıl etkilediği saptanmaya çalışılmıştır.



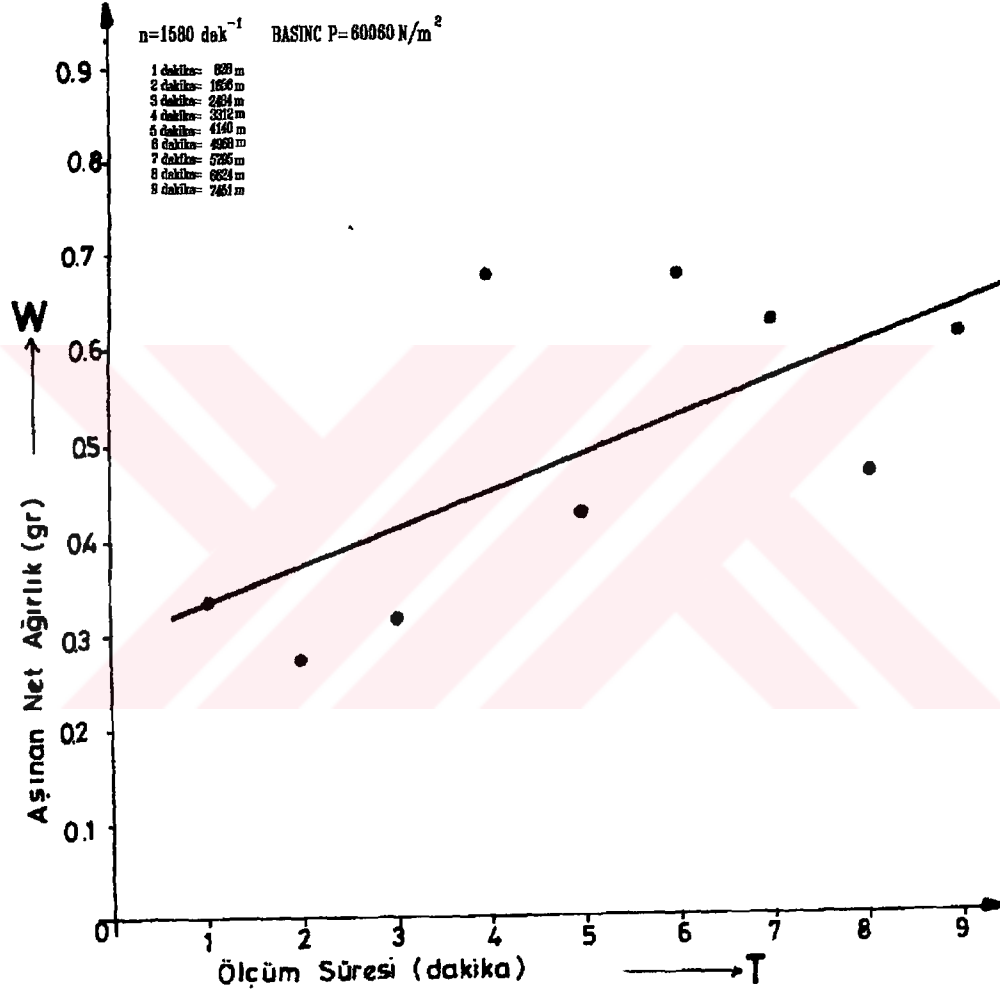
Diyagram 7, 20 kPa. basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemedeki aşınan net ağırlığın ölçüm süresine bağlı değişimi



Diyagram 8, 40 kPa. basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.

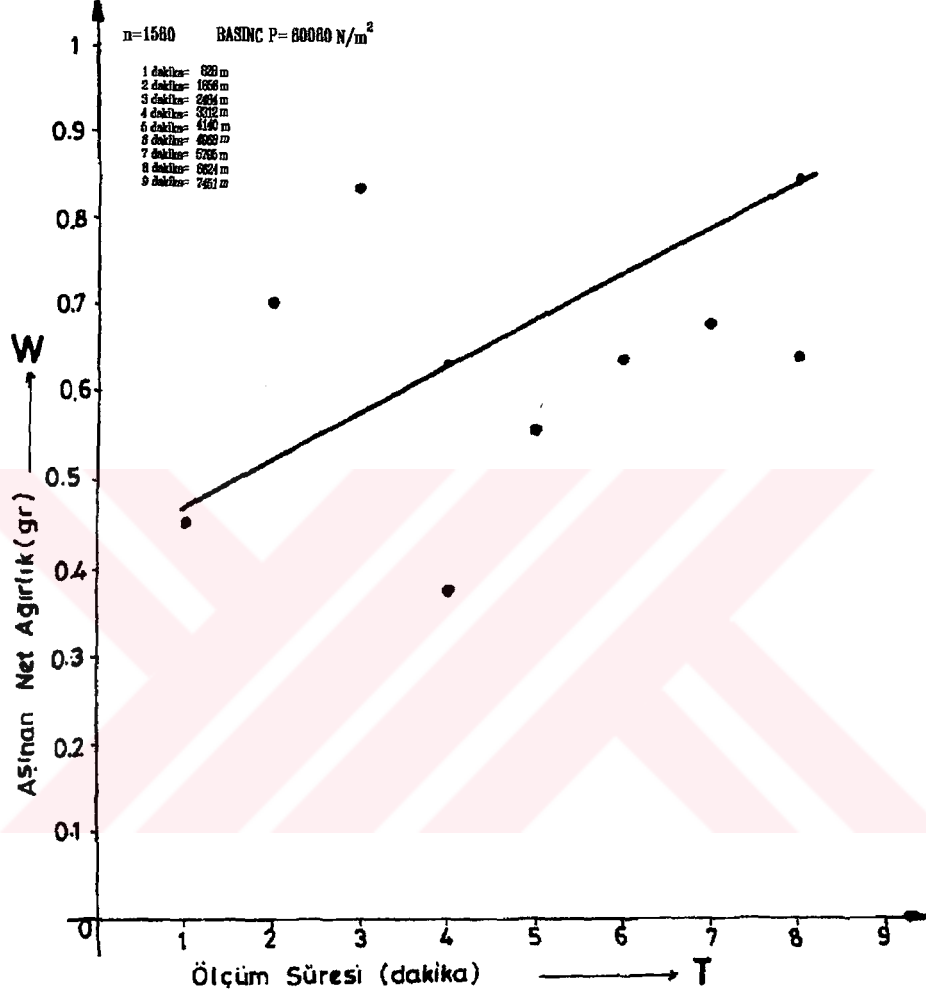
Diyagram 7 ve 8 de, özellikle de 8 nolu diyagramda deney sonuçlarının bilgisayarda regrasyonu neticesinde elde edilen doğru, noktalarla uyum gösterirken, 9 ve 10 nolu diyagramlarda sapmaların arttığı farkedilmektedir. Bu sapmaların artmasının nedeni, artan düşey basıncın balataya yaptığı baskıdır. Balata üzerindeki titreşim yayları, maruz kaldığı basınç nedeniyle titreşimleri tamamen sönmüştür. Bunun sonucu olarak dakikada 1580 devir yapan balatanın yatay konumu çok az da olsa (maksimum 1 derece) sapabilmektedir. Ayrıca deney süresi her ne kadar gerek

kamera ve gerekse kronometre ile sabit tutulmuşsa da saniyenin onda biri kadar bir gecikmenin olması da sonuçları etkileyebilecektir. Pens ampermetre ile elektrik motorunun çektiği akım sürekli ölçülmüş ve deneyler boyunca devir sabit



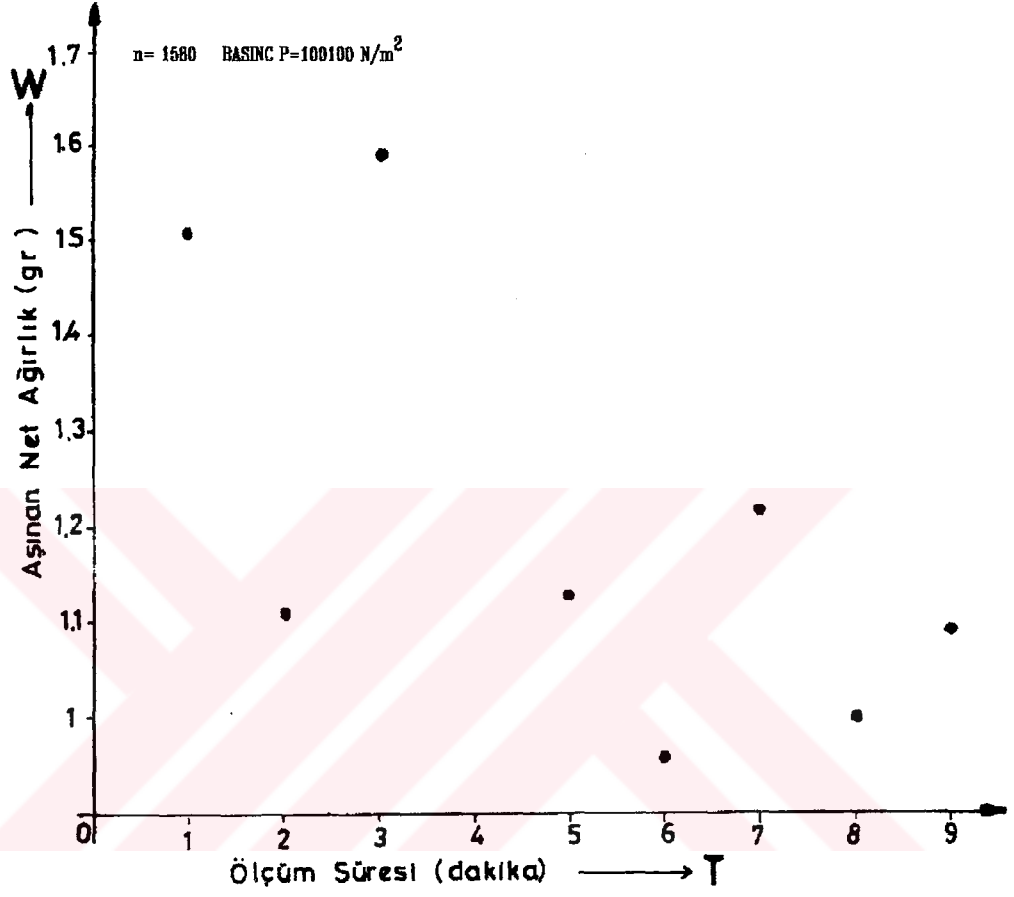
Diyagram 9, 60 kPa. basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.

tutulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle de bazı deneyler bir kaç kez tekrarlanmıştır. Devir sayısında değişiklik yapılarak, sürtünmenin yola bağlı değişimi incelenmiştir.



Diyagram 10, 80 kPa. basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.

11 nolu diyagramda noktalar arasında hiçbir korelasyonun kalmadığı ($r=-0.093$) görülmektedir. Zaten malzeme eriyerek sakızimsı bir yapıya dönüşmüştür. Diğer bir deyimle malzemenin özelliği artık değişmiştir.



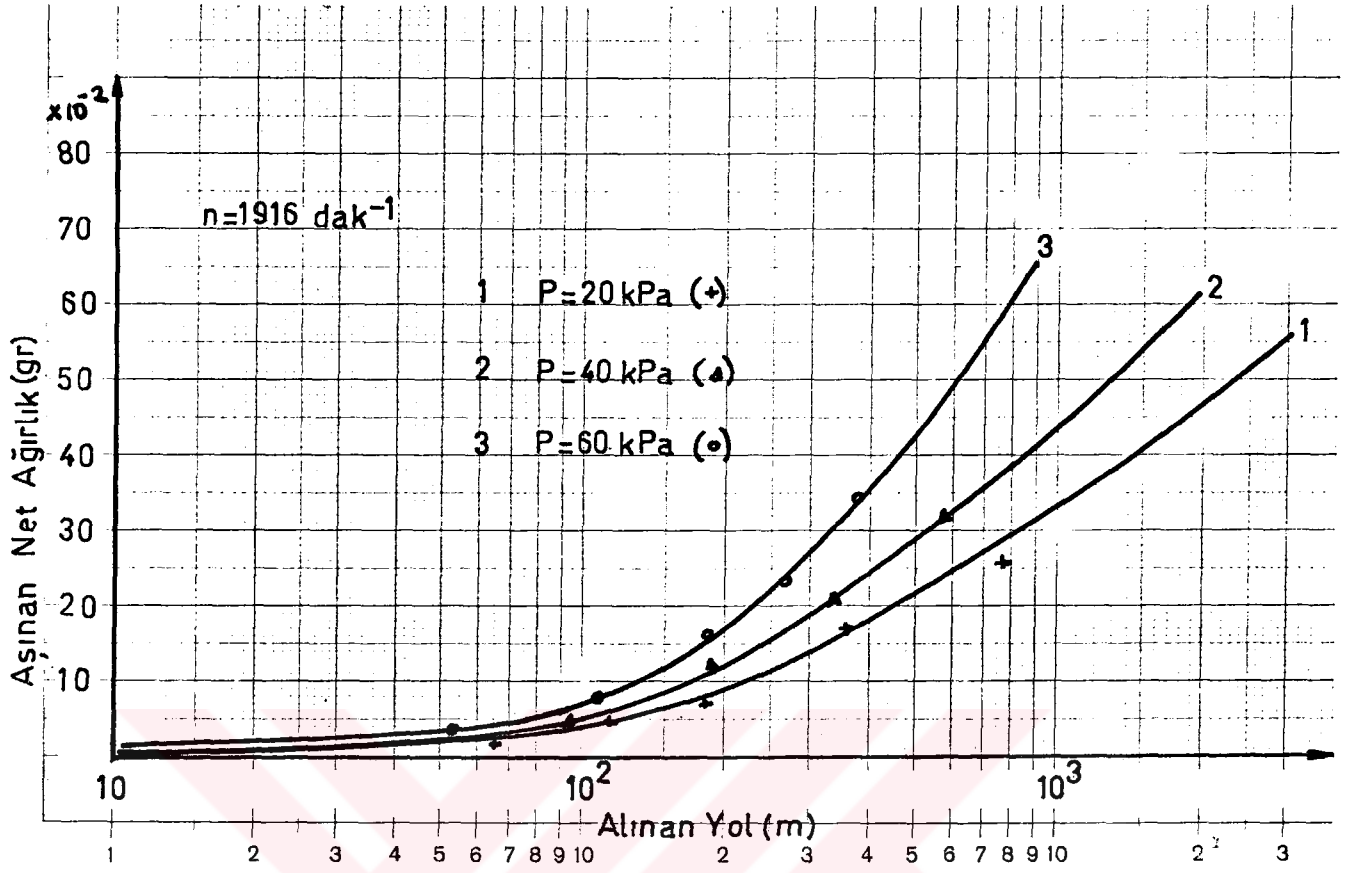
Diyagram 11, 100 kPa. basınç ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerinde plastik malzemede aşınan net ağırlık.

Tablo 7.2, $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ devirde ve değişik basınçlar altında yapılan deneylerden diyagram 1, 2, 3 ve 4'de verilen noktaların lineer regresyon sonuçları.

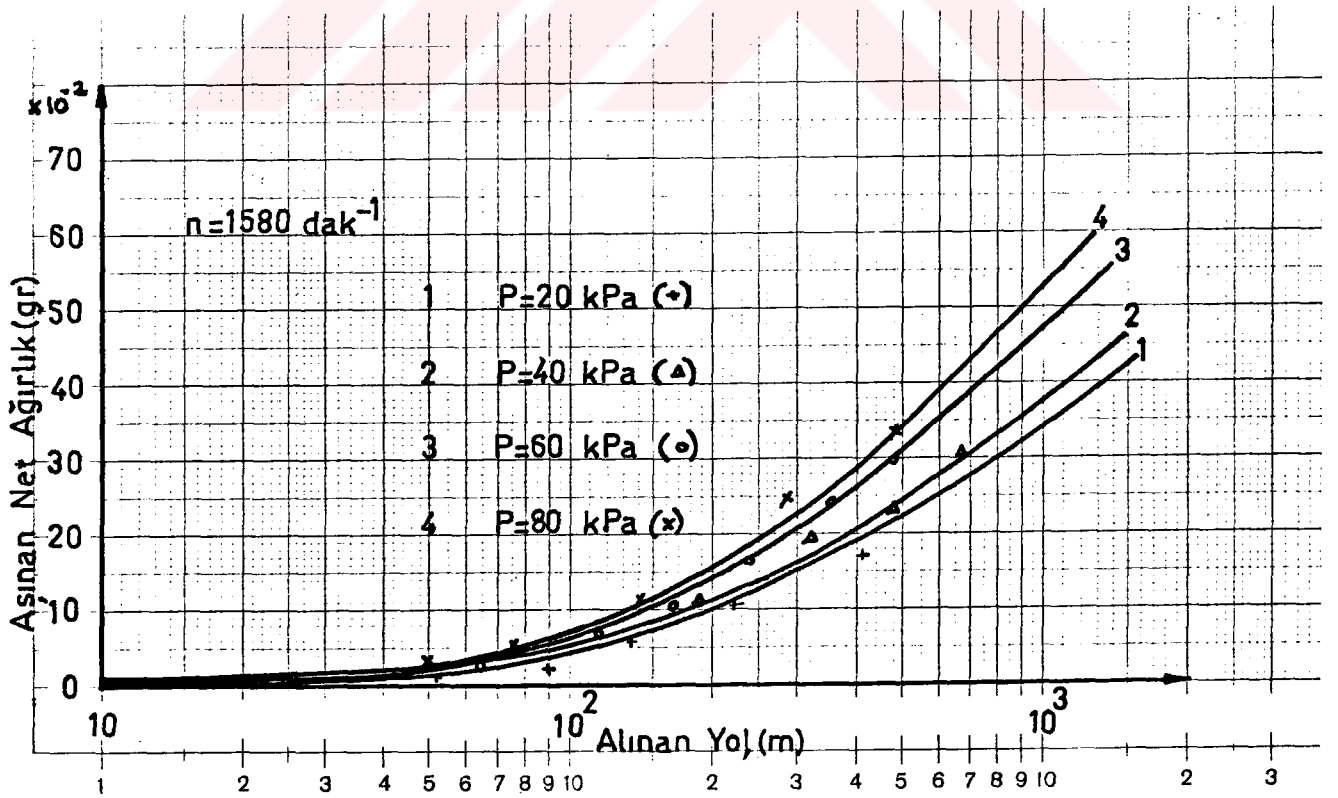
UYGULANAN BASINÇLAR

	SEMBOL	20 kPa.	40 kPa.	60 kPa.	80 kPa.	100 kPa
SAYI	n	9	9	9	9	9
TOPX	$\sum X$	45	45	45	45	45
TOPY	$\sum Y$	3.9638	3.7935	4.40	6.1837	12.347
TOPX ²	$\sum X^2$	285	285	285	285	285
TOPY ²	$\sum Y^2$	1.907	1.80	2.366	4.823	18.955
TOPXY	$\sum XY$	21.95	21.80	24.33	34.10	60.71
ART.ORT	$\sum X/n$	5	5	5	5	5
ART.ORT	$\sum Y/n$	0.44	0.4215	0.4899	0.687	1.3718
SDXN	$X\bar{O}n$	2.5819	2.5819	2.5819	2.5819	2.5819
SDYN	$Y\bar{O}n$	0.134	0.1517	0.1514	0.2527	0.473
SDX	$X\bar{O}n-1$	2.7386	2.7386	2.7386	2.7386	2.7386
SDY	$Y\bar{O}n-1$	0.1421	0.16	0.16	0.268	0.502
LRA	a	0.2624	0.1847	0.298	0.421	1.457
LRB	b	0.0355	0.0473	0.0382	0.053	-0.017
KORELASYON	r	0.685	0.805	0.65	0.54	-0.093

Diyagram 12 ve 13 de $n=1916 \text{ dak}^{-1}$ ve $n=1580 \text{ dak}^{-1}$ değerleri için farklı basınçlar altında plastik malzemedeki aşınmanın, alınan sürtünme yoluna bağlı olarak değişimi görölmektedir. Her iki diyagram yarı logaritmik olarak çizilmiştir. Aşınmanın 100 metre yol boyunca seyrinin oldukça yavaş değiştii farkedilmektedir. Ancak 100 metreden sonra eğrilerin dikleştii, dolayısıyla aşınan malzemenin ağrılığının arttığı açık olarak görölmektedir. Alınan yol daha uzasaydı, muhtemelen eğriler gittikçe dikleşecek ve bir noktadan sonra eğriler dik doğruya teğet konuma gelebilecektir. Deneysel olarak alınan sürtünme yolunun daha da artırılması, malzemenin erimesi nedeniyle mümkün olmamıştır.



Diyagram 12, Alınan yola bağlı olarak aşınan net ağırlık



Diyagram 13, Alınan yola bağlı olarak aşınan net ağırlık

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Keban Plastik A.Ş.'nin ürettiği plastik malzemenin sürtünmeye karşı gösterdiği davranış, deneysel olarak araştırılmıştır. Plastik malzeme günlük yaşantımızda hemen her alanda kullanılmaktadır. Hatta öyle ki, mutfak eşyalarının önemli bir bölümü plastik malzemedir. Örneğin bir pres robotun, et makinasının, mikserlerin, bulaşık ve çamaşır makinalarının önemli parçaları arasında plastik malzemeye rastlanmaktadır. Hatta günümüzde çamaşır makinalarının su pompalarının kanatları dahi kısmen plastikten yapılmaktadır.

Plastik malzemenin günlük yaşantımıza bu denli hızlı girmesinde sağladığı kolaylıkların rolü büyüktür. Hafif yoğunlukta olması, paslanmaması ve kolay şekillendirilebilmesi önemli özellikleri arasındadır. Özellikle radyoaktif ve kimyasal artık içeren sıvıların bir başka yere pompalanmasında mutlaka plastik pompalar kullanılır. Türkiye'de plastik pompa imalatı söz konusudur. Yukarıda sayılan kullanım sahaları incelendiğinde, plastik malzemelerin hareketli makina aksamlarında da kullanıldığı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak, (örneğin plastik destekli rulmanlarda olduğu gibi) dönen parçalarda sürtünme önemli bir problem olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç da plastik malzemenin sürtünmeye karşı davranışı hakkında fikir yürütmektir.

Deneyde kullanılan plastik malzeme imalatının ilimizdeki Keban Plastik Fabrikası'nda yapılmış olması ve bu malzeme kullanılarak fitting parçaları ile kapı pencere gibi imalatlara girilmesinin planlanması bu tür bir çalışmayı daha da önemli kılmıştır. Çünkü üretimi düşünülen parçaların hareketli aksamlarda çalışması da söz konusudur. Ayrıca imalatı yapılan plastik malzeme ile ilgili sürtünme aşınması deneylerinin yapılmadığı da saptanmıştır. Bu çalışma sonucunda saptanan önemli bulgular şöyle sıralanabilir.

1. İncelenen plastik malzemede aşınma lineer bir değişim göstermiştir. Deney sonuçları ile ilgili bilgisayarda yapılan lineer regrasyon yöntemi bu düşünceyi doğrulamıştır.

2. Sürtünen yüzeylerde sistemi etkileyen yükün önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak artan basınç değişimi karşısında aşınan malzeme miktarının da sürekli artması gerekeceği sanılmamalıdır.

3. Belirli basınç altında ve belirli bir süre sonrasında sürtünen yüzeyler arasında kayganlık oluşması, malzemenin ısınması ve malzemelerin birbirine alışması sonrasında sürtünme aşınması yavaşlamaktadır.

4. Basınç ve süre artırılmaya devam edilirse, plastik malzemenin katkı malzemelerine bağlı olarak aşırı ısınmadan ötürü malzeme erimeye başlamaktadır. O halde erime noktasına ulaşmamak için basınç ve süre için emniyet sınırları saptanmalıdır.

KAYNAKLAR

- AKKURT, S., (1991). **Plastik Malzeme Bilgisi** Birsen Yayınevi İstanbul.
- ANIK, S.; E., (1977). **Malzeme Bilgisi ve Muayenesi**. Birsen Kitabevi. İstanbul.
- ANTONY, K.C., (1983). Wear-Resistant, Cobalt-Base Alloys, J. of Metals. **Wear**. Vol. 35, S. 52-60.
- BAŞAR, Y., (1993). **Plastik Araştırma, Geliştirme ve İnceleme Dergisi**. Sayı 15, S. 11-28.
- CZICHOS, H., (1978). Tribology. **Tribology Series, Elsevier Science Publisher**. Vol. 1. Newyork.
- ÇELİK, H., (1991). **Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Aşınma Davranışları. İ.T.Ü. Doktora Tezi**.
- ESEN, M., (1989). Pnömatik Katı Taşınımında Aşınmanın Boya Yöntemiyle Saptanması. **F.Ü. Yüksek Lisans Tezi**.
- EYRE, T.S., (1975). Effect of Boronising on Friction and Wear of Ferrous Metal. **Wear**. Vol. 34, S. 383-397.
- FURBER, K.; and DOWSON, D., (1987). Wear Mechanisms for Nylon 66. **European Tribology Congress**. London.
- GÜRLEYİK, M.Y., (1976). **Hasar Bilgisi**. K.Ü. Mak. Müh. Böl. Yayın no 3, Trabzon. S. 131-143.

- HABIG, K.H., (1989). Wear Behavior of Surface Coatings. **Tribology International**. Vol 22, S. 65-75.
- KHRUSCHOW, M.M., (1974). Principle of Abrasive Wear. **Wear** Vol. 28, S. 69-88.
- LARSEN, J.A., (1990). **Scr. Met. et. Material**. Vol. 24, S. 821- 824.
- MECKLENBURG, K.R., (1957). Testing for Adhesive Wear; Selection and Use of Wear Tests For Metals, **ASTM 615 publication**, S. 12-29.
- MOORE, M.A., (1974). A Review of Two-Body Abrasive Wear. **Wear**. S. 1-17.
- RHEE, S.; LUDEMA K., C., (1987). Transver Films and Severe Wear of Polymers. **European Tribology Congress**. London.
- SOEMANTRI, S.FINNIE, I., (1985). Some Aspects of Abrasive Wear at Elevated Temperatures, **Wear** S. 77-91.
- ŞALVON, R., (1993). **Plastik Araştırma, Geliştirme ve İnceleme Dergisi**. Sayı 15, S. 7-10.
- TABOR, D., (1987). The Wear of Non-Metalic Materials: A Brief Review, **European Tribology Congress**. London.
- YILDIRIM, M.M., (1982). Malzeme Bilgisi, **Alaşımalar ve Plastikler** Cilt 2. Muh. Fakültesi Basımevi.
- YURDERİ, F., (1982). Aşınmaya dayanıklı Malzemelerin Aşınma Özelliklerine Metalurjik ve Diğer Faktörlerin Etkileri. **İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi**. S. 8-21.