

136170

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖKÜM POLİAMİD MALZEMELERİN  
CNC TAKIM TEZGAHLARINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**Gürcan ATAKÖK**  
(141101720010125)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. Mustafa KURT**

136170

**İSTANBUL 2003**

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABUL VE ONAY BELGESİ**

**TEZ ADI**

Gürcan Atakök' ün "Döküm Poliamid Malzemelerin CNC Takım Tezgahlarında İşlenebilirliği" isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07.07.2003 tarih ve 2003/13-47 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa KURT (M.Ü.T.E.F. Makine Eğt. B.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖKSÜZ (M.Ü.T.E.F. Metal Eğt. B.)

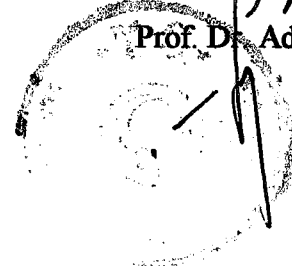
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT (M.Ü.T.E.F. Metal Eğt. B.)

Tezin Savunulduğu Tarih : 17.07.2003

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21.07.2003 tarih ve 2003/14-39 sayılı kararı ile Gürcan Atakök' ün Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Adnan AYDIN



## ÖNSÖZ

Mühendislik plastikleri ve kompozitler, günümüz dünyasında en hızlı gelişen ürün tipleridir. Her geçen gün yeni buluşlarla performansları artmakta, kullanım alanları genişlemekte ve birçok konuyu yeni çözümler getirilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda makine elemanı olarak kullanılmaları, bu malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili birçok bilginin bilinmesini gerektirmektedir. Bunların bilinmesi ve uygulanması da birçok firmaya pazarda büyük olanaklar yaratmaktadır. Yapılan bu çalışmayla, ürünlerin imalatçılarının, deneme-yanılma metoduna dayalı bilgilerine, işleme parametrelerinin bilimsel araştırmalara dayalı olarak elde edilmesi ile yararlı olacağı ve ihtiyaçlarını karşılayacağı hedeflenmiştir.

Çalışmalarında beni destekleyen ve her türlü konuda yardımcı olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Kurt'a, fikirlerini paylaştığım üniversitemiz öğretim üyelerinden Y. Doç. Dr. Halil Demirel, Y. Doç. Dr. Mustafa Öksüz, Y. Doç. Dr. Münir Taşdemir, Arş. Gör. Özkan GÜLSOY, Arş. Gör. Mustafa Ay, Arş. Gör. Barkın Bakır'a, deney malzemelerini temin ettiğimiz POLİKİM A.Ş. 'ye ve malzeme ile ilgili genel bilgileri ileten plastik sanayindeki firmalara teşekkür ederim.

**Haziran, 2003**

**Gürcan Atakök**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET .....	VI
ABSTRACT.....	VIII
YENİLİK BEYANI.....	X
SEMBOL LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR .....	XII
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIII
TABLO LİSTESİ.....	XVI
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER.....	5
II. 1. MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİ.....	5
II. 1. 1. Mühendislik Plastiklerinin Tarihçesi.....	6
II.2.POLİMER MALZEMELER ve ÖZELLİKLERİ .....	10
II. 2. 1. Temel Bilgiler .....	10
II. 2. 2. Polimerler.....	12
II. 2. 2. 1. Polimer Çeşitleri ve Özellikleri .....	12
II. 2. 2. 2. Yüksek Dayanımlı Poliamerler .....	14
II. 2. 2. 3. Hafif Olan Polimer Malzemeler .....	17
II. 2. 2. 4. Saydam Olan Polimer Malzemeler .....	19
II. 2. 2. 5. Isıya Dayanıklı Olan Polimer Malzemeler .....	19
II. 2. 3. Plastiklerin Elde Edilmeleri ve Özellikleri .....	20
II. 2. 3. 1. Katılma Polimerizasyonu .....	21
II. 3. ÇEŞİTLİ PLASTİK MALZEMELER.....	22
II. 3. 1. Poliamid (Naylon).....	22
II. 3. 1. 1. Poliamid' lerin Elde Edilmesi.....	25
II. 3. 1. 2. . Poliamid' lerin Özellikleri.....	26

II. 3. 1. 3. Sürtünme ve Aşınma.....	28
II. 3. 1. 4. Nem Alma Özelliği.....	28
II. 3. 1. 5. Boyut Kararlılığı .....	29
II. 3. 1. 6. Poliamid Cinsinin Etkisi .....	29
II. 3. 1. 7. Nem ve Sıcaklığın Etkileri .....	29
II. 3. 2. Polietilen.....	30
II. 3. 3. Katkılı Plastikler.....	31
II. 3. 4. Polikarbonat (PC).....	32
II. 3. 5. Polistiren (PS) .....	32
II. 3. 6. Polipropilen (PP).....	33
II. 4. PLASTİKLERİN ÖZELLİKLERİ .....	33
II. 4. 1. Mekanik Özellikler .....	33
II. 4. 2. Elektriksel Özellikler.....	37
II. 4. 3. Kimyasal Özellikler.....	38
II. 4. 4. Çözünürlükler .....	39
II. 4. 5. Isısal Özellikler.....	37
II. 5. POLİMER BİLEŞENLERİ.....	42
II. 6. TİCARİ POLİAMİDLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	43
II. 6. 1. Poliamid 66 (PA 66).....	43
II. 6. 2. Poliamid 6 (PA 6).....	45
II. 6. 3. Poliamid 6.6 (PA 6.6).....	51
II. 6. 4. Poliamid 66,6 (PA 66,6).....	57
II. 6. 5. Döküm Poliamid 6 .....	57
II. 6. 6. Poliamid 4/6 (PA 4/6).....	59
II. 6. 7. Poliamid 6 GF30 .....	60
II. 6. 8. Poliamid 6G.HR.....	61
II. 6. 9. Poliamid 6G.LF .....	62
II. 6. 10. Poliamid 6 G Yağ.....	62
II. 6. 11. Poliamid I (PA I).....	64
II. 6. 12. Amorf Polamid (PA).....	64
II. 6. 13. PPO m.- Polyfenilnoksit –Norly.....	64

## **BÖLÜM III. İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİ .....** 66

III. 1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	66
II. 9. 1. Yüzey Pürüzlülüğünün Tanımı .....	66
II. 9. 2. Yüzey Kaliteleri .....	69
III. 2. TİTREŞİM .....	70
III. 2. 1. Titreşimin Tanımı .....	70
III. 2. 2. Makinelerin Titreşimleri .....	70
III. 2. 3. Titreşimlerin Yararları-İyi Titreşimler .....	70
III. 2. 4. Titreşimlerin "İkel" Ölçüm Yöntemleri .....	70
III. 2. 5. Mekanik Parametreler .....	71
III. 2. 6. Kütle ve Yay Elemanı .....	71
III. 2. 7. Fourier Analizi .....	74
III. 2. 7. 1. Kütlelerin Arttırılması .....	76
III. 2. 7. 2. Kütle, Yay ve Sönüm Elemanı .....	76
III. 2. 8. Titreşim Çeşitleri .....	77
III. 2. 8. 1. Serbest ve Zorlanmış Titreşim .....	77

III. 2. 8. 2. Sönümlü ve Sönümsüz Titreşim .....	78
III. 2. 8. 3. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Titreşim.....	78
III. 2. 8. 4. Belirli ve Rasgele Titreşim .....	78
III. 2. 9. Serbestlik Dereceleri .....	78
III. 2. 9. 1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler .....	78
III. 2. 9. 2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler .....	79
III. 2. 10. Titreşim Sinyalleri .....	79
III. 2. 11. Harmonikler .....	79
III. 2. 12. Belirgin Sinyaller .....	79
III. 2. 13. Rasgele Sinyaller .....	79
III. 2. 8. Şok .....	80
III. 2. 15. Sinyal Şiddetini Tanımlayan Büyüklükler .....	80
III. 2. 16. Deplasman, Hız ve İvme Arasındaki İlişki .....	81
III. 2. 17. İvme, Hız ve Deplasmanın Nomogram Yardımıyla Değiştirilmesi .....	81
III. 2. 18. Ölçekler .....	81
III. 2. 18. 1. Lineer ve Logaritmik Genlik Ölçekleri .....	82
III. 2. 18. 2. Desibel Ölçeği .....	82
III. 2. 18. 3. Desibel (dB) Formülü .....	82
III. 2. 18. 4. Gerçek Seviye Ölçeği ve dB Ölçeği .....	82
<b>BÖLÜM IV. TEZ ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>83</b>
<b>IV. 1. PLASTİKLERİN TALAŞ KALDIRARAK İŞLENMELERİ .</b>	<b>83</b>
IV. 1. 1. Plastiklerin Tornalanması.....	84
IV. 1. 2. Plastiklerin Frezelenmesi.....	85
IV. 1. 3. Plastiklerin Delinmesi.....	85
IV. 1. 4. Plastiklerin Kesilmesi .....	87
IV. 1. 5. Plastiklere Vida Açma .....	87
<b>IV. 2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEZGAH, CİHAZ ve ALETLER .....</b>	<b>87</b>
IV. 2. 1. CNC Freze Tezgahı ve Kesici Takım .....	87
IV. 2. 1. 1. Çalışmada Kullanılan CNC Freze Tezgahı .....	87
IV. 2. 1. 2. Çalışmada Kullanılan Kesici Takım .....	90
IV. 2. 2. Kesme Kuvveti Ölçme Sistemi .....	91
IV. 2. 2. 1. Kuartz Dinamometre (CNC Freze Tezgahı için) .....	91
IV. 2. 2. 2. Yük Amplifikatörü .....	93
IV. 2. 2. 3. Bağlantı Kabloları .....	94
IV. 2. 2. 4. Veri Toplama Kartı .....	94
IV. 2. 2. 5. Analiz Programı .....	95
IV. 2. 3. Infrared Teknolojiyi Kullanan Temassız Sıcaklık Ölçer .....	96
IV. 2. 3. 1. Sıcaklığın Ölçülmesi .....	98
IV. 2. 3. 2. Isı Transferi .....	100
IV. 2. 3. 3. Enerji Transferi .....	100
IV. 2. 3. 4. Cisimlerin İç Enerjileri .....	101
IV. 2. 3. 5. Cisimlerden Yayınlanan Işınım ve Karacisim ..	101

IV. 2. 4. Titreşim Ölçüm Cihazı .....	102
IV. 2. 5. Dekupaj .....	110
IV. 2. 6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti .....	111
IV. 2. 7. Deneysel Çalışmada Kullanılan Döküm Poliamid Malzeme Özellikleri .....	112
IV. 2. 8. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ç1040 Çeliği .....	114
IV. 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	115
IV. 3. 1. İş Parçasının Yerleştirilmesi .....	115
IV. 3. 2. Bağlantı Elemanlarının Sıkılması .....	116
IV. 3. 3. Kesici Takımın Seçilmesi .....	118
IV. 3. 4. Kesme Kuvvetinin Ölçülmesi .....	119
IV. 3. 5. Sıcaklığın Ölçülmesi .....	121
IV. 3. 6. Titreşimin Ölçülmesi .....	121
<b>BÖLÜM V.SONUÇLAR .....</b>	<b>123</b>
<b>V. 1. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>123</b>
V. 1. 1. Ölçülen Kuvvet, Sıcaklık ve Titreşim Değerleri .....	123
V. 1. 2. Ölçülen Yüzey Pürüzlülük Değerleri .....	129
<b>BÖLÜM VI. TARTIŞMA ve DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>132</b>
<b>VI. I. TARTIŞMA .....</b>	<b>132</b>
<b>VI. II. DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>133</b>
<b>VI. III. ÖNERİLER.....</b>	<b>137</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>138</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>144</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

### DÖKÜM POLİAMİD MALZEMELERİN CNC TAKIM TEZGAHLARINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ

İleri teknolojinin kullanıldığı alanlarda kritik role sahip olan mühendislik plastikleri, günlük yaşamımızda da spor, gezinti ve eğlence alanları, döşemeler, mobilyalar, bina ve bina donanımı, otomotiv sektöründe, elektronik eşya ve ev eşyalarında yüksek dayanım ve sıcaklık isteyen alanlarda aktif olarak kullanılır hale gelmiştir. Ayrıca çok sayıdaki sanayi dallarında çelik ve diğer metal malzemelerin yerini almıştır. Gelecekte ise insan yaşamında daha çok yer edineceği ve vazgeçilmez ürünler arasına yerleşeceği beklenmektedir.

Plastiklerin metallere göre daha değişik özelliklere sahip olması onların talaşlı işlenmelerinde de bazı önlemlerin alınmasını zorunlu kılar. Başta ısısız özellikler (ısı iletkenliği, genişleme katsayısı, yumuşama noktası gibi) olmak üzere bazı mekanik özellikler (sertlik, ...) plastiklerin talaşlı işlenmelerinde de çok önemli etkenlerdir.

Mühendislik plastiklerinden olan Poliamid, kısa sürede hızlı bir gelişme göstermesinde, malzeme özelliklerinden beklenen esneklik, elastikiyet ve mukavemet gibi özellikler ön plandadır. Özellikle uzay, havacılık, otomobil, inşaat, makine ve tekstil sektöründe kullanılmakta olup, üretim nedenleri arasında, malzemenin düşük ağırlıklı ve yüksek dayanımlı olmasının yanında hafif oluşu, korozyona, darbeye, aşınmaya dayanıklılığı, yağsız ve sessiz çalışabilmesi, proseslerinin ucuz, basit ve standart kalitede olması sayılabilir. Katkılı ve dolgulu Poliamid malzeme yüksek aşınma mukavemetine sahip her türlü sanayide kullanılan bir mühendislik plastiğidir. Muhtelif makine parçaları ve plastik dişli ve yatak yapımında kullanılırlar.

Bu çalışmada, geniş kullanım alanına sahip olan poliamid malzemesinin CNC takım tezgahlarında talaş kaldırılarak işlenmesi esnasında meydana gelen kuvvet, titreşim ve sıcaklık değişimleri ölçülerek, kesme parametreleri arasında bir değerlendirme yapılmıştır. Malzemenin CNC takım tezgahlarında işlenmesi esnasında meydana gelen titreşimler ve kuvvetler ölçülerek elde edilen grafikler değerlendirilmiştir.

**Haziran, 2003**

**Gürcan Atakök**



## **ABSTRACT**

### **MACHINABILITY OF CAST POLYAMIDE MATERIALS AT CNC MACHINES**

Engineering plastics do not only have a critical role at high technology areas, but also are used in everyday life like sports, entertainment areas, furniture, building installations, automotive, electronics, home equipments and areas that need higher resist and heat. It is expected that, it will be inispensable in human life and used everywhere.

Plastics have different characteristics, so precaution must be taking while machining. First of all thermal properties (heat conductivity, expansion coefficient, ...), then some mechanical properties (hardness, ...) are the most important factors for machining.

Polyamide is one of the engineering plastics and its flexibility, elasticity and resisting properties come from material properties are one of the reasons for developing in plastics sector. Actually it is used in aviation, automotive, engineering and textile sectors; the reasons for producing this materials are its weight, toughness, shockproof, toleration to corrosion and abrasion features, working without oil and sound, cheap, simple and standardizations on processing. Polyamide with compatibilizer is used for all engineering plastics industry. It is also used in some mechanical parts, plastics gears and bearings.

Polyamide 6 is a polymer produced industrially in large volumes and their complementary mechanical and physical properties make it good candidates for the design of an alloy. Nylon 6 (polycaprolactam) is the most widely used due to qualities of high strength, impact and abrasion resistance, high temperature tolerance, and cost-effectiveness.

In this study; force, vibration and thermal changes are examined while polyamide is machining at CNC machines, parameters are evaluated. Vibrations and forces are measured and graphics are discussed.

**Haziran, 2003**

**Gürcan Atakök**



# **YENİLİK BEYANI**

## **DÖKÜM POLİAMİD MALZEMELERİN CNC TAKIM TEZGAHLARINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ**

Yerli ve yabancı literatür araştırmalarında özellikle plastiklerin talaş kaldırılarak işlenmesi konusunda önemli sayılabilecek çalışmalar son yıllarda artış göstermesine rağmen yeterli değildir. Yapılan bu çalışma ile amaç, malzemenin CNC tezgahlarında işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi ve bu konuda bir veri tabanı oluşumuna yardımcı olmaktır.

şimdiye kadar yapılan literatür taramalarında poliamid konusunda çalışmalar yapan yazarlar ve yaptıkları çalışmaların bir özeti Bölüm I 'de yer almaktadır. İncelenen çalışmalara da bakıldığında, günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olan poliamid'in, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahip olması, deneysel çalışmalarda da bu malzemenin özelliğine bağlı olarak genelde optik, termal, mekanik, biyokimyasal özellikleri incelenmiş, işlenebilirlikle ilgili olarak, sadece imalatını yapan sektörde deneme-yanılma metoduna dayalı bilgiler ışığında işlemler yapılmakta, bu tez ile de bilimsel araştırma sıkıntısının giderileceği hedeflenmektedir.

**Haziran, 2003**

**Prof. Dr. Mustafa Kurt**

**Gürcan Atakök**

## SEMBOL LİSTESİ

<b>a</b>	: İvme ( $m/s^2$ )
<b>d</b>	: Çap (mm)
<b>E</b>	: Elastisite modülü ( $N/mm^2$ )
<b>f</b>	: İlerleme (mm/min)
<b>F<sub>x</sub></b>	: X yönündeki toplam kuvvet (N)
<b>F<sub>y</sub></b>	: Y yönündeki toplam kuvvet (N)
<b>F<sub>z</sub></b>	: Z yönündeki toplam kuvvet (N)
<b>F<sub>n</sub></b>	: Normal kuvvet (N)
<b>F<sub>s</sub></b>	: Sürtünme kuvveti (N)
<b>i</b>	: Diş sayısı (1,2,...n)
<b>k<sub>c</sub></b>	: Frekansa bağlı kompleks büyüklük
<b>k<sub>T</sub></b>	: Özgül kesme kuvveti ( $N/mm^2$ )
<b>n</b>	: Devir sayısı (dev/min)
<b>N</b>	: Pürüzlülük sınıf numarası
<b>P</b>	: Yüzey basıncı ( $N/mm^2$ )
<b>R</b>	: Kesici takım yarıçapı (mm)
<b>R<sub>t</sub></b>	: Pürüzlülük yüksekliği ( $\mu m$ )
<b>R<sub>a</sub></b>	: Aritmetik ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu m$ )
<b>R<sub>max</sub></b>	: En büyük pürüz derinliği ( $\mu m$ )
<b>R<sub>z</sub></b>	: Ortalama pürüz yüksekliği (1 boyundaki beş bölgenin ortalaması) ( $\mu m$ )
<b>l</b>	: Örnek uzunluk (mm)
<b>t</b>	: Zaman (s)
<b>T<sub>g</sub></b>	: Camlaşma sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
<b>T<sub>m</sub></b>	: Erime sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
<b>T<sub>d</sub></b>	: Bozulma sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
<b>u</b>	: İş parçası ilerleme yönü
<b>U</b>	: Yer değiştirme
<b>U<sub>x</sub></b>	: X yönündeki yer değiştirme
<b>U<sub>y</sub></b>	: Y yönündeki yer değiştirme
<b>U<sub>z</sub></b>	: Z yönündeki yer değiştirme
<b>v</b>	: Kayma hızı (m/s)
<b><math>\mu</math></b>	: Sürtünme katsayısı

## KISALTMALAR

<b>ABS</b>	: Akrilonitril butadien stiren
<b>EPDM</b>	: Etilen propilen dien terpolimer,
<b>EPR</b>	: Etilen propilen kopolimeri
<b>HDPE</b>	: Yüksek yoğunluklu polietilen
<b>HIPS</b>	: Yüksek darbeli polistiren
<b>LDPE</b>	: Alçak yoğunluklu polietilen
<b>MA</b>	: Maleik anhidrid
<b>MBS</b>	: Metyilmetakrilat butadien stiren kopolimeri
<b>NBR</b>	: Akrilonitril butadien kauçuğu
<b>PA</b>	: Poliamid
<b>PAI</b>	: Poliamidimid
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitril
<b>PB</b>	: Polibutadien
<b>PBT</b>	: Polibutilentereftalat
<b>PC</b>	: Polikarbonat
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PEEK</b>	: Polietereterketon
<b>PEI</b>	: Polieterimid
<b>PET</b>	: Polietilen tereftalat
<b>PI</b>	: Poliimid
<b>PMMA</b>	: Polimetil metakrilat
<b>PO</b>	: Poliolefin
<b>POM</b>	: Polioksimetilen
<b>PTFE</b>	: Politetrafloretilen
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PPE</b>	: Polietileneter
<b>PPS</b>	: Polifenilensülfid
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PSO</b>	: Polisüfon
<b>PSU</b>	: Polifenilsülfon
<b>PTFE</b>	: Politetrafloroetilen
<b>PVC</b>	: Polivinilklorür
<b>SAN</b>	: Stirenakrilonitril
<b>SBS</b>	: Stiren butadien
<b>SI</b>	: Stiren butadien stiren blok kopolimeri
<b>SMA</b>	: Stiren maleik anhidrid
<b>TPE</b>	: Termoplastik elastomer
<b>TPUR</b>	: Termoplastik poliüretan
<b>UHMWPE</b>	: Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen

# ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II. 1. Polimer Malzemelerde Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Eğrileri .....	13
Şekil II. 2. Polimerlerin Dayanıklılık ve Sertliklerini Belirleyen Moleküllerarası Etkileşim Tipleri .....	15
Şekil II. 3. Plastiklere Ait Gerilme-Uzama Grafiği .....	34
Şekil II. 4. Değişik Mekanik Özelliklerdeki Plastiklerin Gerilme-Uzama Grafikleri .....	34
Şekil II. 5. Poliamid ile Üretilen Dişliler, Makine Elemanları, Pervaneler, Konveyörler .....	47
Şekil II. 6. Tekstil Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek .....	51
Şekil II. 7. Otomotiv Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek (Manifold) .....	52
Şekil II. 8. Poliamid'den Üretilen Hava Kanalı ve Pompası .....	52
Şekil II. 9. Poliamid'den Yapılan Hava Yastıklarının İçine Konduğu Koruyucu Kısım .....	53
Şekil II. 10. Halı Ve Kilimlerde Poliamid Kullanımına Örnek .....	53
Şekil II. 11. Tıp Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek .....	53
Şekil II. 12. Stadyum Koltuklarının Poliamidden Üretimi .....	54
Şekil II. 13. Denizcilik Sektöründe Kullanılan Ağlar .....	54
Şekil II. 14. Bilgisayar Sektöründe ve Chip'lerde Poliamid'den Yapılan Koruyucular .....	56
Şekil II. 15. Günlük İşlerde Kullanılan Poliamid 6.6 Üretimi Gereçler .....	58
Şekil II. 16. Döküm Poliamid 6 Kullanılan Sandalye Ayakları, Kasalar, Temizlik Gereçleri .....	58
Şekil II. 17. Poliamid 4/6'nın Kullanıldığı Devre Anahtarları, Bağlantılar .....	60
Şekil II. 18. Poliamid 6 GF30'un Hareketli Parçalarda Kullanımına Örnek .....	61
Şekil II. 19. Poliamid 6 G Yağın Elektrik Sektöründe Kullanımı .....	63
Şekil III. 1. Yüzeylerin Birbirine Göre Durumu .....	67
Şekil III. 2. Parçanın Perspektifi .....	68
Şekil III. 3. Parça Yüzeyinin İncelenmesi .....	68
Şekil III. 4. Serbest ve Zorlanmış Titreşimli Yay Kütle Sistemi .....	71
Şekil III. 5. Harmonik Hareket .....	73
Şekil IV. 1. Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı .....	88
Şekil IV. 2. Frezeleme İşlemleri .....	89
Şekil IV. 3. DIN 844 Norm'unda HSS Kalitesinde 10 mm Çapında Parmak Freze .....	90
Şekil IV. 4 Dinamometre-Amplifikatör-Kart-Bilgisayar Çevrimi .....	91
Şekil IV. 5 Dinamometre .....	92
Şekil IV. 6 Amplifikatör .....	93

Şekil IV. 7 Veri Toplama Kartı (CIO-DAS1602) .....	95
Şekil IV. 8 Dynoware Analiz Programı .....	95
Şekil IV. 9 Infrared Teknolojiyi Kullanan Temassız Sıcaklık Ölçer .....	96
Şekil IV. 10 Geleneksel Sıcaklığı Uzaktan Ölçen Termometre Yapısı .....	97
Şekil IV. 11 Termometrenin Görüş Açısı.....	100
Şekil IV. 12 Karacisim Tayfi .....	101
Şekil IV. 13 Schenck Vibrotest60, El Tipi Çift Kanallı Titreşim Ölçüm, Analiz Cihazı ve Ekipmanları.....	103
Şekil IV. 14 Schenck Vibrotest60 Cihazı.....	106
Şekil IV. 15 AS-060 İvme Sensörü .....	108
Şekil IV. 16 AS-060 İvme Sensörü Montajı .....	109
Şekil IV. 17 Dekupaj ile Poliamid'in Küçük Parçalara Kesilmesi.....	110
Şekil IV. 18 Temelsan DK400 Dekupaj.....	111
Şekil IV. 19a Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti .....	112
Şekil IV. 19.b Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aletinin Ölçüleri .....	112
Şekil IV. 20.a Poliamid'in kullanıldığı alanlardan örnekler .....	113
Şekil IV. 21 Poliamid Kullanılarak Üretilen Dişliler ve Çeşitli Makine Parçaları.....	114
Şekil IV. 22 İş Parçasının Yerleştirilmesi .....	115
Şekil IV. 23 Bağlantı Elemanlarının Sıkıştırılması .....	117
Şekil IV. 24 Torkmetre.....	117
Şekil IV. 25 Deneysel Çalışmada Kullanılan Parmak Freze .....	119
Şekil IV. 26 Deney Setinin Fotoğrafı.....	120
Şekil IV. 27 Malzeme İşlenirken Yapılan Sıcaklık Ölçümü .....	121
Şekil IV. 28 Dinamometreye Tutturulmuş İvme Sensörü ile Titreşimin Ölçülmesi .....	122
Şekil V. 1. Poliamid'de 2 mm derinliğinde 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme hızlarıyla frezeleme işlemi yapılması .....	123
Şekil V. 2. Poliamid'de 2 mm derinliğinde 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme hızlarıyla radius'lü frezeleme işlemi yapılması.....	124
Şekil V. 3. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	125
Şekil V. 4. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150m/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	125
Şekil V. 5. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği .....	126
Şekil V. 6. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm titreşim grafiği.....	126
Şekil V. 7. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği .....	126
Şekil V. 8. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm sıcaklık grafiği.....	126
Şekil V. 9. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	127
Şekil V.10. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm X eksenindeki kuvvet grafiği .....	127
Şekil V.11. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	127
Şekil V.12. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği.....	128

<b>Şekil V.13.</b>	Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm titreşim grafiği.....	128
<b>Şekil V.14.</b>	Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği.....	128
<b>Şekil V.15.</b>	Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min ,d:2mm sıcaklık grafiği.....	128
<b>Şekil V.16.</b>	Frezeleme İşlemi Öncesinde Poliamid Malzemenin Yüzey Pürüzlülük Grafiği (Y ekseninde).....	129
<b>Şekil V.17.</b>	Frezeleme İşlemi Öncesinde Poliamid Malzemenin Yüzey Pürüzlülük Grafiği (X ekseninde).....	129
<b>Şekil V.18.</b>	Poliamid n:1000 rev/min,f:100 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü Frezeleme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülük Grafiği.....	129
<b>Şekil V.19.</b>	Poliamid n:1000 rev/min,f:150 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü Frezeleme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülük Grafiği.....	129
<b>Şekil V.20.</b>	Poliamid n:1000 rev/min,f:200 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü Frezeleme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülük Grafiği.....	130
<b>Şekil V. 21.</b>	Frezeleme işlemi öncesinde Ç1040 çeliğinin yüzey pürüzl. Grafiği ....	130
<b>Şekil V. 22.</b>	Ç1040 çeliğinin n:1000 rev/min,f:100 mm/min,d:2mm r:10mm Radius'lü Frezeleme İşlemi Sonrası Yüzey Pürüzlülük Grafiği .....	130
<b>Şekil A. 1.</b>	Gerilme (Çekme) Deneyi, Kullanılan Örnek ve Aletin Çenelerine Yerleştirilmesi .....	145
<b>Şekil A. 2.</b>	Gerilme (Çekme) Deneylerinden Elde Edilen Yük/Uzama Eğrileri....	146
<b>Şekil A. 3.</b>	Esneme (Eğilme) Özellikleri Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensipleri .....	147
<b>Şekil A. 4.</b>	İzod Darbe Dayanımı Test Aleti ve Kullanılan Örnek .....	149
<b>Şekil A. 5.</b>	Sert Plastiklerde Sıkıştırma (Basma) Deneyi Örneğinin Alete Yerleştirilmesi .....	150
<b>Şekil A. 6.</b>	Rockwell Sertliği Ölçümü (Göstergeden Doğrudan Okunması RB Mesafesi Rockwell Sertliği Olarak Hesap Edilir .....	152
<b>Şekil A. 7.</b>	Sabit Sıcaklıkta Çalışan Bir Ekstrüzyon Plastometresinin Görünümü ve Aletin A-A Kesiti .....	154
<b>Şekil A. 8.</b>	Kırılma Sıcaklığı Deneyinde Çentiksiz Örneğin Yerleştirilmesi .....	161
<b>Şekil A. 9.</b>	Makinenin Deneyde Yumuşak Taşınmasının Şematik Yerleştirilmesi ..	163
<b>Şekil A. 10.</b>	Ufak Bir Makinede Mümkün Olabilen Biçme Noktaları.....	163
<b>Şekil B. 1.</b>	Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:100 mm/min, d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	166
<b>Şekil B. 2.</b>	Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 m/min,d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	166
<b>Şekil B. 3.</b>	Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:100 mm/min, d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği .....	167
<b>Şekil B. 4.</b>	Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	167
<b>Şekil B. 5.</b>	Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:200 mm/min, d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği .....	167
<b>Şekil B. 6.</b>	Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min,d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	167
<b>Şekil B. 7.</b>	Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:100 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği .....	168
<b>Şekil B. 8.</b>	Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm titreşim grafiği.....	168

<b>Şekil B. 9.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:100 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği .....	168
<b>Şekil B. 10.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 m/min,d:2mm sıcaklık grafiği.....	168
<b>Şekil B. 11.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min, d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	169
<b>Şekil B. 12.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min,d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	169
<b>Şekil B. 13.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği .....	170
<b>Şekil B. 14.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min,d:2mm titreşim grafiği.....	170
<b>Şekil B. 15.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği .....	170
<b>Şekil B. 16.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min,d:2mm sıcaklık grafiği.....	170
<b>Şekil B. 17.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:200 mm/min, d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	171
<b>Şekil B. 18.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	171
<b>Şekil B. 19.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:200 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği .....	172
<b>Şekil B. 20.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min,d:2mm titreşim grafiği .....	172
<b>Şekil B. 21.</b> Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:200 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği .....	172
<b>Şekil B. 22.</b> Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm titreşim grafiği.....	172
<b>Şekil B. 23.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min,d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	173
<b>Şekil B. 24.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000dev/min, f:100 mm/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği .....	173
<b>Şekil B. 25.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min,d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	174
<b>Şekil B. 26.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100mm/min, d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	174
<b>Şekil B. 27.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min,d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	174
<b>Şekil B. 28.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000dev/min, f:200mm/min, d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği.....	174
<b>Şekil B. 29.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min,d:2 mm titreşim grafiği.....	175
<b>Şekil B. 30.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm titreşim grafiği.....	175
<b>Şekil B. 31.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min,d:2 mm sıcaklık grafiği.....	175
<b>Şekil B. 32.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm sıcaklık grafiği.....	175
<b>Şekil B. 33.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min,	

d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	176
<b>Şekil B. 34.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	176
<b>Şekil B. 35.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği.....	177
<b>Şekil B. 36.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm titreşim grafiği.....	177
<b>Şekil B. 37.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min,d:2 mm sıcaklık grafiği.....	177
<b>Şekil B. 38.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min ,d:2mm sıcaklık grafiği.....	177
<b>Şekil B. 39.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min,d:2 mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	178
<b>Şekil B. 40.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği.....	178
<b>Şekil B. 41.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min,d:2 mm titreşim grafiği.....	179
<b>Şekil B. 42.</b> Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min,d:2 mm titreşim grafiği.....	179
<b>Şekil B. 43.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min,d:2mm sıcaklık grafiği.....	179
<b>Şekil B. 44.</b> Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm sıcaklık grafiği.....	179

# BÖLÜM I

## GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüz teknoloji tasarım mühendislerini aşınma ve korozyona dayanımı daha yüksek özellikte olan plastik hammaddelerden imal edilmiş mühendislik plastiklerini kullanmaya yönlendirmektedir. Laboratuarlarda her türlü malzemenin deney, kontrol ve testleri yapılmaktadır. Hammaddeden, bitmiş mamüle kadar malzeme özelliklerinin tespiti ve deneylerinin yapılması ve özelliklerinin saptanması, malzeme ve ürün testlerinin kontrolü ayrı bir sektör oluşturmaktadır. Teknik plastikler ve kompozitlerle ilgili yapılacak her türlü ürün için, teknoloji transferi ve know-how da bu sektör tarafından sağlanmaktadır. Fizibilite etütlerinin hazırlanması, üretim teknik sorunlarının çözümlenmesi, ürün akış şemalarını, maliyet ve işletme analizleri, makine, ekipman seçimi, tesisin montaj ve devreye alma çalışmaları ve üretilen mamulün öngörülen standartlara uygunluğu, ürün iyileştirmeleri, yeni teknoloji ve otomasyonu, üretim hatlarının adaptasyonu titizlikle durulması gereken konulardandır.

İleri teknolojinin kullanıldığı alanlarda kritik role sahip olan mühendislik plastikleri, günlük yaşamımızda da spor, gezinti ve eğlence alanları, döşemeler, mobilyalar, bina ve bina donanımı, otomotiv sektöründe, elektronik eşya ve ev eşyalarında yüksek dayanım ve sıcaklık isteyen alanlarda aktif olarak kullanılır hale gelmiştir. Gelecekte ise insan yaşamında daha çok yer edineceği ve vazgeçilmez ürünler arasına yerleşeceği beklenmektedir.

Mühendislik plastikleri kısa sürede hızlı bir gelişme göstermesinde, malzeme özelliklerinden beklenen esneklik, elastikiyet ve mukavemet gibi özellikler ön plandadır. Kompozit malzemeler olarak adlandırılanları özellikle uzay, havacılık,

otomobil ve inşaat sektöründe kullanılmakta olup, üretim nedenleri arasında, malzemenin düşük ağırlıklı ve yüksek dayanımlı olmasının yanında üretim proseslerinin ucuz, basit ve standart kalitede olmasındandır.

Bu kadar genişleyebilen bir aileye sahip olan mühendislik plastikleri, literatüre de birçok katkı sağlamıştır. Literatür araştırmalarında poliamid konusunda çalışmalar yapan yazarlar ve yaptıkları çalışmaların bir özeti aşağıda yer almaktadır. Poliamid ile ilgili yapılan çok fazla araştırma olduğundan sadece tez konusuna en yakın olan çalışmalar ele alınacaktır.

Huang,H.X.; Liao,C.M., HDPE/PA6 karışımlarının modelleme özelliklerini incelemiş, bunların ekstrüzyonla kalıp yapılması sonucu PA 6 içeriğine sahip karışımların %45 oranında eğilmeye maruz kalmasıyla problemler yaşandığını, bunları ortaya çıkarmak için de yapay sinir ağırları modeli yaklaşımını kullanmış ve bu modelle deneysel dataları karşılaştırmıştır [60].

Liu, X.; Huang, H.; Xie, Z; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Sun, K.; Min, L, EPDM/Poliamid TPV malzeme özelliklerinin klorlu polietilenle karşılaştırmasını yapmış, deneyler sonucunda polietilenin daha iyi bir performans sağladığı görülmüştür [61].

Pedroso, A.G.; Mei, L.H.I.; Agnelli, J.A.M, geri dönüşümlü cam elyaf ile güçlendirilmiş Poliamid 6'nın kurutma işlemi sonucunda etkilerini incelemiştir. Bu PA 6 'nın neme karşı hassasiyetiyle ilgili dikkat edilmesi gerekenleri göstermiştir[62].

Arochaa, P.; Mehlerb, C.; Puskasc, E.; Altsta, V.; püskürtme ile kalıplanmış PA 6 ve PA 6 nano kompozitlerinin mekanik özelliklere kalınlığının etkisini araştırmış, bu incelemede DMA ve gerilme analizleri yapmışlar, PA 6 nano kompozitin rijitliğinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [63].

Chapleau, N.; Favis, B.D.; Carreau, P.J, poliamid / polietilen ve polikarbonat/ polipropilen karışımlarının arayüzey gerilimlerini ve sıcaklığa etkisini ve sonuç olarak da gerilmelerin sıcaklıkla düştüğünü görmüşlerdir [65].

Coldwell, H.; Woods, R.; Paul, M.; Koshy, P.; Dewes, R., sertleştirilmiş AISI H13 ve D2 kalıplarının işlenebilirliğini delme ve frezeleme işlemleri yaparak kontrol etmişlerdir. Takım ömrüne etkisini araştırmışlardır [66].

Avila, F.; Duarte, M, geri dönüşümlü PET/HDPE kompozitlerin mekanik özellikleri incelemiş, bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında ve günlük

hayatımızda da kullanılmasının ne kadar doğru olduğunu NC ve CNC tezgahlarında yapılan işlemlerle kanıtlanmıştır [67].

Xiao, K.Q. ;Zhang, L.C, polimerlerin işlenebilirliğinin vizkos deformasyona etkisinin yüzey kalitesi, sıcaklık, yüksek hızda kesim ile ilişkili olduğu anlaşılmış, buna bağlı olarak da kayma gerilmesi, yüzey pürüzlülüğünün etkisi araştırılmıştır[68].

Lanza, R.;Melkotea,S.;Kotnisb,M, kompozit malzemelerde işlenebilirliği araştırmıştır [69].

Garrella, M.; Shihb, A.; Mac, B.; Curziod, E.; Scattergoode, R, naylon bağlanmış Nd-Fe-B sürekli mıknatıslara ait tozların sıcaklık ve morfolojiye bağlı olarak çekme (gerilme) mukavemetini etkilediğini göstermiştir [71].

Roha, J.; Kimb, N., Park,, N., polimerize poliamid ince filmlerin mekanik özellikleri ve geçişim (osmoz) özelliği PDMA tekniği kullanılarak incelenmiş ve kopma dayanımı karşılaştırılmıştır [49].

Rheea,S.; WhitebCrystal, J, iki eksenli poliamid 6 filmlerinin kristal yapısını, yapı bilgisinin ve mekanik özelliklerini incelemesi sonucunda oda şartlarında yaşlanmaya bırakılmış malzemenin çeşitli kristalinite işlevlerini gerçekleştirmiştir[64].

Demirer, O., poliamidler ve bunların modifikasyonunu araştırmış ve genelde kimya endüstrisinde poliamid 'in kullanımını ile ilgili deneyler yapmıştır. [58]

Parlar, Z., poliamid malzemelerin sürtünme ve aşınma karakteristiğine sıcaklığın etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bunun için bir pim disk deney tesisatı geliştirmiş, aşınma deneyleri seçilen p.v limiti değerinde farklı iki kayma hız ve yüzey basıncı değerlerinde yapılmış, aynı p.v limitinde farklı kayma hızı ve yüzey basıncı için aşınma karakteristiğinin pek değişmediği belirtilmiştir [59].

Palabıyık, M., Poliamid 6 (PA6) ve yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) düzenleyici katkı ve katkısız karışımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Aşınmanın transfer film oluşturma kabiliyeti ile ilgili olduğu doğrulanmış, iyi bir transfer film oluştuğunda aşınma oranının düştüğü görülmüştür [78].

Taşdemir, M, Düşük yoğunluklu polietilen ile poliamid-6 ve polistiren ile yüksek yoğunluklu polietilen polimer alaşımlarının mekanik, fiziksel ve morfolojik özelliklerini araştırmıştır [76].

Bayraktar, E., ipek; Poliamid 6; Poliester; Polipropilen ameliyat ipliklerinin monofilament ve çapraz örgülü (trez) yapılarının bazı mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir.

zdoğan, Z., amid ve poliamid sentezinde titan ve fosfor bileşiklerini kullanmış, bunlarla ilgili deneyler yapmıştır.

Yıldız, T., plastik malzemelerde kırılma olayı ve poliamid malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarla literatüre katkısı olmuştur.

Oral, A., halatlı kaldırma düzeneklerinde poliamid esaslı malzemedен yapılmış makaraların kullanılabilirliğini incelemiştir.

Günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olan poliamid'in, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahip olması, deneysel çalışmaların da artmasını ve çeşitlenmesini sağlamıştır.



# BÖLÜM II

## GENEL BİLGİLER

### II. 1. MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİ

Mühendislik plastikleri ve kompozitler, günümüz dünyasında en hızlı gelişen ürün tipleridir. Her geçen gün yeni buluşlarla performansları artmakta, kullanım alanları genişlemekte ve birçok konuyu yeni çözümler getirilmektedir. Bunların bilinmesi ve uygulanması da birçok firmaya pazarda büyük olanaklar yaratmaktadır[1].

Günümüzde; petrol türevi olan plastiğin insan yaşamındaki yeri her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Özellikle mühendislik plastikleri konusundaki hızlı gelişmeler, her alanda plastik malzeme kullanımını son derece artırmıştır. Kaliteli hammadde kullanılarak ve yüksek teknolojiler ile üretilmiş plastik malzemelerin çevre ve insan sağlığındaki önemi de son derece büyüktür. Bu yüzden üretici firmaların, kaliteli hammaddeleri yüksek teknolojisi ile işlemeleri ve teknolojiyi de sürekli üretime eklemeleri gerekmektedir. Modern teknolojilerin takibinin yanı sıra; en önemli faktörün "Önce İnsan " olduğunun öneminin bilinmesi de gereklidir. Bu sebeple kaliteli üretimin yanı sıra ürünlerin insan kullanımlarında kullanıcılara maksimum faydayı sağlaması ve ulaşılabilir fiyatlarda olması temel düşünceyi oluşturmaktadır. Ayrıca herhangi bir ürünün tasarım aşamasından müşteriye ulaşana kadar geçen tüm evrelerde, sıfır hata , maksimum üretim ve teslimat hızı ve olabildiğince müşteri memnuniyeti olması en ön planda olması gerekenlerdendir. Sadece yerel standartlarda değil, dünya standartlarında üretimin yapılması bir gerekliliktir [2].

İleri teknolojinin kullanıldığı alanlarda kritik role sahip olan mühendislik plastikleri, günlük yaşamımızda da spor, gezinti ve eğlence alanları, döşemeler, mobilyalar, bina ve bina donanımı, otomotiv sektöründe, elektronik eşya ve ev eşyalarında yüksek dayanım ve sıcaklık isteyen alanlarda aktif olarak kullanılır hale gelmiştir. Gelecekte ise insan yaşamında daha çok yer edineceği ve vazgeçilmez ürünler arasına yerleşeceği beklenmektedir[3].

Mühendislik plastikleri kısa sürede hızlı bir gelişme göstermesinde, malzeme özelliklerinden beklenen esneklik, elastikiyet ve mukavemet gibi özellikler ön plandadır. Kompozit malzemeler olarak adlandırılanları özellikle uzay, havacılık, otomobil ve inşaat sektöründe kullanılmakta olup, üretim nedenleri arasında, malzemenin düşük ağırlıklı ve yüksek dayanımlı olmasının yanında üretim proseslerinin ucuz, basit ve standart kalitede olmasındandır [1].

## **II. 1. 1. Mühendislik Plastiklerinin Tarihçesi**

İlk çağların; taş, demir, bakır çağı olarak adlandırıldığı göz önüne alınırsa, 20. yüzyılı da tanımlayacak en iyi terim "mühendislik malzemeleri çağı" olacaktır [4].

20. Yüzyılın başlarından itibaren "Organik Kimya" konusunda hızlı tempoda gelişmeler olurken sayısız kimyasal madde yanında, plastik hammadde veya maddelerine de yönelik birçok sentezler yapılmıştır. Ancak, o zamanki koşullarda plastikler, kullanım gereksinimi veya tüketim yeri pek görülmemesi nedeniyle belirli bir süre sonra, birçok aşamalardan da geçerek toplumun yararlanmasına verilebilmişlerdir.

Plastik dünyasındaki ilk önemli aşama, Amerikalı bir iş adamının iyi bir bilardo topu yaptırmak istemesi ve buna büyük bir maddi ödül koyması üzerine, "Baekeland" tarafından sentezi yapılan fenol-formaldehit reçinesi (Bakelit) ileidir. Bundan günümüze kadar hızlı bir süreçte araştırmalar ve yatırımlar yapılarak üstün nitelikli plastikler kütle üretimiyle dünya pazarlarına verilmişlerdir. Böylece sanayi devrimi içinde plastikler de layık oldukları yeri almışlardır [5].

Bazı plastiklerin ilk bulunuş yılı ile, teknolojik problemlerinin çözülerek insanlığın hizmetine girdiği yıllar aşağıda verilen Tablo II.1 de görülmektedir.

**Tablo. II.1.Bazı Plastiklerin Bulunuş ve Kullanım Yılları**

PLASTİĞİN ADI	İLK BULUNUŞU	KULLANIM
Akril nitril	1943	1943
Akrilonitril butadien stiren	1969	1970
Aramid (aromatik poliamid)	-	1972
Aselal	-	1960
Epoksi	1947	1950
Fenol formaldehit	1907	1909
Kazein formaldehit	1879	1879
Melamin formaldehit	1938	1938
Poliamid (nylon)	1928	1940
Poliester	1940	1943
Polieterimid	1982	1982
Polietilen, alçak yoğunluklu	1936	1950
Polietilen, yüksek	-	1954
Polikarbonat	1956	1956
Polimetil metakrilat	1928	1928
Polipropilen	-	1956
Polipropilen oksit	1966	1967
Polistiren	1930	1937
Politetra fluor etilen	-	1962
Poliüretan	1938	1938
Polivinil asetat	1920	1932
Poliviniliden klorid	1941	1941
Selüloz asetat	1865	1900
Selüloz nitrat	1838	1870
Silikon plastiği	-	1945
Üre formaldehit	1921	1921

"Malzeme Devrimi" 1900'lerde ağır demir-beton bloklarıyla başlayıp hafif ağırlıklı metal alaşımları ve yüksek dayanımlı kompozitlerle sona ermiştir. 20. yüzyıl boyunca mühendisler, performansını artırmak ve tasarım gereklerini karşılamak üzere malzemelerin analizi, işlenmesi, artırılmasıyla ilgili yeni yöntemler öğrenmiş, geliştirmişlerdir.

**1907 :** Leo Baekeland "bakalit" adı verilen tamamı sentetik ilk plastiği buldu.

**1910 :** "Selefon" İsviçreli kimyacı Jacques Brandenberger tarafından keşfedildi.

**1911 :** Aminoplastik (ilk renkli plastik)

**1926 :** Sentetik Kauçuk, 1939'a kadar polibütadien, bütadien ve polikloroprenler gibi yapay kauçuklar piyasaya sürüldü.

**1927 :** PVC (polivinil klorür, piyasaya sürülüş 1936)

- 1928** : Lastikler için yeni döküm ve ekstrüzyon yöntemleri
- 1930** : Polistiren
- 1933** : Polietilen (piyasaya sürülüş: 1934) - Pleksiglas (polimetilmetakrilat)
- 1938** : Naylon (poliamid 6,6) - Teflon (politetrafluoretilen), Roy Blunket tarafından keşfedildi. - Fiberglas - Cam köpüğü yalıtım malzemesi
- 1939** : Plastik kontak lens
- 1946** : Vinil yer döşemesi - Alüminyum esaslı metalik - Seramik mıknatıs
- 1950** : Moltopren (poliüretan)
- 1952** : Çelik yapımını rafine eden temel oksijen işlemi
- 1953** : Karl Zeigler polietilen üretimi için yeni bir işlem buldu. - Dacron, plastik PVC ve silikon Dow Corning tarafından üretildi.
- 1955** : Polipropilen (petrol esaslı)
- 1957** : Polipropil, vitrin camları, kurşun geçirmez camlar ve güvenlik güçleri kalkanlarında kullanılan makralon, lexan (polikarbonat)
- 1961** : Süper polimer (ısıya dayanıklı)
- 1964** : Akrilik boya - Karbon fiber (yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kullanım için dayanımı artırılmış) - Berilyum (sert metal) uzay araçlarında ısı kalkanı, hayvan cerrahisi, uçak parçaları
- 1970** : Sialon (metal işlemede yüksek hızlı kesme için kullanılan seramik malzeme)
- 1983** : Yumuşak çift odaklı kontak lens,
- 1986** : Sentetik deri
- 1990** : Yeni kompozitler ve hafif çelik

Malzemelerin tasarımı, analizi ve testi ana mühendislik alanıdır. Analitik metotların güçlü hesap araçlarıyla birleşmeleri sonucu ayrıntılı görüntüleme ve benzetim olanağı malzeme araştırmalarında bir devrimdi. Mühendislerin, deneysel yöntem yerine geliştirdikleri malzeme gereklere yönlendirilmiş, hızlı yaklaşımın sonuçlarını günlük yaşamımızda görebiliyoruz.

Bir jet motorunun içi egzoz gazlarının türbin kanatlarını dakikada binlerce kez döndürdüğü, sıcaklığın 3600 °C' a ulaştığı yerler, kanatlardaki malzeme, ısı ve gazların kuvvet ve gerilimine dayanıklı, maksimum verimi elde edecek kadar hafif ve uzun ömürlü olmalıdır.

Bakır iletkenliği yüksek bir malzemedir ancak yumuşaktır. Çok az miktarda gümüşle karıştırılması elektriği kayba uğratmadan iletmesini sağlar. Uygun olmayan

malzeme ya da uygun olmayan miktarda gümüş karıştırılması pek çok bölgede elektriklerin kesilmesi ya da telefon bağlantılarının kurulamaması gibi sorunlara neden olabilir. Mühendisler bu gibi gereksinimleri en uygun şekilde çözmeye çalışırlar. Çünkü özellikleri farklı olduğundan değişik durumlarda diğerlerinden daha iyi sonuç veren malzemeler bulunmaktadır. Plastik fotonik devre kullanan bilgisayarlar, verileri elektronik araçlara göre daha hızlı yönlendirirler; fotonlar daha hızlı hareket eder, plastik parçalar metallere göre daha hafiftir, bilgiyi daha bütünsel bir şekilde depolayabilir ve manyetik parazit söz konusu değildir. Seramik malzemeler, metallere göre motorların daha sıcak çalışmasını ve yakıtın verimli kullanılmasını sağlar.

Çelik içindeki karbon ve diğer elementlerin ayarlanmasıyla üretilen alaşımlar, çeliğin gemi inşasından saat yapımına kadar pek çok alanda kullanılmasına olanak tanır. Bakıra kalay karıştırılmasıyla oluşan bronz, dişli ve yatak gibi dayanımın önemli olduğu endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Katkı maddeleri bazı malzemeleri değişik şekillerde kullanılabilir hale getirir. Örneğin oluk, boru ve panellerde kullanılan PVC plastik katkı maddeleriyle giyecek ya da kalple akciğer arasında dolaşımı sağlayan tüp şekline dönüştürülebilir. Dünyada pek çok ürün dayanım ve esnekliği farklı olan değişik türleri birleştiren kompozit malzemelerden yapılmaktadır. Bunlara, amorf yapıdaki metaller ve çevresel değişikliklere göre davranan ve şekillerini anımsayan şekil bellekli alaşımlar (zeki malzemeler) da dahildir. Bu malzemeler, arteri açık tutan cihazlar gibi pek çok üründe kullanılmaktadır.

Uzay çağında bir yandan pek çok yeni malzeme üretilirken bir yandan da eski malzemeler yeni alanlarda kullanılmaya başlandı. Fiberglas ve dayanımı artırılmış plastikler, araba gövdeleri ve küçük gemilerin omurgalarının yapımında kullanılmak üzere döküldü. Karbon fiber, yüksek sıcaklıktaki türbin kanatlarında kullanılmak üzere metallere alternatif olabilecek olağanüstü özelliklere sahipti. Seramik araştırmaları sonunda uzay araçlarında kullanılacak yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve ısı kalkanına uygun malzemeler üretildi. Yeni analitik teknikler, moleküler ve atomik görüntüleme, atomik ve moleküler kuantum hesapları ile malzeme seçimi ve üretim yöntemleri artık optimum olarak saptanabiliyor.

Günümüzde malzeme gelişimi mühendislik bilimine eskiye oranla daha da yakındır. Mühendislerin, bilimi uygulamaya dönüştürme yetenekleri atomik ve moleküler tasarım aşamasına ulaşıyor. Yeni analitik ve hesaplama teknikleri

mühendislerin malzeme özellikleri üzerine çalışmalarını üst noktalara taşıırken gelecek için olağanüstü potansiyeller sunuyor [4].

## II.2.POLİMER MALZEMELER ve ÖZELLİKLERİ

### II. 2. 1. Temel Bilgiler

Polimer malzemeler (plastikler) birbirine bağlanan yada karıştırılan uzun molekül zincirlerinden (makro moleküllerden) meydana gelir. Makro moleküller 10.000'den fazla tek yapı elemanlarının kolye üzerine boncuklar gibi dizilmesiyle oluşur. Makro molekülleri oluşturan tek yapı elemanlarına "monomer" denir Aynı monomeren farklı üretim metotları ya da farklı miktarlarda kullanılarak çok farklı polimerlerin elde edilmesi mümkündür.

Polimerler, polimerizasyon reaksiyonları ile elde edilebilirler. Polimerizasyon bir çok molekülü bir araya bağlama reaksiyonudur. Farklı türden monomerlerin bu şekilde birleştirilmesi "kopolimerizasyon", monomerlerin su, amonyak gibi basit yan ürünler vererek birbirine bağlanması "polikondansasyon" olarak adlandırılır. Bu reaksiyonları başlatmak için ısı, basınç veya katalizörlerden yararlanır [1].

Polimerleri makro moleküler yapılarına bağ ve mekanizmalarının tipine bağlı olarak üç ana gruba göre sınıflandırabiliriz.

1. Termoplastikler
2. Termosetler
3. Elastomerler

Termoplastikler dallı veya lineer makro molekül zincirleri içeren moleküller arası kuvvetle (intermoleküler kuvvetler) bir arada tutulan plastiklerdir. Çoğunlukla polimerizasyon ürünleridir. Termoplastik terimi "termo (sıcak, ısı) ve "plastik (şekillendirilebilir)" kelimelerinden türetilmiştir. Termoplastikler ısı ve basınç altında yumuşayan, akan; bu durumda herhangi bir şekil alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen (katı hale gelen) plastiklerdir. Buharlaşıma ile bileşim değişmemek şartıyla bu çevrim istenildiği kadar tekrarlanabilir. Uygun çözücülerle de çözünebilirler. Hamur halinde bulunma sıcaklıklarının alt sınırında ekstrüzyon,

haddeleme, basma vb. işlemler; üst sınırında kaynak; sıvılaştırma sıcaklığının üstünde de püskürtme (enjeksiyon) döküm yapılabilir. Termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler: akrilikler, poliamid, polistiren, polietilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir. Polimer malzemeleri içinde en büyük grubu termoplastikler oluşturur [1].

**Tablo II. 2. Malzeme Çeşitleri**

Malzeme çeşitleri	ASTM kısaltması	Ticari markalar
Nitril kauçuk	NBR	Perbunan, Krynac, EuropreneN, Nipol
Hydrogenated nitrile rubber	HNBR	Therban
Poliakrilik kauçuk	ACM	HyTemp
Silikon kauçuk	MQ, VMQ, PVM	Silopren, Rhodorsil
Florokarbon kauçuk	FKM	Tecnoflon, Viton
Etilen propilen kauçuk	EPM, EPDM	Keltan, Nordel
Stiren butadien kauçuk	SBR	Pet kauçuk SBR, Kosyn
Tabii kauçuk	NR	SMR
Thermoplastic polyurethane	TPU	Desmopan
Polytetrafluoroethylene	PTFE	Algoflon, Teflon, Fluon
Poliamid	PA	Nylon
Deri	-	-
Mantar	-	-
Yün keçe	-	-

Termosetler, makro moleküller arasında da kuvvetli bağlar oluşturarak üç boyutlu ağ yapısına (çapraz bağlar) sahip olan plastiklerdir. Bu plastiklerde makro molekülleri bir arada tutan kuvvetler sadece intermolekuler kuvvetler değildir, aynı zamanda atomik bağlarda bir arada tutar. Çoğunlukla polikondansasyon ürünleridir. Termosetlerde polimerizasyon işlemi, malzemeyi içeren monomerlerin bir araya getirildiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi sırasında biter. Reaksiyon sonucunda ağ yapısının tamamlanmasıyla sertleşir ve tekrar ısıtılarak yumuşatılamazlar ve şekillendirilemezler. Sıcaklık çok arttırılırsa özelliklerini kaybeder ve giderek kömürleşirler.

Elastomerler de zincir molekülleri rasgele düzenlenmiş ve nispeten daha az çapraz bağlı yapıdadır, çapraz bağların birbirine uzaklığı daha fazladır. Elastomerler kıvrımlı zincir moleküllerinden oluşurlar. Bu moleküller küçük gerilmeler altında düzelecek uzar ve gerilme kaldırılınca çok büyük bir yaklaşıklıkla başlangıç konumuna dönerler.

Polimerler yapılarına göre “homopolimer” ve “kopolimer” olarak da sınıflandırılabilir Homopolimer, tek bir monomerin tekrarlanmasıyla elde edilirken, kopolimer iki değişik monomerin polimerizasyonundan elde edilir. Üç cins farklı monomerlerden oluşana “terpolimer” denir. Örneğin polietilen bir homopolimerdir. stiren-butadien kauçuğu bir kopolimerdir ve akrilonitril-butadien-stiren (ABS) bir terpolimerdir. Ayrıca polimerler fiziksel durumlarına göre, amorf, kristalin ve kısmi kristalin olarak da ayrılabilirler [5].

## **II. 2. 2. Polimerler**

### **II. 2. 2. 1. Polimer Çeşitleri ve Özellikleri**

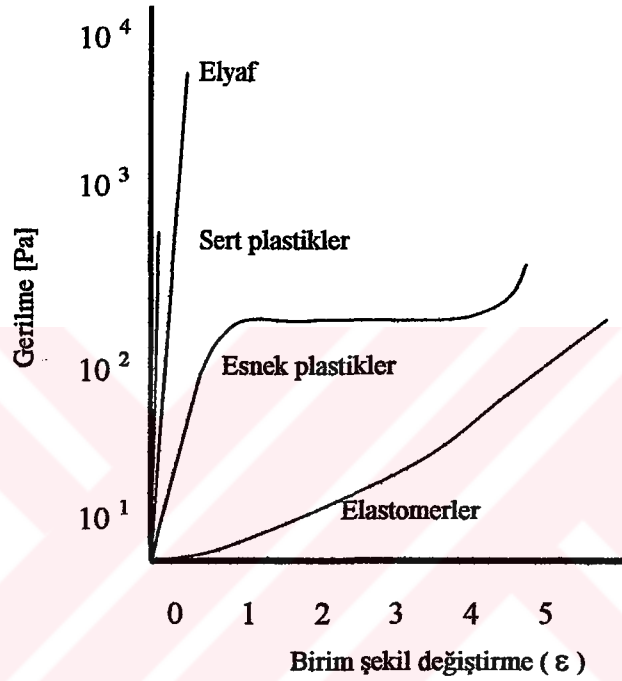
Günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olan polimerler, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahiptir. Bazı polimerlerden elektrik özellikleri nedeni ile yararlanılmaktadır. Başka bazı polimerler ise optik ve termal özellikleri nedeni ile malzeme olarak önem taşır. Buna karşılık bir başka grup, mekanik veya biyokimyasal özellikleri nedeni ile tercih edilmektedir. Her ne olursa olsun, polimer maddelerin kendilerine özgü veya diğer malzemelerin yerine geçen alanlarda kullanılmalarına yol açan temel özellikleri, mekanik özellikleridir ve bu özellikleri esas alınarak malzeme bilimi açısından sınıflandırılırlar [6].

Polimer malzemelerin mekanik özellikleri germe-birim uzama (stress-strain) davranışları ile belirlenmektedir. Bu amaçla özel olarak şekillendirilmiş olan bir örnek, belirli bir yönde gerdirilerek davranışları gözlenip kaydedilmektedir. Şekil II.1’de değişik polimer maddelerin gerilme-birim uzama eğrileri verilmektedir. Bu davranışlarına göre polimer maddeler,

- a) Elyaf (lifler/fiberler)
- b) Rijit plastikler

- c) Esnek plastikler
- d) Elastomerler

olarak dört genel grupta sınıflandırılmaktadır. Her grup içinde çok sayıda çeşitli polimer yer almaktadır. Ancak literatürde on bini aşkın çeşitli polimerden ticari anlamda uygulama alanı bulanları kısıtlı sayıda olup, bir kaç yüz civarındadır. Genel amaçlı olarak sınıflandırılan plastikler, diğerlerine kıyasla çok daha fazla üretilip kullanılmaktadır.



Şekil II.1. Polimer Malzemelerde Gerilme-Birim Şekil Değişirme Eğrileri

Polimer maddelerin yapı ve performans özelliklerinin polimer kimyacıları ve mühendislerince giderek daha iyi anlaşılması sonucu olarak, daha iyi ve istenilene uygun özelliklerde polimer maddelerin tasarlanıp sentezleri yapılabilmektedir. Bütün bu çalışmaların hedefi, polimer maddeleri, gerektiğinde;

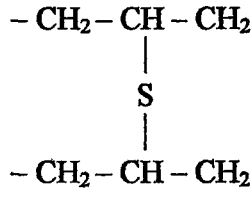
- Çelik kadar sağlam
- Tüy kadar hafif
- Cam gibi saydam
- Kuvartz kadar ısıya dayanıklı ve
- Kağıt kadar ucuz ve ekonomik hale getirebilmektir.[6]

## II. 2. 2. 2. Yüksek Dayanımlı Poliamerler

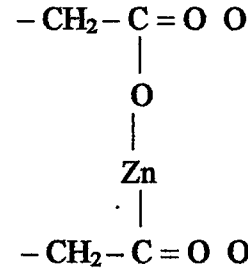
Ticari termoplastiklerin kopma dayanımları, 20-120 MPa civarındadır. Buna karşılık değişik çelik türlerinin kopma dayanımı 500-1200 MPa'dir. Polimer zincirinde yer alan -C-C-, -C-N-, -C-O- veya -C-S- gibi (kovalent) bağların kopma dayanımı ise 14000 MPa kadardır. Ancak polimer maddelerin mekanik özelliklerini ve sağlamlığını belirleyen kovalent bağlar değil, polimer zincirleri arasındaki etkileşim ve zincirleri bir arada tutan kuvvetlerdir. Şekil II.2' den görüldüğü gibi, polimer zincirleri arasındaki etkileşim değişik şekillerde olabilmektedir. Kovalent bağları, birincil güç olarak adlandırılırsa, polimer zincirleri arasındaki etkileşimi sağlayan güçler, ikincil güçler olarak adlandırılabilir.

İkincil güçler arasında yer alan Van der Waals, 700 MPa civarındaki değerleriyle en düşük olandır. Ancak bu değer bile ticari polimerlerin kopma dayanımının on katı civarındadır. Eğer polimer zincirinde -C-O-C-, yan zincirlerde veya kendinde yan grup olarak -CO, -Cl, veya -NO<sub>2</sub> grupları yer alırsa, dipol-dipol etkileşimi, esas güç haline gelir ve polimer sert polimer özellikleri gösterir. Eğer polimer zincirlerinde -C-NH- gibi bir grup, yan grup olarak da -OH ve/veya NH<sub>2</sub> gibi gruplar yer alırsa bu kez, oluşacak hidrojen bağı esas güç taşıyıcı unsur olacaktır. Poliamidlerde, poliüretanlarda, polivinil alkolde, butadien akrilik asit kopolimerlerinde karşılaşılan durum, dipol-dipol etkileşimi ve hidrojen bağı oluşumunun tipik örnekleridir.

### Birincil Kuvvetler

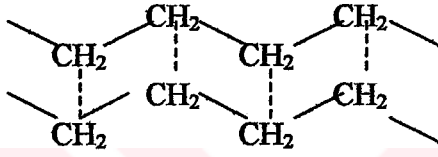


Kovalent Bağlarla Çapraz Bağlanma

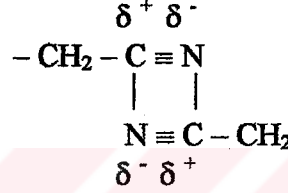


İyonik Bağlarla Çapraz Bağlanma

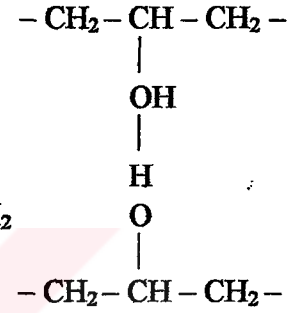
### İkincil Kuvvetler



Van der Waals Kuvvetleri



Dipol Etkileşimi



Hidrojen Bağı

**Şekil II. 2. Polimerlerin Dayanıklılık ve Sertliklerini Belirleyen Moleküllerarası Etkileşim Tipleri**

Polimerlerde sağlamlığın artırılması için, uzun yıllar, zincirlerarası ikincil etkileşmeyi en üst sınıra getirmek amacı ile zincirler arasında kovalent bağlarla çapraz bağlama uygulanmış ve bu, en yaygın uygulanan yöntem olmuştur. Bu yöntem sağlam ve güçlü termoset plastikler elde etmenin en önemli yoludur. Maleatların veya triallil esterlerinin kısmi çapraz bağlanmasıyla ısı olarak işlenebilen, daha güçlü polimerler elde edilebilmektedir. Bu yöntem, yüzey kaplamalarının sertleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Oluşturulan kovalent çapraz bağlar yüksek mekanik gerilimlerde bile dayanıklıdır. Ancak çok yüksek gerilimlere çıktığında çapraz kovalent bağlar koparak malzeme özelliklerinde bozulmalar meydana gelir.

Çapraz kovalent bağların aksine iyonik bağların etkisi tersinir olup değerleri kovalent bağlarınkine yakındır. Örneğin butadien akrilik asitle kopolimerize edilerek asit guruplarından çinko ve kadmiyum tuzları elde edilebilir. Bu durumda iyonik

bağlarla çapraz bağlanmış olan polimer zincirleri, polimer gerdirildiğinde, birbirleri üstünden kayabilir ve bu işlem sırasında iyonik bağ tekrar tekrar kırılarak yeniden oluşabilir. Etilenin akrilik veya metakrilik asitle kopolimerleştirilmesinden elde edilen, ionomer olarak adlandırılan polimerlerde, iyonik bağlar daha zayıftır ve böylece malzeme termoplastik olarak işlenebilir.

Polimer malzemelerde mekanik özellikleri etkileyen bir diğer unsur kristalliktir. Kristal yapının etkisi, en belirgin olarak elastiklik modülünde izlenebilmektedir. Örneğin dallanmış zincirli yapısı nedeniyle kristal içeriği nispeten düşük (%20) olan alçak yoğunluklu polietilende elastiklik modülü 7 MPa civarında iken, düz zincir yapısı nedeni ile kristal içeriği daha yüksek olan (%85) yüksek yoğunluklu polietilende bu değer 1400 MPa dolaylarındadır. Ayrıca oluşan kristal yapıların mükemmelliği de bu değeri etkilemektedir. Örneğin naylon 6/6 ve polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilenden bir miktar daha fazla kristalli olmalarına karşın, daha mükemmel kristal yapılar oluşturabildikleri için elastik modülleri daha yüksektir. Genel maksatlı ticari polimerlerin pek çoğunun kristallenme miktarı %50 civarındadır.

Polimer maddelerin teorik ve deneysel olarak belirlenen mekanik özellikleri ve dolayısı ile sağlamlıkları arasında 10-100 kat bir fark gözlenmektedir. Bu fark, polimer maddelerde yer alan amorf bölgelerden ve bu bölgelerde sıklıkla oluşan boşluk, yarık vs. gibi düzensizliklerden kaynaklanmaktadır. Bu durum malzemenin ısı işleme tabi tutulması ile kısmen giderilebilmekte ise de teorik hesaplamalarla ölçümler arasındaki bu önemli farkın tamamen kapanması olası değildir.

Polimer malzemenin mekanik dayanıklılığı; molekül ağırlığına, zincir yapısına, polimer zincirleri arasında etkileşime ve kristallenme oranına göre değişmekte ve mekanik özellikler, üretim sırasında ve/veya daha sonra gerçekleştirilen modifikasyonlarla değiştirilebilmektedir. Bu modifikasyonlar kimyasal ve/veya fiziksel yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Örneğin polipropilende (PP) en sıkıntı duyulan kısım darbe dayanımının düşük olmasıdır. Bu özelliğin iyileştirilebilmesi için eski yıllarda PP, poliizobutilen gibi elastomerik maddelerle karıştırılarak kullanılırdı. Daha sonraları ise propilenin etilenle kopolimerizasyonu ile "rastgele" kopolimerler elde edilerek bu soruna çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Ancak bu takdirde de, azalan kristal yüzdesi nedeni ile, elde edilen ürünün sertliği azalmakta, mekanik özelliklerinden fedakarlıklar yapılmaktadır. Bu dezavantajların istenmediği uygulamalar için etilen ve propilen

blok kopolimeri kullanılmaktadır. Böylece, homopolimerin sertliği ile kauçukla karışımın esneklik ve darbe dayanımları, tek bir üründe bir araya getirilebilmektedir. Akrilonitril-butadien-stiren terpolimerleri (ABS), antişok polistiren gibi polimerler aynı yaklaşımlarla formüle edilmişlerdir.

Uzun yıllardan bu yana elastomerler ve termoset plastikler "takviye" edilerek (pekiştirilerek) kullanılmaktadır. Bu amaçla elastomerler, karbon siyahı, silika, alumina gibi toz malzemeye karıştırılarak kullanılmaktadır. Doymamış poliesterler, epoksi reçineleri, fenol-formaldehit veya melamin-formaldehit polimerleri; cam elyaf, cam elyaftan hazırlanmış kumaş, diğer kumaşlar vs. ile takviye edilerek çapraz bağlanmış ve böylece sağlamlıkları çok artırılmış çeşitli laminatlar üretilmiştir.

Son yıllarda, termoplastik polimerler de çeşitli toz mineraller ve cam elyafla takviye edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamada, cam elyaf veya mineral dolgu maddesi ile polimer zincirleri arasındaki etkileşimi arttırmak için takviye malzemesinin yüzeyi modifiye edilerek, silan bileşikleri gibi özel bileşiklerle kaplanmıştır. Tablo II.3 takviyeleme yoluyla, plastiklerin kopma dayanımlarının ne boyutlarda arttırılabildiği açıkça görülmektedir. %20-40 dolaylarında kısa cam elyafı takviyesi ile termoplastiklerin kopma dayanımı bazı metallerinkine yaklaşmaktadır. Bazı özel takviyeli plastiklerin bu özelliği ise çeliğinkini bile aşabilmektedir [6].

### II. 2. 2. 3. Hafif Olan Polimer Malzemeler

Doğrudan plastiklerin kendilerinin ve/veya köpürtülmüş hallerinin kullanılmasıyla pek çok eşyanın çok daha hafif, ancak aynı zamanda sağlam üretilmeleri mümkün olabilmektedir. Köpük plastikler istenildiğinde esnek, istenildiğinde alabildiğine sert yapıda olabilmektedir.

**Tablo II. 3. Bazı Plastik ve Metallerin Göreceli Kopma Dayanımları [6]**

Plastik / Metal	Kopma Dayanımı (MPa)			
	Takviyesiz	Takviyeli		
		Kısa Cam 'Elyaf	Cam Yünü	Cam Dokuma
<b>Takviyeli Termoplastikler</b>				
Düz Polietilen	7-25	50-77		
Polipropilen	30-40	56-63		
Polioksimetilen	70	74-88		
Polistiren	42-56	80-100		
SAN (Stiren akrilonitril)	67-77	100-130		
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	35-50	100-130		
Polikarbonat	56-67	130-140		
Naylon-6/6	63-84	140-200		
Potisülfon	70	125-130		
<b>Kalıp Döküm Metalleri</b>				
Çinko	287			
Alüminyum	230-330			
Magnezyum	240			
<b>Takviyeli Termosetler</b>				
Poliester	15-90	28-70	140-175	200-500
Epoksi	35-100	70-140	100-200	140-400
Fenolik	50-56	35-125	35-100	280-400
Yeni Kompozitler				700-1400
Çelik	560-1225			
Cam elyaf	1750-2800			

Ayrıca, yüksek teknoloji polimerleri olarak nitelendirilen poliamid, poliimid, poli (arileneterketon) gibi termoplastik ve epoksiler ile bismalimid esaslı bazı termoset plastiklerden son yıllarda hazırlanmaya başlanan takviyeli ve/veya kompozit malzemelerle de bu konuda önemli gelişmeler sağlanmaktadır. Örneğin bir hava aracının ekonomik kullanıma sahip olması, büyük ölçüde ağırlığına bağlıdır. Askeri bir uçağın toplam ağırlığında yapılabilecek her yarım kiloluk ağırlık azalması,

uçağın yaklaşık 60.000 saatlik uçuş ömründe 1000 ABD dolarlık bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır.[6]

#### II. 2. 2. 4. Saydam Olan Polimer Malzemeler

Polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS), stirenakrilonitril (SAN), polivinil klorür (PVC) veya selüloz esterleri gibi amorf yapılı polimer maddeler saydamdır. Bu nedenle, fotoğraf filmlerinden saydam şişelere ve diğer ambalaj malzemelerine kadar geniş bir uygulama alanı bulurlar. Hemen hemen tüm kristal içeren polimerler saydam değildir. Genel kural olarak, saydam bir polimer elde edilebilmesi için kristallenmenin önlenmesi/azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla polimer zincirine, büyük ve hacimli yan guruplar takılabilir. Ancak bu durumda kristallenmenin önlenmesine karşın polimerin sertliği azalır ve daha düşük sıcaklıklarda deforme olmaya başlayarak kullanım sıcaklığı düşebilir. Kullanım sıcaklığının artırılması için polimer zinciri esnekliğinin azaltılarak, hareketliliğin kısıtlanması veya önlenmesi gerekir. Bu amaçla ise uygulanan en klasik yaklaşım ana zincire aromatik halkalar yerleştirmektedir [6].

#### II. 2. 2. 5. Isıya Dayanıklı Olan Polimer Malzemeler

Polimer malzemelerde kullanım sıcaklığının yükseltilmesi, genellikle;

- a) Polimer zincirleri arasındaki etkileşimi artırarak,
- b) Polimer zincirinin ve yan zincirlerin hareketliliğini azaltarak ve oksitlenerek bozunmayı önlemek üzere, oksijenle etkileşimi daha kolay olan C-H bağları yerine polimerde oksijenle etkileşmeyen C-F gibi bağlar oluşturarak sağlanmaktadır.

Standart deney yöntemleriyle belirlenen "ısı ile deformasyon" özelliğinin saptanması, polimer maddelerin kullanım sıcaklıklarını kıyaslamalı olarak belirleyebilmektedir.

Kristal yüzdesi daha düşük olan alçak yoğunluklu polietilenin ısıyla deformasyon sıcaklığı, kristal miktarı daha yüksek olan yüksek yoğunluklu polietilenden daha düşüktür. Aynı şekilde, kloro kıyasla daha küçük hacimde bir atom olan florun polimer zincirinde yer aldığı poliviniliden florür'ün ısıyla

deformasyon sıcaklığı; polimer zincirinde klor atomları içeren poliviniliden klorür'e kıyasla 54°C daha yüksektir.

Bunun temel nedeni poliviniliden florür'ün poliviniliden klorür'e kıyasla çok daha fazla kristal yapıda olmasıdır. Aynı nedenle değişik sterik konfigürasyondaki polimerlerde de ısı ile deformasyon sıcaklıkları farklılıklar göstermektedir. Genellikle izotaktik veya sindiotaktik yapıdaki polimerior ataktik yapıdaki polimelere kıyasla daha yüksek sıcaklıklarda ısıyla şekil değiştirirler.

Polimer zincirlerinin daha güçlü ikincil güçlerle etkileştiği polimerlerde de ısıyla şekil değiştirme (deformasyon) daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır. Tablo II.4 'de düz zincirli, yüksek yoğunluklu polietilen, polioksümetilen ve poliamid örnek olarak verilmektedir [6].

## II. 2. 3. Plastiklerin Elde Edilmeleri ve Özellikleri

Bir plastikte polimeri oluşturan ana gruplar plastik türüne göre değişik sayılarda olurlar. Ayrıca bu gruplar doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı bir yapı oluştururlar. Grupların bir moleküldeki sayısına "polimerizasyon derecesi" denir. Grup molekül kütlesi ile polimerizasyon derecesinin çarpımı da "plastığın molekül kütlesi" ni verir.

Bu kavramlar Polivinil klorid örneğiyle açıklanabilir:

Polivinil klorid polimerinin monomeri olan vinil klorid'in mol kütlesi 63, polimerizasyon derecesi de 1000 olduğuna göre, Polivinil kloridin mol kütlesi:  
 $63 \times 1000 = 63000$  olur.

Plastiklerde mol kütlesi genelde 10.000 – 1.000.000 arasındadır.

Daha çok petrol, belirli ölçüde de kömür ve diğer kaynaklara dayalı olan plastik üretiminde tepkime yürüdükçe başlangıç maddelerinin özellikleri bir süreçte azar azar değişir, polimerleşme sona erince de başlangıç maddelerinden tamamen farklı yeni bir ürün oluşur. Örnek olarak etilen gazından katı bir plastik olan poletilenin elde edilmesi gösterilebilir.

Her plastik polimerinin bir başlangıç monomeri vardır. Belirli sayıda monomer bir tepkime ile polimer zincirini oluştururlar.

**Tablo II.4. Moleküller Arası Çekim Kuvvetine Bağlı Olarak Polimerlerin Kullanım Sıcaklığındaki Artış:**

Yapısı	Kristalli Polimer	İkincil Güçler	Isı ile deformasyon sıcaklığı, °C (ASTM-D 648)
$-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-\text{n}-$	Yüksek yoğunluklu PE	(VanderWaals)	60-78
$-(\text{CH}_2\text{O})-\text{n}-$	Polioksimetilen	(Kutupsal)	170
$-(\text{R}-\text{CO}-\text{NH}-\text{R}')-\text{n}-$	Naylon 6/6	(Hidrojen bağı)	185

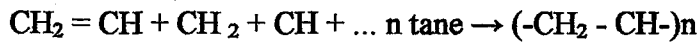
Polimerleşme sonunda ele geçen ürünler doğal renkli (mum beyazı, saydam s.) olmakla beraber özel olarak renklendirilmiş, kullanım kolaylığı ve amacı bakımlarından da tablet, toz, plastisol, film, levha, blok, profil ya da değişik biçimlendirilmiş halde piyasaya sürülürler.

Polimerizasyon süreçleri Carothers ve Flory tarafından iki ana grupta toplanmıştır. Bunlar "katılma (addition)" ve "yoğuşma (condensation)" polimerizasyonlarıdır [5].

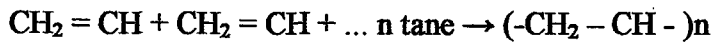
### II. 2. 3. 1. Katılma Polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonu monomer çift (bazen de üçlü) bağlarının belirli sıcaklık, basınç ve katalitik etki koşullarında açılarak ürünün mol kütlesine bağlı miktarda birleşmelerinden ibarettir. Bu kimyasal olaylar arasında genelde yan ürün açığa çıkmaz. Bu yolla elde edilen termoplast ürünler yalnız bir cins monomer kullanılması halinde "Homopolimer"; birden fazla cins monomer kullanılması halinde de "Kopolimer" olarak elde edilirler.

Katılma polimerizasyonu için halojenli bir homopolimer oluşum denklemi örnek olarak aşağıda gösterilmiştir:



Burada x halojeni yerine Klor alınırsa "Polivinil klorid" meydana gelir:



Termoplast plastikler sıcaklık uygulamakla yapısal kristal-amorf durumuna bağlı olarak yavaş yavaş yumuşar ve erirler. Bir biçimlendirme cihazında (parça haline getirildikten sonra ufalanırsa) yeniden biçimlendirilebilir. Malzemenin arka arkaya devamlı şekilde cihazda işlenmesi sonucu mekanik ve diğer bazı özelliklerinde düşmeler görülür. Bu nedenle kırıntı veya araiş denilen kullanılmış plastik parçacıkları saf malzemeye az oranda katılmalıdır. Elde edilecek parça veya ürün niteliğine göre bu oran yüzde 9-15 kadardır.

Katılma polimerizasyonu ile elde edilen önemli termoplast plastik örnekleri PA, PB, PC, PE, PETP, PMMA, PP, PS, PVAC, PVC, PVDC, PI, kopolimerlerden de ABS, A/MMA, E/P, SB, VC/MA örnek olarak verilebilir.

## II. 3. ÇEŞİTLİ PLASTİK MALZEMELER

### II. 3. 1. Poliamid (Naylon)

Poliamid yüksek dayanım, sertlik, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip, hafif ve bir çok türleri olan bir termoplastiktir. 1928 yıllarında sentez edilen ve ilk mühendislik plastiği olan poliamidin (ticari ismi naylon), poliamid 6, poliamid 7, poliamid 6/6, poliamid 6/8, poliamid 6/10, poliamid 6/12, poliamid 11 ve döküm poliamid gibi çeşitleri vardır. Alifatik poliamidler yüksek mol ağırlıklı, doğrusal yapılı bir polimer sınıfıdır. Poliamidler de yüksek intermoleküler kuvvetler poliamidlerin genellikle 200 °C'ın üzerindeki yüksek ergime sıcaklıklarını açıklar. Moleküler zincirdeki alifatik kısmın uzunluğu artarsa Tablo II.5'de de görüleceği gibi ergime sıcaklıkları azalır [1].

Tablo II. 5. Poliamidlerin Ergime Sıcaklıkları [3]

Poliamid Türü	Ergime Sıcaklığı $T_m$ [°C]
Poliamid 6/6	265
Poliamid 6/8	240
Poliamid 6/10	225
Poliamid 6/12	212
Poliamid 6	230
Poliamid 7	223
Poliamid 11	188
Poliamid 12	180

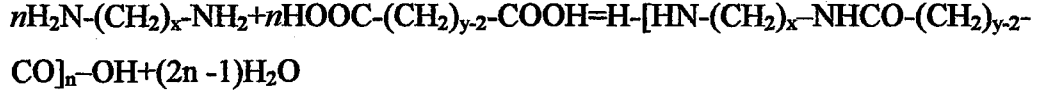
Enjeksiyon ve ekstrüzyonda kolayca şekillendirilebilen poliamidin en önemli sakıncası yüksek derecede su emme özelliğidir. Poliamidler, amid grupların varlığından dolayı suyu absorbe ederler. Su bir plastikleştirici gibi etki eder. Poliamid %0,2 den fazla nemi içeriyorsa ürünün mekanik özelliklerinin düşmesi yanında yüzeyinde de kusurlar ve boyut değişmesi görülür. Boyut kararlılığı gerektiği zaman özel uygulamalar gerekmektedir. Üreticiler, ürünlerin izafi nem ile boyut değişimlerini çoğunlukla data olarak verirler.

Poliamidler çözücülere karşı yüksek koheziv enerji yoğunluğu ve kristalin yapılarından dolayı çok dirençlidirler Poliamidler aşırı derecede iyi abrazyon direncine sahiptirler. Kristalin bir plastik olan poliamid kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm yoluyla imal edilebilir. Poliamid granülleri elyaf takviyeler ve çeşitli dolgu malzemeleri ile mekanik özellikler bakımından iyileştirilebilirler. Genelde bu malzemelerin çok iyi yorulma mukavemeti, iyi sürünme mukavemeti, düşük sürtünme katsayısı ve oldukça iyi darbe mukavemeti, iyi kimyasal dirençleri ve elektriksel özellikleri vardır. Poliamidlerin özellikleri büyük ölçüde kristalinite derecesi ve morfolojik yapısının büyüklüğüne bağlıdır. Genellikle; üretim koşulları bu olayı etkiler. Poliamid 6' in kalıplanmasında, yavaş soğutma ve sonradan tavlama ile %50-60 kristalinite derecesi elde edilebilirken, hızlı soğutmada bu değer %10' a düşebilir.

İyi mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olarak poliamid dişli çark, kam, kaymalı yatak (çelik hadde yataklarına kadar), rulmanlı yalak kafesleri, kızak gibi elemanların imalinde kullanılır. Bu parçaların yağlanmasına da gerek yoktur Ayrıca aşınmaya karşı takım tezgahlarının kızaklarında kaplama olarak kullanılır. Otomotiv sanayinde karbüratör dahil bir çok parçaların, valfler, gaz ve buhar contaları, pervaneler, yüksek dayanımlı sahra kabloları ve çeşitli elektrik malzemeleri, mutfak aletleri, çözücülere dayanıklı kapların yapımında da poliamidden yararlanır.

DuPont firması tarafından geliştirilmiş ve ticari ismi naylon olan poliamidler ilk mühendislik plastiğidir. En yaygın olarak kullanılanları Tablo II.6'da verilmiştir. Tablo da aynı zamanda ilk PA 66 ve PA 6' dan beri geliştirilen yeni birkaç poliamid de görülmektedir. Üretici firmaların geliştirdiği poliamid çeşidi 1500 civarındadır. Tüm poliamid çeşitleri elyaf ve takviye malzemeler ile mekanik özellikler bakımından iyileştirilebilirler. Kristalin bir polimer olan poliamid kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm yoluyla imal edilebilir. Bir amin ve bir asidin

reaksiyona girmesiyle elde edilen poliamidlerin kimyasal formülü aşağıda verilmiştir[3].



**Tablo II.6. Ticari Poliamidler [5]**

Yaygın İsmi	PA
Poli(teirametilen adipamid)	4/6
Poli(hekzametilen adipamid)	66
Poli(hekzametilen azelamid)	69
Poli(hekzametilen sebakamid)	610
Poli(hekzametilen dodekanoamid)	612
Poli(dodesametilen dodekanoamid)	1212
Poli(m-xylylene adipamid)	MXD6
Polikoprolaktam ya da polikaproamid	6
Poli (11 -aminoandesanoamid)	11
Polidodekanolaktam va da polidodekanoamide	12

1928 yıllarında sentez edilen poliamid, öneminin farkına varılmadan 12 yıl fazla kullanılmamış, ancak İkinci Dünya Savaşı sırasında ipek kaynaklarının Japonya'nın elinde bulunması dolayısıyla paraşüt yapamayan ABD tarafından çalışmalar canlandırılarak ipeğe alternatif olan ürün endüstrinin hizmetine verilmiştir. [5]

Termoplast bir ürün olan poliamid sertlik, yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip, hafif ve birçok türleri olan bir sınıfı tanımlar.

Bugün Naylon, özelliklerinin uygun düştüğü çeşitli makine parçaları, elektriksel mamuller, silah ve mühimmat parçaları spor malzemeleri ve daha birçok yerlerde kullanılan yaygın bir plastik sınıfıdır.

Poliamid (ASTM) standardlarında 7 tip ve 20'nin üzerinde malzeme derecesi tanımlanmaktadır. ABD askeri şartname MIL-M-20693'te de 6 tip gösterilmiştir. Sanayide ve piyasada ayrıca Nylon 6, Nylon 6.6, Nylon 6.10, Nylon 8 gibi adlandırmalar da vardır. Bunların da dayandığı noktalar poliamidin elde edilmesi sırasında kullanılan diasit ve diaminlerdeki karbon sayısıdır. Tablo II.7'de bu şekilde ifade edilen poliamidlerin MIL-M-20693'teki eşdeğerlikleri görülmektedir. [4]

**Tablo II.7. Poliamidin Ticari ve Askeri Şartname Eşdeğerleri**

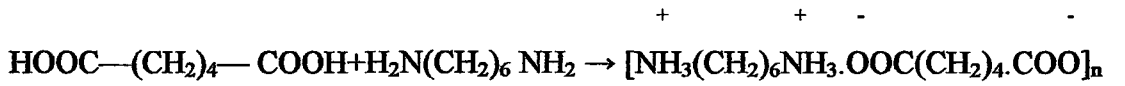
Ticari Numaralar	MIL-M-20693' teki Tipler
Nylon 6	Tip II, Tip IV, Tip V
Nylon 6.6	Tip I, Tip II, Tip III
Nylon 6. 10	Tip III, Tip IV
Nylon 8	Tip IV

Poliamidin kopolimerleri de son derece değerlidir (PA/PI gibi).

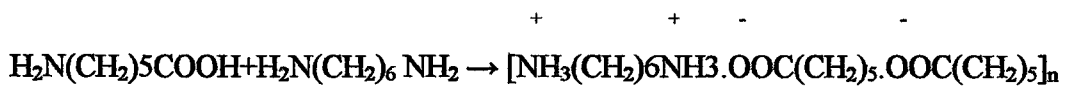
Önemli bir poliamid çeşidi dökülebilen poliamiddir. Polimerlerin bir çoğu ısı etkisi altında ve atmosfer basıncında döküm kalıbını doldurmak için yeterli akıcılığa sahip bir sıvı halini alamazlar. Bu nedenle kalıp boşluğuna yüksek basınç ile zorla sevk edilmeleri gerekir. Bu polimerlere ısı ve yüksek basıncın bir arada bulunduğu ekstrüzyon veya enjeksiyon yöntemleri uygulanır. Ancak poliamidin de aralarında bulunduğu bazı polimerler atmosfer basıncında dökülebilen sıvı kıvamında bulunabilirler. Dökülebilen poliamid, poliamid monomerlerinden elde edilir. Bu monomerlerden karmaşık şekilli ve ağırlıkları yüzlerce kilograma varan parçalar dökülebilir.

### II. 3. 1. 1. Poliamid' lerin Elde Edilmesi

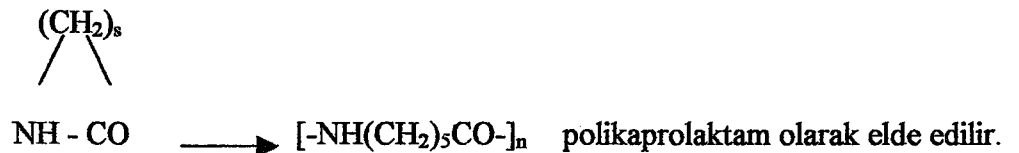
Poliamidler genelde yüksek karbonlu diaminlerle diasitlerin tepkime ürünleridir. Zincir doğrusal yapıda, mol kütlesi 11000-40000 olan polimer sınıfını oluşturur. Tepkime örneği olarak heksametilen diamin ve adipin asitten Nylon 6.6 elde edilişi verilir:



Kullanılan asit ve amin 6 karbonlu olduğu için ürüne Nylon 6.6 denilmektedir. Nylon 6 ise iki türlü elde edilmektedir, ya yukarıdaki gibi heksametilen di-amini aminokaproik asitle tepkimeye sokarak:



veya aminokaproik laktam bileşiğinden su alınmasıyla



Son tepkime özel katalizör kullanılarak 240-280°C'de gerçekleşir.

Nylon 6.9 yine heksametilen diamin ile azelaik asit, Nylon 6.10 heksametilen diamin ve sebazik asit, Nylon 11 heksametilen diamin ve aminoundekanoik asit, Nylon 6.12 heksametilen diamin ve dodekanoik asit kullanılarak birbirine benzer tepkimelerle elde edilirler.[5]

## II. 3. 1. 2. Poliamid' lerin Özellikleri

Poliamidler yüksek mol kütleli, doğrusal yapıli bir polimer sınıfıdır. Katı, opak, bazen de saydam görünümlü, bağıl yoğunluğu 1.07-1.18 arasında değişebilen termoplast bir malzemedir. Saydam türleri ışığı % 85-90 oranında geçirirler.

Açık hava koşullarına bırakılan poliamid hafif sararak mekanik özelliklerinden biraz kaybeder.

Petrol yağlan, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, keton ve esterlere karşı direnci iyidir. Fenol, krezol ve formik asit oda sıcaklığında polimeri çözerler. Bundan da yararlanılarak mol kütlesi tayini yapılır. Alkalilere dayanan polimer, kuvvetli asitler ve oksitleyici maddelerden etkilenir.

Poliamid granüllerine istenilen çeşitli özellikleri vermek üzere rahatlıkla kabul ettiği pigment, cam elyafı gibi dolgu maddeleri katılabilir.

Aşınma, yorulma ve çekme dayanımları çok iyi olan poliamidler nem çekici olduğundan biçimlendirme cihazına verilmeden önce 3 saat kadar 85-90°C'de kurutulur. Katılık aralığı poliamid ailesinde geniş bir değişim gösterir. Çekme dayanımı da böyledir. Dolgusuz poliamid 500-800 kgf/cm<sup>2</sup> değerinde bir çekme dayanımına sahiptir.

Enjeksiyon ve ekstrüzyonla kolayca biçimlendirilebilen poliamid %0.2'den fazla nem içeriyorsa ürünün mekanik özelliklerinin düşmesi yanında yüzeyinde de kusurlar görülür. Cihazdan çıkan parçalar ise gerilmeleri gidermek amacıyla sıcak suya atılarak bir süre bekletilir. Örneğin 25 mm kalnlığında bir PA parça 70°C'deki suda 15 dakika kadar bekletilmelidir. Gerilmeleri alma uygun bir fırın 140°C'de 15 dakika tutularak ta yapılabilir. Fakat sıcak sulu sistem bünyesel nem ayarlanması bakımından tercih edilmektedir.

Bazen daha etkili olarak gerilme alıcı ve nemlendirici özellikte sıcak potasyum asetat çözeltisi kullanılır. Bunun için 100 k. suya 125 k. potasyum asetat

karıştırılarak 120°C'ye ısıtılır, işlem süresi kalıplanmış parçanın cidar kalınlığına bağlı olarak 15 dakika ile 1 saat arasında değişir.

PA 6.6'da olduğu gibi bazı tipler çok nem alır. Bu değer %8.5'e ulaştığında malzemenin mekanik özellikleri kayba uğrar. PA 6.10, 11 ve 12 ise az nem aldıklarından teknik ve ticari değerleri yüksektir.

%50 bağıl nemli bir atmosferde kondisyonlama, su veya sulu çözelti ile kıyaslanmayacak kadar uzun zaman alır.

Her ne şekilde olursa olsun nem kondisyonlanmasında optimum değer %2.5'i aşmamasına özen gösterilmelidir.

Poliamidin su buharı, hava, oksijen geçirmezliği de iyidir. Bakteri ve mantar barındırmaz.

Yumuşama sıcaklığı yüksek olduğundan poliamid eşya sterilize edilebilir.

Mekanik özelliklerini 100°C'de bile korur, hatta PA 6.6 için bu sıcaklık 150°C'dir.

Aşağıdaki tabloda bazı PA tiplerinin nem ve mekanik özellik bağıntıları görülmektedir.

**Tablo II.8. Bazı PA Tiplerinde Mekanik Özelliklerin Nemle Değişimi (Bünyesel Nem Oranı)[5].**

PA tipi	Erime nok.°C	Nem Ortamı		Akma Dayanımı		Esneklik Modülü	
		%50 BN(*)	Doygun	Kuru N/mm <sup>2</sup>	% 50 NN N/mm <sup>2</sup>	Kuru N/mm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	% 50 NN N/mm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>
6/6	255	2.5	8.5	82.6	58.5	282	120
6	218	2.7	9.5	81.2	44.1	272	96
6/9	210	1.6	5.0	58.5	50.9	199	107
6/1	215	1.5	3.5	58.5	49	192	110
6/1	212	1.3	3.0	60.6	51	203	124
11	185	0.8	1.9	58.5	53.7	131	100
12	174	0.7	1.4	55.0	52.3	134	103

(\*) BN: Bağıl nem

Poliamidlerin nem alma özelliklerinden dolayı %1'e yakın boyut artışına uğrayabileceği, bu nedenle de kalıp tasarım ve üretiminde bu özelliğin göz ardı edilmemesi gerekir.[5]

### II. 3. 1. 3. Sürtünme ve Aşınma

Poliamid mükemmel sürtünme ve aşınma karakteristiğine sahiptir ve pek çok uygulamada yağlama yapılmaksızın kullanılır. Uygulanabilme aralığı yağ emdirilerek, elyaf veya dolgu takviyesi ile genişletilebilir. Genel olarak, sürtünme ve aşınma verileri ticari literatürde muhtemelen sürtünme ölçümlerinin zayıf yenilenebilirle olasılığı nedeni ile yayınlanmamaktadır. Bu ölçümler donanım, sıcaklık, karşı yüzeyin pürüzlülük ve sertliği, basınç ve hızı kapsayan pek çok değişkene bağlıdır [3].

Yüzey basıncı ile çevre hızının çarpımı sonucu elde edilen p-v değeri kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılacak polimerler için önemli bir parametredir, p-v (Basınç x Hız) limiti, yatak malzemesi için verilen bir hıza göre uygulanabilecek maksimum basıncın saptanması olarak verilir. Uygulanabilecek maksimum basıncı malzemenin dayanımı, maksimum hızı ise sıcaklık artışı sınırlar. Sınır değerlerin belirlenmesinde 100 saatte yüzeyden 25 µm malzemenin aşınma sonucu kaybolması esas alınmıştır.

### II. 3. 1. 4. Nem Alma Özelliği

Nem alma özelliği polimerin içine su almasından dolayı ağırlık artış yüzdesi olarak tariflenir. 24 saat su içinde tutmak gibi standart deney teknikleri ilgili standartlarda tarif edilmiştir. Deneyler farklı sıcaklıklarda farklı zaman süreleri için de tatbik edilebilmektedir. Sıvı olarak su kullanma zorunluluğu da yoktur. Nem alma özelliği polimerin mekanik, elektriksel özelliklerinin yanında boyutlarını da etkileyebileceği için oldukça önemli bir büyüklüktür. Nem alma oranları çok az olan polimerler boyut stabilitesi açısından diğerlerinden daha üstündürler [3].

Poliamidlerin su alması tersinirdir. Emilen suyun miktarı şunlara bağlıdır:

- İzafi nem oranı ve çevre sıcaklığı,
- Neme maruz kalma süresi,
- Poliamid tipi, kristalinitesi ve takviye veya dolgu maddeleri. Nem alma hızı poliamidin cinsine, sıcaklığa, poliamidin kristalinitesine ve poliamid kesitinin kalınlığına bağlıdır.

Herhangi bir izafi nem oranı yüzdesine bağlı olarak nem almadaki azalmanın sonucu özellik değişimi daha az ve boyut kararlılığı daha yüksek olmaktadır. Denge

nem içeriği, yüksek metil/amid poliamidler PA 11 ve PA 12 dışında sıcaklığa duyarsızdır. Örneğin, PA 11 23°C de % 100 RH (izafi nem oranı) ta %1,9 ve 100°C de %3,0 nem içerir. İlk yaklaşım olarak , dengeye ulaşma zamanı kalınlığın karesi ile doğru orantılıdır ve artan izafi nem oranı ile azalmaktadır. Bu, amidin yüzeye yakın yerlerde bir bariyer gibi davranması sonucu iç kesimlere doğru su hareketini engellemesi ile açıklanmaktadır. Nemin dışarı verilmesi (desorpsiyon) ile nemin son kalıntılarının uzaklaştırılması zordur. Bu durumda, yüzeye yakın yerlerdeki amid gruplarının kurutulması son nem kalıntılarının yüzeye yayılmasına izin verir.

### II. 3. 1. 5. Boyut Kararlılığı

Farklı çevre şartlarına maruz kaldığında (nem oranı, sıcaklık vs. gibi) nem, çözücü emme, gerilme azalması (nem alma ya da sıcaklık nedeniyle) ve ısıl genleşme nedeniyle parçanın boyutlarında bir değişme meydana gelir. Boyut değişiminin miktarı poliamid, nem ve sıcaklığa bağlıdır.

### II. 3. 1. 6. Poliamid Cinsinin Etkisi

Emilen nemin parçanın tümüne üniform olarak dağıldığı düşünülebilir. Beklenildiği gibi yüksek metilen/amid oranına sahip poliamidler daha az nem alır ve herhangi bir izafi nem oranında daha az boyutsal değişime uğrar. Mineral dolgular, elyaf takviyesi, güçlendirici olarak hidrokarbon elastomerleri, alevlenme önleyici gibi hidrofobik malzemeler içeren poliamidlerde daha az su alma ve buna bağlı olarak daha az boyut değişimi görülür. Plastikleştirici ilave edilmiş reçinelerin davranışları, plastikleştiricinin suda eriyebilmesine ve maruz kaldığı suyun buhar mı yoksa sıvı mı olduğuna bağlı olarak değişir. Elyaf yönlenmesi de bir faktördür. Nem alma sonucu yönlenme yönünde olan boyut değişimi dik doğrultuda olana göre daha azdır. Bu farklılıklar % 33 cam elyaf takviyeli PA 66 için de aynı şekildedir.

### II. 3. 1. 7. Nem ve Sıcaklığın Etkileri

Parçanın kalıplanması sürecinde poliamidin nem alması, gerilme azalmasından ve nem almadan dolayı genleşmesinin sonucu olarak boyut değişimine neden olur. Boyut değişimi parça kalınlığına ve kalıplama şartlarına bağlıdır. Bu iki zıt etki boyutta tek bir değişime neden olur. Bu değişim oldukça düşüktür. Örnek

olarak 1 yıl boyunca % 50 RH. enjeksiyonla üretilmiş 3.2 mm kalınlığında bir PA 66 parçanın boyutundaki değişim % 0.1 den azdır. Bu örnek poliamidin dişli çark, bobin gibi kritik boyut gerektiren durumlarda neden başarıyla kullanıldığını açıklar. Nemdeki değişime bağlı olarak nem almada ya da nemin dışarı verilmesinde de değişiklik olur. Ancak nem alma/verme oranı (rate) oldukça düşüktür ve sonuç olarak boyuttaki değişimde küçüktür. Örneğin enjeksiyonla üretilmiş PA 66 parça % 50 RH da ( $\pm$  % 10RH değişimi) dengeye ulaştığında boyutlarında % 0,4 ten daha az bir değişim olmaktadır.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan poliamidlerde gerilme azalması ve ısı işlem sonucu çekme olur. Değişimin miktarı parçanın kalınlığına ve enjeksiyon sıcaklığına bağlıdır. Isıl işlem görmüş parçalarda nem almadan kaynaklanan boyut değişimi olmaktadır. İlk bakışta, gerilmesiz bir parçada nem alma sonucu boyutlardaki doğrusal değişimin nem almış olan parçanın değişiminin yaklaşık 1/3 olduğu görülmektedir. Poliamid parçalardaki boyut değişimi ısı genişlemenin bir sonucudur.

Doğrusal ısı genişleme katsayıları aşağıda belirtilen sonuçları ortaya çıkarmaktadır:

- Doğrusal ısı genişleme katsayıları sıcaklığa bağlıdır. Test numunesindeki nem, poliamidin ısı genişleme katsayısını etkilemektedir. Örneğin PA 66' nın genişleme katsayısı  $8,1 \times 10^{-5}/K$  iken bu değer doymuş PA 66 için  $11,71 \times 10^{-5}/K$  'dir.
- Cam elyaf takviyeli poliamidlerin doğrusal ısı genişleme katsayısı anizotropiktir. Örneğin %30 ile %33 cam elyaf takviyeli PA 66' nın yönelme doğrultusundaki katsayısı dik doğrultudaki katsayının yaklaşık 1/3' dür.

## II. 3. 2. Polietilen

Günümüzde en çok kullanılan termoplastik olan polietilen toplam plastiklerin % 40' ı kadar bir tüketim oranına sahiptir. Birçok prosese uygun düşen polietilen granül, film, levha, profil gibi şekillerde piyasaya sürülen, kolay üretilen, problemsiz kullanılan ucuz bir ürün olarak dünya piyasalarının başta gelen plastiğidir. Polietilenin çok değişik özellikleri vardır. Genellikle polietilenler tok, çok iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sifra yakın nem emme özelliği olan ve kolay işlenebilen plastiklerdir. Polietilenler yoğunluklarına göre

alçak, orta ve yüksek olmak üzere üç gruba ayrılabilirler; bunlara “çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen” denilen dördüncü bir grup ilave edilebilir.

Yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) mekanik özellikleri çok iyi olup özellikle darbe ve çekme dayanımları yüksektir. Suya, kimyasal maddelere direnci iyidir. Enjeksiyon, ekstrüzyon, toz kalıplama, film çekme gibi birçok üretim yöntemine uygun bir malzemedir. Geniş bir kullanım alanına sahip HDPE’ den basınçlı borular, gaz dağıtım boruları, şişe, bidon, varil, beyaz eşya ve makine parçaları, oyuncak, elektrikli ve elektronik eşyaya yapılmaktadır. Suya dayanıklı olduğu için tekne ve depo yapımında da HDPE’den yararlanır [7, 8].

### **II. 3. 3. Katkılı Plastikler**

Pratikte plastikler kendilerine çeşitli özellikler kazandıran katkı maddeleriyle işlendikten sonra piyasaya sürülür. Plastikler çekme, darbe ve ısı mukavemeti, boyut kararlılığı vb. özelliklerini iyileştirmek ve bazen de ekonomik sebeplerden dolayı başka malzemelerle katkı olarak kullanılır. Katkı malzemeleri elyaf (fiber) ve dolgu (filler) şeklinde olabilir.

Elyaf takviye sistemi genellikle plastiklerin yukarıda bahsedilen özelliklerin iyileştirmek amacıyla uygulanan pahalı bir sistemdir. Bu nedenle elde edilen iyileştirme, malzemenin fiyat artışını telafi edici seviyede olmalıdır. Elyaf takviyesinde malzeme olarak genellikle cam elyafı, karbon ve aramid gibi maddeler kullanılmaktadır.

Elyafın takviye olarak kullanılmasında aşağıdaki üç faktörün dikkate alınması gerekir:

- Elyafın matris tarafından iyi ıslatılması,
- Matris ile elyafın temas yüzeyinde kimyasal reaksiyonun olmaması
- Elyafın iyi yüzey karakteristiklerine sahip olması.

Eğer elyaf, ana reçine tarafından ıslatılmazsa, temas yüzeylerinde boşluklar oluşur ve bu da ikisi arasındaki bağları zayıflatır.

Kaymalı yatak, kızak gibi birbirine göre izafi hareket halinde bulunan makine elemanlarında, sürtünme ve aşınma öncelikle dikkate alınması gereken olaydır. Bu bakımdan sürtünme katsayısının düşük ve aşınma direncinin yüksek olması istenmektedir. Sürtünme ve aşınma bakımından iyi davranış gösteren poliamid, politetrafluoretilen (PTFE) gibi termoplastikler belirli bir yağlama özelliğine sahiptir.

Ancak bazı durumlarda da bu malzemelerin sürtünme katsayıları oldukça yüksek ve aşınma dirençleri düşüktür. Bu aşamada molibden disülfid (MoS<sub>2</sub>), grafit, bronz, bakır oksit (CuO) gibi dolgularla hem yağlama hem de aşınma özellikleri iyiletirilmeye çalışılır. Ancak bu şekilde elde edilen kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri iyi olmasına rağmen, mekanik özellikleri ve boyut kararlılığı yeterli derecede iyilememektedir. Bu durumda, üçüncü aşama, elyaf takviyeli kuvvetlendirilmi plastiklerde sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştiren dolgu malzemeleri kullanılır. Neticede mekanik, sürtünme, aşınma ve boyut kararlılığı iyiletirilmi bir kompozit elde edilir.

### **II. 3. 4. Polikarbonat (PC)**

Polikarbonatlar elektriksel yalıtım özellikleri, yanmazlıkları, yüksek ısıl bozunma sıcaklıkları ve çarpma dirençleri, şeffaflık ve boyutsal kararlılıkları nedeniyle elektronik endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Bu stn özellikleri nedeniyle polikarbonat yüksek performanslı malzeme sınıfına girmektedir. Yüksek arpma direnci, yüksek ısıl bozunma sıcaklığı ve nem/UV-kararlılığı nedeniyle taşımacılık ve ulaşım sektöründe reflektör, otomobil arka lamba muhafazası, motosiklet cam siperi, otomobillerde havalandırma ve soğutma kafesi, iç aydınlatma aksamı, elektrik-dağıtım sistemi muhafazası, silecek destekleri, otomobil sigortaları, uçak yapımında i aksamda ve trafik sinyallerinin üretiminde kullanılmaktadır.

### **II. 3. 5. Polistiren (PS)**

Polistiren, polivinil klorür ile beraber en çok kullanılan plastiklerdendir. Stirenin polimerlemesi ile elde edilen türüne kristal veya genel maksatlı polistiren denir. Stiren monomerinin polibutadien kauçuğu ile açılarak üretilen türüne ise “antiok polistiren” denilmektedir.

Kullanım yerleri; gıda ambalajı, radyo ve televizyon kabinleri, teyp ve video kasetleri, buzdolabı parçaları, gıda ambalajı, dekoratif yapı malzemeleri, masa, sandalye, mobilya, mutfak gereçleri, oyuncak sanayidir.

## **II. 3. 6. Polipropilen (PP)**

Enjeksiyon ve şişirme kalıplamaya uygundur. Plastik koli bandı, film kutusu, elektrik süpürgesi parçaları, oyuncak, mutfak eşyaları, endüstriyel parçaların imalatı, keçeli kalem kabı, elektrik düğme ve prizleri, televizyon kasası, plastik kutu araba parçaları (tampon, direksiyon, ön konsol, benzin deposu vs.), tüfek ve tabanca kabzası, elektrikli ev eşyaları, teyp ve video kasetleri, enjektör, banyo eşyaları, piknik ve yemek takımları, şişe kapağı, limon sıkacağı, oyuncak yapımı gibi alanlarda yoğunlukla kullanılır.

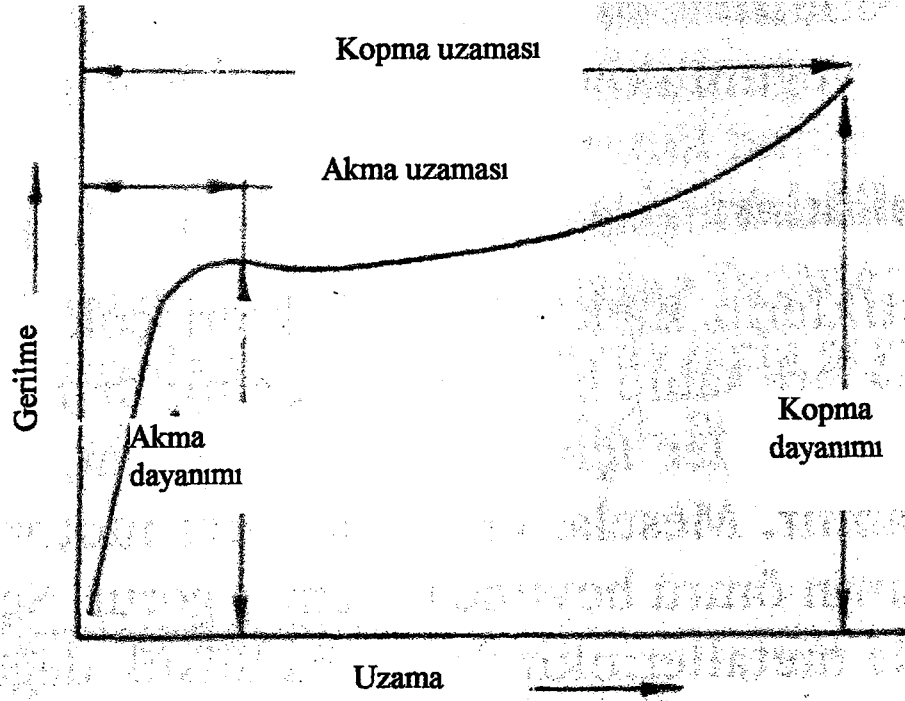
Kopolimerlerin kullanım alanları genelde meşrubat, meyve, ekmek, sebze ve balık kasası, gaz ve benzin bidonları, otomobil farı ve tamponu, su boruları, banyo küveti, kova, leğen, vantilatör, çamaşır makinesi kazanı, plastik dişli, banyo ve mutfak eşyaları, akü ve pil kutuları, vantilatör parçaları, çamaşır makinesi merdanesi, televizyon kasası, buzdolabı iç aksamı ve buharlaşma paneli, vantilatör parçalarıdır.

## **II. 4. PLASTİKLERİN ÖZELLİKLERİ**

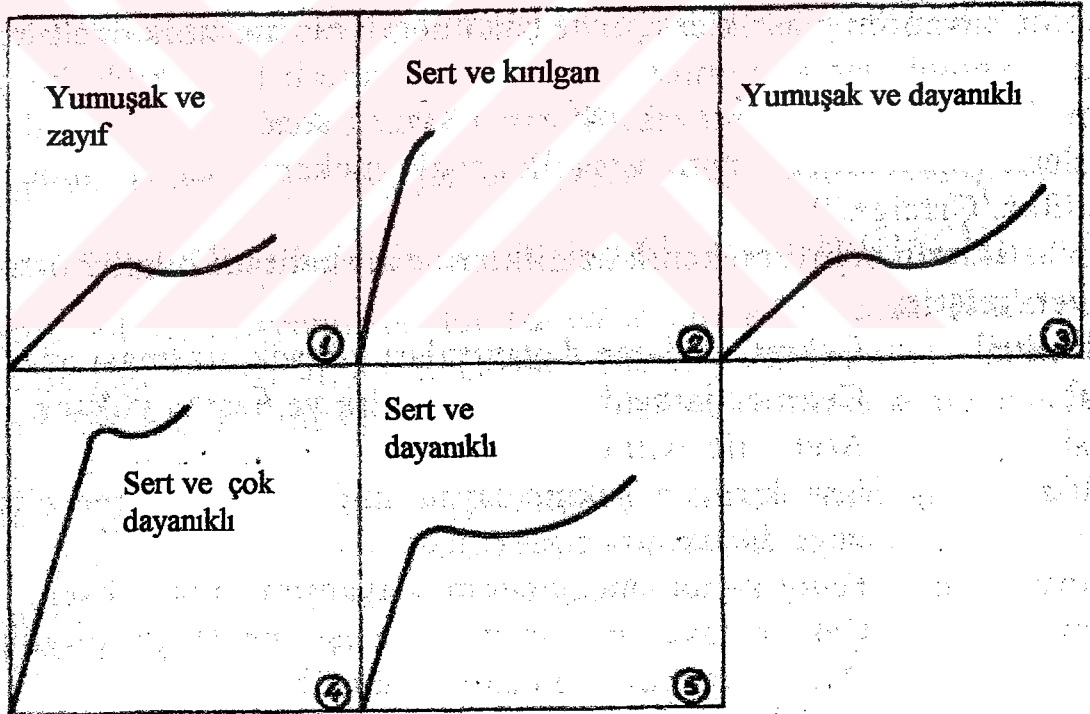
### **II. 4. 1. Mekanik Özellikler**

Türlerine göre plastiklerin mekanik özellikleri çok büyük dağılım gösterir. Yüksek mekanik özelliklere sahip olanlarıyla demir dışı metallerinkine yaklaşır. Bununla beraber bazı plastikler için aşınma dayanımı, uzama değerleri metallerinkinden yüksek olabilir. Mesela, oto cam silici motorunun poliamid dişlisi, hiç yağlanmadan, arabanın ömrü boyunca hizmet görür. Sertlik, basma ve çekme dayanımları ise, genelde metallerinkinden daha düşük değerdedir.

Şekil II.3'de plastiklere ait tipik bir gerilme-uzama grafiği, Şekil II.4'de de değişik mekanik özelliklere sahip plastiklerin grafikleri görülmektedir [5].



Şekil II.3. Plastiklere Ait Gerilme-Uzama Grafiği



Şekil II.4. Değişik Mekanik Özelliklerdeki Plastiklerin Gerilme-Uzama Grafikleri

- (1) Akma ve çekme dayanımlarıyla esneklik modülü yüksek, uzama vasat değerlerde.
- (2) Akma yok, çekme vasat, esneklik modülü yüksek, uzama çok az.
- (3) Akma değeri ve esneklik modülü düşük, uzama yüksek,
- (4) Akma ve çekme dayanımları yüksek, esneklik modülü yüksek, uzama vasat değerlerde.
- (5) Akma ve çekme dayanımları yüksekçe, kırılma tokluğu yüksek.

Sürünme dayanımı plastikler için de çok önemli bir mekanik özelliktir. Statik ölçümler teknoloji gereksinimlerini her zaman yeterli bir şekilde karşılayamamaktadır. Biçimlendirilmiş bir plastik parça basınç, sıcaklık, kimyasal ortam gibi faktörlerle belirli bir süre zorlanırsa Tablo II.9' deki gibi ilk andaki mekanik değerlerinde düşmeler görülür.

**Tablo II.9. Bazı Plastiklerde Sıcaklık, Yükleme ve Süreye Bağlı Olarak Sürünme Modüllerinin Değişimi [5]**

Plastik Türü	İŞLEMLER						
	Deney Sıcaklığı [°C]	Yükleme gerilmesi [N/cm <sup>2</sup> ]	Yükleme süresi [h]	1 saat yüklemde sürünme modülü [N/mm <sup>2</sup> ]	1000 saat yük. sürünme modülü [kg/mm <sup>2</sup> ][N/mm <sup>2</sup> ]		Modül değişimi (%)(* )
ABS	22	686	1000	2344	210	2059	12
	70	343	*	755	15	147	80
Akrilik	22	686	10	2824	240	2353	16
	50	343	*	2843	140	1373	25
Asetal	22	686	1000	2755	119	1167	57
	84	343	*	1245	63	618	50
Poliamid 6	22	1373	*	3304	212	2079	37
	120	686	*	480	32	314	35
Poliamid 6.6	90	961	*	672	50	490	22
Poliamid 6.1 2	125	2068	*	5027	365	3577	29
Poliamid 6.10 (% 60 cam lifli)	23	3440	*	14465	974	9545	34
	23	6889	*	10535	928	9094	14
Poliester, (termoset)	22	1372	*	9437	654	6409	32
	22	2068	*	9643	548	5370	44
PET	22	735	*	3028	265	2597	14
PET (%30)	22	4136	*	9153	680	6664	27
Polietilen, yy	22	862	*	382	15	147	60
Polikarbonat	22	2068	*	2372	218	2136	10
	125	343	*	1029	39	382	63
Polikarbonat (%40 cam tak.)	54	2068	*	7164	527	5165	28
	54	3440	*	7027	703	6889	2
Polimid cam. t.	197	1725	100	19629	1898	18600	5
Polipropilen	20	343	1000	1029	46	685	56
	60	412	*	333	21	206	38
Polistiren (darbe day.)	22	1372	30	3028	140	1372	54
	22	686	1000	1862	127	1245	33
PTFE	22	343	*	343	16	157	54
PTFE (%25)	20	686	*	813	43	421	48
PU (%40 cam.	23	343	*	1098	88	862	21
Sülfon	22	2754	*	2411	217	2127	12
Vinil (sert)	20	1000	30	3018	291	2852	6
Vinil (sert)	22	686	1000	2274	126	1235	46

(\* ) 1 ve 1000 saat yükleme ile modüllerinin fark oranı yüzdesidir.

Bazı plastiklerin belirli mekanik özelliklerine ait kalitatif bilgiler örnek olarak aşağıda verilmiştir

Akrilonitril	: Çekme ve darbe dayanımları yüksek, uzaması az,
Asetal	: Çekme, darbe dayanımı, sertlik ve uzama yüksek
Epoksi	: Asetal ile aynı özelliklerde,
Fenolik	: Sert, kırılğan, çekme dayanımı dolgu maddesine göre yüksek veya düşük, uzaması çok az,
Melamin	: Fenolik gibi, ancak çekme dayanımı daha yüksek,
Poliamid	: Çekme dayanımı, uzaması ve aşınma dayanımı yüksek,
Poliester, ts	: Darbe dayanımı ve uzaması düşük,
Poliester, tp	: Darbe ve çekme dayanımı yüksek,
Polikarbonat	: Çekme, sürünme ve darbe dayanımı ile uzaması yüksek,
Polietilen, yy	: Darbe dayanımı yüksek,
Poliiimid	: Çekme ve darbe dayanımı yüksek, sürünme dayanımı yüksek (yükleme sonu dayanım değişimi az),
Poliüretan	: Çekme dayanımı değişik, darbe dayanımı yüksek, uzaması çok fazla,
Polivinilklorid	: Çekme dayanımı ve esneklik değişik,
Silikon	: Mekanik özellikler zayıf, ısı direnci yüksek
Sülfon	: Çekme, basma, sürünme dayanımı yüksek, sıcakta da bu özelliklerini korur.

Plastiklerin sert, yumuşak veya elastik olmalarını nitelendiren önemli bir kavram da "kohezyon enerjisi yoğunluğu"dur. Moleküllerin çekim enerjilerinin yüksek olduğu, veya düşük olduğu oranlarda plastikler rijit veya yumuşak olabilmektedir. Bir bakıma kohezyon enerjisi yoğunluğu plastiklerin belirli mekanik özelliklerini tariflemektedir. Kohezyon enerjisi yoğunluğu birimi kalori/cm<sup>3</sup> tür. Tablo II.10'da bazı plastikler için bu değerler görülmektedir.

Çizelge incelendiğinde, Polietilen (A), Poliizobutilen ve Poliizopren'in rijitlikleri az, aksine mekanik özellikleri çok iyi olan, örnek olarak da sanayide hadde yatağı olarak kullanılabilen ısı işlemi yapılmış Poliheksametilen adipamid (nylon)'e ait kohezyon enerjisi yoğunluğunun da büyük olduğu görülür.

Tablo II.10. Bazı Plastiklerin Kohezyon Enerjisi Yoğunlukları [5]

Polimer Adı	Tekrarlanan birim (ana grup)	Kohezyon En. Yoğ.	
		(cal/cm <sup>3</sup> )	J/cm <sup>3</sup>
Poliakrilonitril	-CH <sub>2</sub> CHCN-	(237)	991.8
Poliyeten, (Ay)	-CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> -	(62)	259.5
Poliyeten tereftalat	-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COO-	(114)	477
Poliheksametilen	NH(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -NHCO (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CO-	(185)	774.2
Poliizobutilen	-CH <sub>2</sub> C (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -	(65)	272
Polimetil metakrilat	-CH <sub>2</sub> C(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (COOCH <sub>3</sub> )-	(83)	347.3
Polistiren	-CH <sub>2</sub> CH (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> )-	(74)	309.7
Polivinil asetat	-CH <sub>2</sub> CH (OCOCH <sub>3</sub> )-	(88)	368.3
Polivinil klorid	-CH <sub>2</sub> CHCl-	(91)	380.8
Poliizopren	-CH <sub>2</sub> C (CH <sub>3</sub> ) = CH-CH <sub>2</sub>	(67)	280.4

Homopolimer veya kopolimerlere belirli amaçlar için katılan dolgu maddeleri onların değişik ve iyileştirilmiş mekanik özellikler kazanmasını sağlar. Örnek olarak cam lifi veya asbest'in katıldığı plastiğin çekme dayanımını artırması (uzamasını azaltması) ve boyut kararlılığını iyileştirilmesi verilebilir. Bunun aksine maliyeti ucuzlatmak için plastiğe aşırı miktarda katılan odun unu çekme dayanımını önemli ölçüde azaltır.[5]

Plastiklerin mekanik özellikleriyle ilgili önemli Türk Standardları aşağıda gösterilmiştir:

Çekme özellikleri (ve uzama)	: TS 1398
Basınç dayanımı	: TS 1096
Darbe dayanımı, izod	: TS 1326
Sertlik	: TS 1005

## II. 4. 2. Elektriksel Özellikler

Özel bir amaçla üretilmedikçe plastiklerin hemen hemen hepsi yalıtkan olup iyi bir dielektrik özelliğine sahiptir.

Dielektrik sabiti, herhangi bir maddeden yapılmış kondansatörün kapasitesi ile aynı kondansatörde dielektrik madde olarak hava (veya boşluk) bulunduğu zaman göstereceği kapasite (sığa) arasındaki orandır.

Yıllar önce, plastikler sanayideki yerini almamış iken elektrik kablosu üretiminde yalıtkan madde olarak lastik kullanılırdı. Üretim güçlüğü ve zaman kaybı

yanında bu tür yalıtkanlar aradan yıllar geçince yapı bozunmasıyla tehlikeli akım kaçaklarına neden olurdu. Plastikler sayesinde dayanıklı ve istenilen kalitede yalıtıma sahip elektrik malzemelerini ekonomik olarak yapmak mümkün olabilmiştir. Biraz ısının açığa çıktığı bazı elektrik devre elemanları yapımında sıradan termoplast plastiklerin kullanımı sakıncalı ise de yumuşama sıcaklığı yüksek, hatta bazı dolgularla ısısal özellikleri daha da iyileştirilen termoplastlar ve termoset ürünler bu tür üretime iyi bir çözüm getirirler. Fenol formaldehit, melamin formaldehit ve halojenli plastikler tipik birer örnek olarak verilebilirler. Dielektrik dayanımını arttıran, ısısal özelliklerini iyileştiren başlıca dolgu maddeleri mika, asbest ve antimon trioksittir.

Alışlagelenin dışında, bazen, özel amaçlar için plastiğin belirli derecede iletken olması istenir. Sıradan plastikler için bu amaca, bileşimine metal tozları, grafit, karbon siyahı gibi maddeler katılarak ulaşılabilir. Üzerinde çalışılan "poliasetilen" ve benzeri plastiklerin dolgu maddesine gerek kalmadan iletken özelliklere sahip olduğu bilinmekte olup, kablo yapımı ve diğer metalden yapılan elektrik malzemeleri için bakıra alternatif olabilecektir.

Plastik maddelerin dielektrik dayanımları TS 1397, dielektrik sabitleri de TS 1224'teki deneylerle ölçülmektedir.

## **II. 4. 3. Kimyasal Özellikler**

Genelde çoğu plastik maddeler belirli derişimlerde asitlere ve bazlara karşı dirençlidirler. Bu direnç plastik türlerine göre az çok değişmektedir. PE- PTFE, PP, Epoksi, Poliester, Sülfon, Vinil plastikleri kuvvetli asitlere ve bazlara dirençli tipik örneklerdir. Akrilik, Fenolik, Poliasetal ve termoplast poliester ise kuvvetli asit ve bazlara karşı direnç göstermeyen ürünlerdir. Açık hava koşullarında da her plastik değişik şekillerde etkilenir.

Plastiklerin açık hava koşullarından etkilenmeleri de Tablo II.11'de görülmektedir. Polibutilen, Polikarbonat ve teflon grubunun açık hava koşullarına en dayanıklı plastikler olduğu anlaşılmaktadır [5].

**Tablo II.11. Açık Hava Koşullarında Bazı Plastiklerin Mekanik Özelliklerindeki Değişmeler [5]**

Plastik türü	Kaldığı bölge	Süre [yıl]	Çekme dayanımı değişmesi (%)	Uzama değişmesi (%)
Poliaselal	Florida (1)	1	0	0
Poliasetal	Florida (1)	10	-3	-24
Akrilik	Florida (1)	1	0	0
Akrilik	Florida (1)	3	-4	-5
Akrilik	Bristol (2)	5	-23	-49
Poliamid	Florida	1	-21	-
Poliamid	Florida	5	-11	-78
Poliamid	Florida	15	-34	-80
Polibutilen	Arizona (3)	2	-	0
Polikarbonat	Arizona,Florida	3	-1	+1
Poliester	DAĞILIM BÜYÜK			
Polietilen	Londra (4)	1	-12	-12
Polietilen	Londra (4)	3	-14	-20
Polistiren	Los Angeles (5)	1	-11	-
Polistiren	Los Angeles (5)	2	-9	-15
Polisülfon	Malverne (6)	1	+5 -(-9)	-
Polisülfon	Malverne (6)	2	-6 -(-10)	-
Teflon 6	Florida	15	-2	0
Teflon 7	Florida	15	16	5
Poliüretan	DAĞILIM BÜYÜK			
Vinil Plastikleri	Genelde çekme yüksek, uzamalar düşük gözlenmiştir.			

Bölgelerin iklim özellikleri:

- (1) : Yağışlı, sıcak (tropikal)  
(2) : Ilık ve yağışlı (nemli)  
(3) : Sıcak ve kurak  
(4) : Ilık ve yağışlı (nemli)  
(5) : Ilık ve yağışlı (nemli)  
(6) : Soğuk ve yağışlı (nemli)

#### II. 4. 4. Çözünürlükler

Fenol formaldehit, melamin formaldehit, poliester gibi termoset plastiklerden kalıplanmış parçalarla PE, PP, PVC, PA, PTFE gibi yüksek mol ağırlıklı polimerler çözücülere karşı çok dirençli maddelerdir. Selüloz plastikleri (selüloz asetat, selüloz nitrat gibi) akrilik, vinil asetat, polistiren gibi maddeler de universal çözücülere

direnç gösteremeyip çözümler. Çözünürlük dereceleri de plastik ve çözücü türlerine göre Tablo II.12'de olduğu gibi değişim gösterir.

**Tablo II.12. Bazı Plastiklerin Çözünürlükleri**

ÇÖZÜCÜ	PLASTİK							
	Etil selüloz	Selüloz asetat	Selüloz butirat	Selüloz nitrat	PMMA	PS	Vinil asetat	Vinil asetat
Aseton	0	+	+	+	+	0	+	0
Benzen	0	-	-	-	+	+	+	-
Cellosolve	0	-	0	+	+	-	+	-
Dioksan	+	+	+	+	-	+	+	+
Etilen	+	-	+	-	+	+	+	+
Etilen	-	0	-	0	-	-	-	-
Etanol	0	-	-	-	-	-	+	-
Eter	0	-	-	-	-	+	+	-
Toluen	0	-	-	-	+	+	+	-

İşaretler : + : çözünür - : çözünmez 0 : az çözünür

Plastiklerin çözünürlük özelliğinden yararlanılarak onların dispersiyon (bir maddenin başka bir madde içinde iyice dağılması sonucunda oluşan homojen bir sistem) haline getirilmeleri ve yapıştırılmaları sağlanır. Dispersiyon haline getirilmeleri lak ve boya yapımı için çok önemlidir.

Kimya sanayi ile kimyasal maddelerle çalışılan iş yerlerindeki donanımın plastikten yapılması halinde kimyasal ve çözünürlük özellikleri de dikkatle incelenmelidir.

Belirli plastiklerle kaplanmış bir metal parça veya yüzeyin yeniden temiz hale getirilmesi söz konusu olduğunda bazı kimyasal maddeler kullanılarak, tahriple bu amaca ulaşılır. Tablo II.13' de bazı örnekler incelenebilir.

**Tablo II.13. Yapısal Bozulma ile Plastiklerin Çözünmesi**

Plastik Türü	Kimyasal Madde
Epoksi	Derişik sülfat asiti, sıcak
Fenol formaldehit vb.	Sodyum hidroksit çözeltisi, sıcak
Poliamid	Formik asit çözeltisi, % 90'lık
Polietilen	Tetrahidronaftalin, toluen, çikloheksan, sıcak
Polietilen tereftalat	0-Klorofenol, fenol ve krezol karışımları

Plastiklerin değişik derişimlerdeki asit ve alkalilerle çözümlere dirençleri TS 710'daki deneylerle saptanmaktadır.[5]

## II. 4. 5. Isısal Özellikler

Plastiklerin en önemli ısısal özellikleri ısı iletkenliği, ısı genleşmesi (boyca), ısıya dayanıklılık, eğilme sıcaklığı, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, yanma oranı ve yanma ürünlerinin incelenmesidir.

Plastikler genelde çok küçük ısı genleşmesi katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısına sahiptirler. Özellikle köpük plastik haline getirildikten sonra yalıtım değerleri daha da yükselir.

Eğilme, yumuşama ve erime sıcaklıkları daha çok termoplast ürünler için bahis konusudur. Termoset ürünler ise genelde daha yüksek ısısal özelliklere sahiptirler. Termoplastlar genelde 50-125°C sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabildiği halde termosetler 110-300°C lerde bile dayanıklıdır. Yanma özellikleri de plastiklerde çok değişiktir. Küçük bir alevle hemen tutuşabilen selüloz nitrata karşılık bek aleviyle işlev gören silikon plastiği ve termoset poliimid bu konuda tipik örneklerdir.

Plastiklerin bazı ısısal özellikleri aşağıdaki standartlarla tayin edilmektedir:

Isı iletkenliği	TS 388
Isı genleşmesi (boyca)	TS 1065
Eğilme sıcaklığı	TS 1400 - 1402
Vicat yumuşama noktası	TS 1825
Erime akış indisi	TS 1323

Bazı polimerler özel kimyasal maddelerle sıcakta işleme tabi tutulduğunda bir önceki tablodan görüldüğü gibi yapısal bozulma ile çözümler.

Termoplast plastikler, ısı ile yumuşamalarından yararlanılarak çeşitli yöntemlerle biçimlendirilirler. Termosetler de nispeten ısıya dayanıklı olduklarından elektrik malzemeleri yapımında fazla miktarda kullanılırlar.

Bazı sıvı polimerler uygun soğuma hızlarına sahip olduklarından çeliklere su vermede başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Isısal özellikler bakımından yağların yerine geçebilecek olan Polialkilen glikol, su verme çatlak riskini büyük ölçüde azaltmakta ve malzemeye boyut kararlılığı sağlama avantajlarına sahiptir. [4]

## II. 5. POLİMER BİLEŞENLERİ

Polimerlerin harmanlanması (blending), yapısal farklılık gösteren homopolimer ya da kopolimerlerin yalnız başlarına özellikleri yeterli olmadığı durumlarda iki veya daha fazla sayıda polimerin özel yöntemlerle homojen hale getirilmesidir. Harmanlama yalnız polimerlerin karıştırılması ile yapılan tamamen mekanik bir işlemdir ve harmanlanan polimerlerin kimyasal bağlarına bağlı değildir. Bu bakımdan kopolimer ve terpolimerler harmanlama ürünleri değildir.

**Tablo II.14. Kristalin, amorf ve elastomer karışım bileşenlerine ait örnekler**

<b>Kristalin polimerler</b>	<b>Amorf polimerler</b>	<b>Elastomerler</b>
Polietilen (PE)	Polikarbonat (PC)	Butadienler
Polipropilen (PP)	Polisülfon (PSU)	Etilen-propilen-dien terpolimeri
Polioksümetilen (POM)	Polieterimid (PEI)	(EPDM)
Poliamid 6 (PA6)	Stirenikler	Stiren blok kopolimerleri (SBC)
Polibütilentereftalat (PBT)	Akrilikler	Termoplastik poliüretan (TPUR)

Kristalin polimerler mükemmel kimyasal direnç gösterirler, çok net ergime sıcaklıkları ve iyi akış özelliklerinden dolayı kolay işlenebilirler, takviyelerle mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirilebilir. Bununla beraber gevrek yapıları, düşük darbe mukavemetleri ve soğutulurken çarpılması dezavantajlarıdır.

Amorf polimerler çok iyi boyutsal kararlılığa ve darbe dayanımına sahiptirler, transparan ve berrak yapıdadırlar. Zayıf kimyasal dirençleri, yüksek viskoziteleri ve işlenebilirliklerinin güç olması dezavantajları olarak ifade edilebilir.

Elastomerler kalıcı deformasyon olmaksızın çok yüksek uzama değerlerine sahiptir, esneklikleri iyidir ve mükemmel darbe mukavemetleri vardır. Rijitlikleri ve kopma mukavemetleri düşüktür.

## II. 6. TİCARİ POLİAMİDLER VE UYGULAMA ALANLARI

### II. 6. 1. Poliamid 66 (PA 66)

Hegzametilendi aminle adipik asidin polimerizasyonu sonucu gerçekleşen poliamiddir. En eski mühendislik plastiği olup 1930 yılında Amerika' da meydana getirildi. Bu nedenle orijinal yaygın kullanımı Amerika ile İngiliz piyasalarıdır. PA6 ile karşılaştırıldığında daha sert, bükülmez, kırılmaz, dayanıklı ve aynı zamanda gevrekliğe sahiptir. PA6 yerine PA66 kullanılması konusundaki ısrar, çok yüksek sertliğinin talep edildiği zararın çabuk iyileşme kabiliyetine sahip olduğu durumlar için tercih edilir. Makinelerde kolay işlenebilir bir malzemedir. ISO 9002 standartlarına göre otomatik makine ile hazırlanan boylarda piyasalarda bulunur [50].

Aşınma mukavemeti bakımından çevresel faktörlere bağlı olarak iyi bir malzemedir. Kendisinden yağlanma özelliği sayesinde sürtünme katsayısı düşük, genellikle kaydırıcı kullanım alanlarında malzemenin ayrıca yağlanmasına ihtiyaç yoktur. Çok yüksek gerilme mukavemeti ve sıkıştırma gücüne sahiptir. Poliamid 6' ya oranla daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek dayanıklılıktan ötürü talaşlı makine uygulamalarına uygun bir malzemedir. Yaşlanma mukavemeti ve her çeşit havaya uygun özellikleri de mevcuttur. Naturel renklerde mevcuttur.

Zayıf noktaları ise havadan rutubet çekmesidir. PA 6'ya nazaran daha küçük özelliklerde olsa bile nemi absorbe eder ve mekanik özellikler ve malzemenin son halinde özelliklerini değiştirebilir.

Mekanik olarak PA6'ya nazaran çok daha sert olmasından dolayı mekanik alanlarda tercih edilir. Poliamid 66'nın kullanım alanları: Dişli takımı, makara, kasnak sürtünme önleyici kılavuzlar, mekanik parçalar, tekerlek gibi parçalarda kullanımı şok mukavemetinden daha önemli olan mekanik özelliklerinden dolayı tercih edilir. Otomatik aletlerle makinelerde kullanımı çok kolaydır. Gıda ile temasa uygundur. Nemli ortamlarda elektriksel özelliklerinin değişkenlik göstermesinden dolayı bu alanda kullanılmaktan kaçınmak gerekir. Alkali, inorganik komponentler ve çözücülere karşı mukavemetli bir malzemedir.

Ticari olarak bulunabilen tüm poliamid polimerler içinde en dayanıklısı olarak bilinen PA 66 en yüksek erime noktasına sahip olanıdır. 264 °C de eriyen PA

66'nın sürekli kullanım sıcaklığı 120 °C dir. Kısmi kristalin bir yapıya sahip olması nedeni ile PA 66'dan yapılan parçaların bazı bölümleri kristal bir yapı arz ederken diğer bölümlerinde amorf bir yapı gözlenmektedir. İmalat şartları değiştirilerek kristalinite miktarı artırılıp azaltılabilir, böylece mekanik özellikleri değiştirilebilir. Poliamid 66 ya PTFE, MoS<sub>2</sub> ve grafit katılarak özellikleri daha da iyileştirilebilir. Su alma özelliğinden dolayı üretim sırasında dikkatli olunması gereklidir; ancak daha sonra bitmiş parçaların su alması sağlamsa basma dayanımlarının artacağı görülür. Parça, suyu havanın neminden elde edebilir; ancak bu çok yavaş bir süreçtir ve genellikle 60°C deki sıcak suya daldırarak işlem hızlandırılabilir.

PA 66 çok yüksek eğilme ve çekme dayanımına ve yüksek darbe dayanımına, düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve yük altında çalışmaya en uygun malzemelerden biridir. Alkalilere ve birçok organik solvente dayanıklı olan PA 66 özellikle yüksek sıcaklıklarda kuvvetli asitlere hiç dayanıklı değildir. PA 66, su buharı haricinde, birçok gaza karşı çok düşük geçirgenliğe sahip olduğu için zaman zaman gaz geçişini engelleme amacıyla da kullanılmaktadır.

80 °C ta oksijen ortamında tüm poliamidler zaman içinde kırılma hale gelirler. Aynı etkiye UV ışınları da neden olabilmektedir. Bu problemi gidermek için cam elyafı ya da UV stabilizatörlü tipleri kullanılmaktadır.

Isıya maruz kalan PA 66 parçanın performansı, PA 66' nın reçine kalitesine, parça geometrisine, ısı kaynağının yapısına ve mekanik yükleme durumuna bağlıdır. Sonuç olarak parçanın ısıl deformasyon direnci standartlaştırılmış karşılaştırma deneylerinden tahmin edilemez. Örneğin, ağır silahların mermi kovanının çevresindeki PA 66 1000°C nin üzerindeki ateşleme sıcaklığına maruz kalabilir. Ancak maruz kaldığı süre az olduğu için kesinlikle deforme olmaz. Saf PA 66 elektriksel uygulamalarda geniş ölçüde kullanılır ve aşırı yüklenmeden yada elektrik arkından kaynaklanan kısa süreli sıcaklık değişimlerine dayanabilir.

Sıcaklık ve kimyasal direnç, mukavemet ve işlenebilirlik özellikleri birleşince PA 66 otomotiv sektörü için oldukça iyi bir malzeme olmaktadır. Metal parçaların yerine polimer içeren daha az maliyetli ve daha hafif sistemlerin kullanılma eğilimi hızla artmaktadır. Son yıllarda , radyatör tanklarının çoğunda kullanılan pirinç yerine cam elyaf takviyeli PA 66 kullanılmaya başlanmıştır. Grafit takviyeli PA 66 emme manifoldu ve yakıt yollarında kullanılmaktadır. Ayrıca gaz teli kılavuzlanmasında, vites değiştirme sistemlerindeki kılavuzlamalarda, kilometre göstergelerindeki

transmisyon sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar özellikle aşınmaya maruz kalan parçalar olduğu için çalışmanın ilgi alanına girmektedir.

Özellikle otomotiv sektöründeki uygulamalarda PA 66 parçaların sıcaklığı 70°C kadar yükselebilmektedir. Bu da yapılan çalışmanın sıcaklık sınırlarını belirlemede önemli bir parametre olarak düşünülmüştür.

MoS<sub>2</sub> yada PTFE katkılı PA 66 ve cam elyaf takviyeli PA 66 geniş olarak dişli çarklar, makaralar ve avara kasnaklar, düşük sürünme direnci, eğilme yorulmasına karşı dayanım ve boyut kararlılığı gerektiren yatak burçlarında kullanılır. Saf PA 66 düşük sürtünme istenen, korozyon istenmeyen somunlar, cıvatalar, pimler, demiryolu izolatör yastıkları ve sprey ağızlıklarında kullanılır. Takviyelendirilmiş ürünler tokluk rijitlik ve abrazyona karşı direnç istenen kepeçli elevatör kovalarında giderek artan şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca takviyeli PA 66 da zincir ve konveyör bandı bağlantılarında, fan kanatlarında, pompa çarklarında, sulama fiskiyelerinde, pompa gövdelerinde, boru bağlantılarında, pencere doğraması izolasyonunda ve manometre gövdelerinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

## II. 6. 2. Poliamid 6 (PA 6)

Poliamid polimer grubu yüksek özellikli mühendislik plastikleri arasında hızla kullanımı artan bir polimerdir. Özellikle; otomotiv sektöründe, elektronik eşya ve ev eşyalarında yüksek dayanım ve sıcaklık isteyen alanlarda yoğunlukla kullanılmaktadır.

Kaprolaktomin polimerizasyonu sonucu oluşan çok uzun ömürlü poliamid yarı kristalize bir termoplastik malzemedir. Makine sanayinde çok kullanılan bir malzemedir. Sanayi plastiğinde rasyonel çözümlerden biri olan poliamid 6 sert bir plastiktir. Teknik özelliklerinin üstünlüğü ile inşaat, gemi, nakliye, mühendislik sektöründe; ambalaj, ziraat ve gıda, tekstil, kağıt, deri, demir-çelik kimya sanayilerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Işık geçirmez. Çubuk, levha, boru ve profil olarak talaşlı yada enjeksiyon kalıpla işlenmiş mamuldür. PA 6 yarı kristalize, yüksek dayanıklılıkta çeşitli uygulamalar için termoplastik mühendislik malzemesidir.

Temel karakteristikleri olarak çok dayanıklı, iyi kaydırıcılık özelliklerine sahip, aşınmaya karşı dirençli; elektrik yalıtımı olup, kolay şekil verilebilir. Kolaylıkla kaynak ve bağ yapılabilir. Sert, rijit ve kaygandır. Temizleme vasıtası ile

dizeller, bir çok yağa ve makine yağlarına karşı dirençli, iyi mekanik dayanıma sahip, su toplama özelliği olan bir malzemedir. Parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımını artırır.

Tercih edilen kullanım alanları: Mekanik mühendisliği, otomobil mühendisliği, taşıma ve konveyör teknolojisi, tekstil, paketleme ve kağıt proses makineleri, yazıcı, içecek dağıtma makineleri ev malzemeleri, elektrik mühendisliği, yapı makineleri, ziraat makineleridir.

Genellikle dişli çark, mil yatağı, piston kılavuzu, makaralar, vuruş levhası, sürtünme mil yatağı olarak kullanılır.

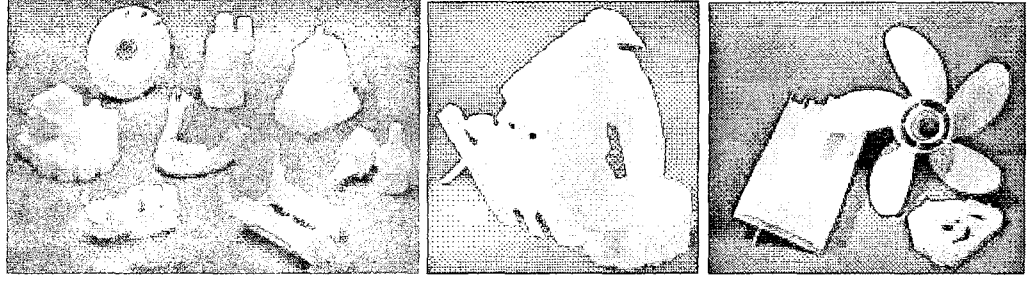
Poliamid 6 çok kolay işlenebilme özelliğiyle ve cam, boya, yağ, vb. malzemelerle yapılabilen alaşımlarıyla kullanılma yerine göre daha mükemmel uyumu ve ekonomikliği sağlar. Yağsız veya çok az yağlı çalışır, mekanik dayanımı yüksektir. Bu yüzden dişlilerde kullanılacak ideal malzemedir. Döküm poliamid kadar sert ve aşınmaya dayanıklı, POM kadar haypon bir malzeme değildir. Malzeme bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımını artırır. Böylece parçanın kullanım sırasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilebilmesin olanak sağlar. Malzemeye tolerans verilmelidir, çünkü havadaki nemden dahi etkilenecek ölçü değişikliğine uğrar.

Genelde natural renktedir, fakat üretici firmalar renk verebilir. Poliamid 6 kimyasal yapısı ve kristal bünyesinden dolayı diğer plastiklerde bulunmayan bir çok üstünlüklere sahiptir. Bu özelliklerinden bazıları:

- Yüksek mekanik dayanım, aşınma dayanımı daha fazladır.
- Geniş ısı aralığında (-50° C / + 60 ° C) kullanılabilmesi,
- Rutubet benzin ve solventlere karşı dayanıklılık,
- Çok kolay mekanik işleme,
- Yüksek darbe dayanımı,
- Yüksek elektrik izolasyon özelliği,
- Sert fakat esnek oluşu,
- Geniş kullanım sıcaklığı,
- Kendisinden yağlayıcı oluşudur.

PA 6 bazı solventlere karşı çok dayanıklıdır. 70°C altında hiçbir solventte çözülmez. Aromatik ve alifatik hidrokarbonlardan, bitkisel ve madeni yağlardan

etkilenmez. Zayıf asit ve bazlara dayanıklıdır. Metal işleyen torna, matkap, freze, planya, testere gibi universal tezgahlarda çok rahatlıkla işlenebilir. Delik ve diş açılabilir. PA 6 ile pek çok pirinç ve alüminyum çalışmalarından daha kolaydır. İşleme esnasında, yağlama ve soğutma malzemelerine genellikle gerek yoktur. En iyi sonuç devir hızlı besleme veya yüksek devir yavaş besleme ile sağlanır. P6 üstün mekanik, termik, elektriksel



**Şekil II.5. Poliamid ile Üretilen Dişliler, Makine Elemanları, Pervaneler, Konveyörler**

ve kimyasal özellikleri, universal tezgahlarda kolay işlenebilir oluşu ile birleşince çeşitli endüstriyel uygulamalarda dişli, yatak, burç, makara gibi komponentlerin imalinde kullanılır. Gerek performansı gerekse ekonomik yönden metallere ve diğer plastiklere göre üstündür. Esnektir. Şok yüklemelerinde kırılmaz sessiz çalışır, metallere göre çok hafiftir. Gıda ile temasa uygun değildir. Yüksek UV stabilizasyona sahiptir. Nem oranına bağlı olarak elektrikli aletlerde kullanılabilir. İnorganik komponentlere ve solventlere mukavemetlidir.

En çok kullanıldığı yerler : Makaralar, tekerler, çarklar, ringler, basınç silindirleri, flanşlar, filtre plakaları, beton döküm plakaları, soya pres plakaları, konveyör makaraları, sonsuz vidalar, mafsal parçaları, kayış yatakları, kayış kasnakları, vanalar, vana parçaları, ray bağlantıları, teleferik ve havai hat makaraları, asansör makaraları, yuvalar ve yataklar, silindirik dişli çarklar, dişli miller, dişli segmanlardır.

PA 6 molekül ağırlığı 8.000 ile 100.000 g/mol arasında değişen yüksek kristaliniteye sahip, nem aktivitesi düşük, döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olup, naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır.

**Tablo II. 15. PA 6'nın Genel Özellikleri**

<b>ÖZELLİKLER</b>	<b>TEST METODU DIN</b>	<b>BİRİM</b>	<b>DEĞER</b>
Yoğunluk	53479	g/cm <sup>3</sup>	1.15
Sürtünme Katsayısı			0.15
Basma Dayanımı	53454	kg/cm <sup>2</sup>	1100
Sertlik	53505	Shore D	85
Darbe Dayanımı	53453	kJ/cm <sup>2</sup>	Kırılmaz
Çekme Dayanımı	53455	kg/cm <sup>2</sup>	800
Kopma Uzaması	53455	%	40
Dielektrik Dayanımı	53481	kV/mm	30
Ergime Noktası	53736	°C	220
Elektrik Yalıtkanlığı		106.HZ	4
Maksimum Kullanım Sıcaklığı	Sürekli	°C	+ 120
	Kısa Süreli	°C	+ 160
Işık Yalıtkanlığı			Orta
Besinlerle Temas			Zayıf
Asitlere dayanımı			Zayıf
Bazlara dayanımı			İyi

PA 6 molekül ağırlığı ve yapısından dolayı darbe dayanımı yüksek olup, aşınma ve darbe dayanımının çok yüksek, nem aktivitesinin düşük olması gereken uygulamalarda tercih edilir. Sistemin sürtünme ve aşınma özellikleri, malzeme çifti, yüzeylerin pürüzlülüğü, temas geometrisi, ara yüzeyde yağlayıcı olup olmaması, yük, hız ve sıcaklık gibi pek çok parametreye bağlıdır. PA 6'nın sürtünme katsayısı ve aşınma miktarını etkileyen ana faktörler, malzeme çiftinin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik, uygulanan basınç, temas yolunun uzunluğu, sürtünen yüzeylerin sıcaklığı ve yağlama durumudur. Buna göre PA 6 mamuller yatak, dişli, aşınma plakaları, birleştirme parçaları, silindirler vb. parçaların yapımına uygun olup, pirinç, bronz, çelik, paslanmaz çelik yerine gereken durumlarda tercih edilir.

Düşük ve normal kayma hızlarında, toz, kum ve benzeri bulunan aşındırıcı ortamlarda bu polimerin çalışma ömrü, döküm, demir, bronz ve çelikten 2-10 kat daha fazladır. PA 6 zayıf asidik ve bazik kimyasallara ve organik çözücülere dayanıklıdır. [52]

Sayısı, 20 civarında olan farklı poliamid türünden ambalajlama açısından en önemli olanlar, PA 6, PA 12, PA 6/66, PA 6/12 ve PA 11' dir. Poliamidler kısmen kristal yapıda olup PA 6/66 ve PA 6/12 en düşük kristal derecesine sahiptir. Kristal

içeriğindeki artış, şekil kararlılığını ve geçirgen olmama özelliğini arttırırken saydamlığını azaltmaktadır.[6]

Poliamidler, kristal yüzdesine bağlı olarak saydamlıkları çok iyi ile orta arasında, dayanımları yüksek, sertlikleri orta malzemeler olup gazları, yağ ve aromayı nispeten geçirmeme özelliğine sahiptirler. Hidrofilik yapıları nedeniyle su buharına karşı ancak vasat bir bariyer oluştururlar. Ergime noktaları ürüne bağlı olarak 175-255°C'dir, düşük sıcaklıklara dayanımlar (-50)-(-70)°C arasında değişir.

İşlenme gücü nedeniyle ile monofilmlerinin uygulama alanları çok kısıtlıdır. PA 12'den veya PA 12 ile PA 6 ko-ekstrüzyonu ile yapılmış filmler sosis ambalajında kullanılır. Poliamidlerin temel kullanım alanlarının başında laminatlar gelmekte olup özellikle poliolefinlerle kombinasyonları poliamidin su bariyeri ve kaynaklama özelliklerini tamamlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Oryente edilmemiş PA kombinasyonları, ek bariyer kullanımıyla, ısıyla şekillendirilebilen tepsi tipi ambalaj malzemelerinde (özellikle et ürünleri, balık ve peynir ambalajlanmasında) kullanılmaktadır.[6]

İki yönlü oryantasyon, geçirgen olmama, dayanıklılık, şekil kararlılığı ve saydamlık özelliklerini olumlu yönde etkiler. Oryente edilmiş poliamid filmler ısı ile eriyebilen tabakalı laminatlar için baz tabaka olarak kullanılır. Bu tür laminatlar vakum ve koruyucu gaz ile kahve, süt tozu, et ürünleri ve benzerlerinin ambalajlanmasında kullanılır.[6]

Mekanik özelliklerinin yüksek oluşu nedeniyle poliamidler kam, dişli ve kaymalı yatak (çelik hadde yataklarına kadar) üretiminde başarıyla kullanılmakta olup, bu parçaların ayrıca yağlanmasına da gerek kalmaz. [4]

Otomotiv sanayiinde karbüratör dahil, birçok parçanın, valfler, gaz ve buhar contaları, pervaneler, yüksek dayanımlı sahra kabloları ve çeşitli elektrik malzemeleri, mutfak aletleri, çözücülere dayanıklı kapların yapımında poliamidden yararlanır.

PA 6.10'un boyut kararlılığı, az nem alması gibi iyi özellikleri nedeniyle üretimde tercih edilerek sivil ve askeri amaçlı birçok parçalarla tekstil sanayi için lif yapımında kullanılır.

Saydam poliamid tipinden özelliğın gerektirdiği akışkan hız ölçerleri (flowmeter) üretilir. Bu ürün ayrıca elektrik ve elektronik sanayiinde de kullanılmaktadır.[4]

PA 6 yarı mamul olarak, levha, kütük şeklinde temin edilebilir. Normal tahta, metal tezgahlarda kolaylıkla işlenebilir. Tornada işlenirken yüksek devir kullanılması (minimum 150 m/dak.) ile temiz ve pürüzsüz yüzey elde etmek mümkündür. Bıçaklar keskin ve işleme uygun olmalıdır. Keskin spiral uçları kullanılarak kolaylıkla delinebilir. Uç açısı 115° ve helis açısı 10-20° olan matkap uçlarının kullanılması tavsiye edilir. Yumuşak metaller için kullanılan standart freze bıçakları PA 6 işlemek için yeterlidir. Özel kesicilerle temiz yüzeyler elde etmek mümkündür. Tüm bıçakların çok keskin olmasına özen gösterilmelidir.

Poliamid makine alanında şu parçaların üretiminde kullanılır: Makaralar ve sessiz dişli mekanizmaları; contaları; her çeşit ring contaları; amortisör donanımları; musluk ve ventil contaları; bilyalı ve iğneli ventil ve kapak yatakları; yataklar ve yatak yuvaları; kızak kovanları; kaygan satırlar; sonsuz vida çarkları; kayış kasnakları; hadde yatakları, miller, şaftlar; özellikle büyük tezgahlarda darbe blokları ve matkap zıvanaları; subap yüksükleri; hidrolik sızdırmazlık için conta ve adaptörler; gil paletleri; vibrasyon blokları; pompa elemanları; torna aynaları ve döner tablalar için yataklar ve aşınma parçaları; her türlü kaplin.

Otomotiv sektöründe : Burçlar, yataklar, kayma plakaları, makas takozları, iş makineleri döner sistem yatakları, kasnaklar, kılavuz makaraları, taşıma araçları ray kılavuzları, kramyer sistemleri ve vidalı aktarım yatakları. Gemi ve taşımacılığında; gemi pervaneleri pervane şaftları, yatakları, zincir kayma kılavuzları, yatakları, pirinç yüzeyler yerine, gemi vinci makine aksamları, lumbozlar, koç boynuzları, havalandırma kapakları.

Tekstil sektöründe : Baskı merdaneleri, ütöleme, apreleme, boyama, kusturma silindirleri kaplamaları, mastarlar, her türlü yataklama sistemleri, her türlü dişliler, kızak rayları, mekikler, iğ kolları, iğ levhaları, makaralar, makara mesnetleri, tekstil helezonları, ip gezdiriciler, votka makaraları.

Gıda sektöründe : Şişeleme ve dolum tesislerinde aktarım helezonları, yıldız dişli vericileri ve her türlü mekanik aksamları, sonsuz vidalar ve segmanlar [52].

PA 6, sert ve sağlam bir malzeme olması nedeniyle birçok sanayi dalına hizmet vermektedir. Bunlar arasında makine konstrüksiyonu, elle ve mekanik taşıma, inşaat makineleri, paketleme ve doldurma üniteleri, tekstil makinaları, gemi imalatı, otomotiv sanayii, madencilik, gıda sanayii, tıbbi cihazlar sayılabilir [53].

Bu sanayi kollarında çeşitli silindirler, ip gerici, ip olukları, kılavuz ve burçlu kaymalı yataklar, yatak segmanları, sevk yatakları, kayar bloklar ve plakalar,

aşınma şeritleri, koruma şeritleri, mil dirsekleri, konik ve alın dişli çarklar, sonsuz vida, vana yatakları, kesme ve basma plakları, seramik ve beton kalıplar ve benzer birçok eleman olarak kullanılırlar.

Elektrik endüstrisinde ise elektrik fişi, açma kapama düğmeleri, bobinler ve iletkenlerde kullanılır. Tokluk, aşınma ve ısı direnci bu alanlarda önemli bir faktördür. Ayrıca çok iyi benzin direnci nedeniyle yakıt tankı olarak kullanılabilir.

Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli grubunu oluşturur. Bu grup içinde Poliamid 6 oldukça serttir ve düşük sıcaklıklarda bile darbeye karşı mukavemet göstermektedir. İçerdiği özelliklerin uyumlu bileşimi ile PA 6 başta otomotiv ve elektrik & elektronik olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanları bulmaktadır.

PA 6 sıklıkla her alanda kullanılmaktadır. Bunun nedeni çok yönlü kullanılabilen eşsiz bir malzeme oluşudur. Örneğin tekstil alanında elbise, çorap, iç çamaşırı, mayo, eşofman, günlük giysiler, şemsiye, bavul, tente, paraşüt, çadır, uyku tulumları bunlara örnektir. Hahlar, kilimler ve ev tekstilleri yanında teknik elyaf malzemelerden olan kablolar, ipler, ağlar, oltalar, brandalar, emniyet kemeri, hava yastıkları, mekanik kauçuk malzemeleri de poliamidden yapılmaktadır [55].



#### **Şekil II. 6. Tekstil Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek**

Poliamid 6, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında birçok üstünlüklere sahiptir. Ayrıca fiyat uygunluğu bakımından da dünyada kullanılan diğer poliamid türlerinin %60'ını kapsamaktadır.

Otomotiv sektöründeki kullanım alanları ayrı olarak inceleyecek olursak: Hava emme manifoldlarında PA 6 kullanılması diğer metal malzemelerle karşılaştırıldığında aracın ağırlık ve fiyatını azaltırken, motor performansını artırmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda hava emme manifoldu havayı silindirlerden alır ve geri verir. Bu işlemin meydana geldiği kısım üreticileri zorlayan oluklu karmaşık bir yapıya sahiptir. Kullanılacak olan malzeme bundan başka iç basıncın artmasıyla

oluşan patlamaya, motor titreşimlerine, yüksek sıcaklıklara ve benzin ve yağın temasıyla oluşan artıklara karşı koyabilmesi lazımdır. Poliamid 6 bunların hepsine cevap verebilmektedir.

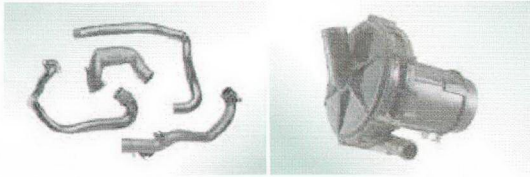
Metallerle kıyaslanırsa sentetik reçineler emme monifolundaki performans ve üretimi için üstünlükler sağlamaktadır. Motor gücünü ve yakıtın verimini artırır. (İçeri giren havanın sıcaklığı düştüğünden yoğunluğu da artacaktır.) Yapısından kaynaklanan pürüzsüzlük nedeniyle motorun beygir gücü artacaktır. Alüminyuma göre monifoldun ağırlığı %50 azalacak ve %25-50 daha ucuza mal edilecektir.



**Şekil II.7. Otomotiv Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek (Manifold)**

Poliamid 6'nın dengeleme özelliği sayesinde meydana gelen kuvvetlere (anlık ve genel) ve rijitliğe katkısı olur. Yüksek sıcaklıklarda ve yakıtı gelen aşırı dirençte PP (Polipropilen)'ye göre avantaj sağlamaktadır.

Diğer poliamid çeşitleri ile kıyaslandığında malzeme üzerinde birçok işlem uygulanabilir, kalıp stabilitesinde artış, ürün fiyatında düşüş meydana gelir. Kısa ve uzun dönem kullanımlarda ısı rezistansında, yüzey görünüşü ve pürüzsüzlüğünde olumlu etkiler sağlar.



**Şekil II. 8. Poliamid'den Üretilen Hava Kanalı ve Pompası**

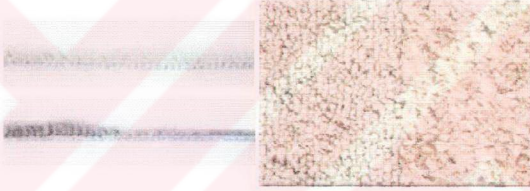
Hava kanalı ve pompalarında ve daha birçok karışık otomotiv parçasında Poliamid 6 avantaj sağlamaktadır. Örneğin hava yastıklarının içine konduğu koruyucu kısım güvenlik gereksinimleri dikkate de alındığında metallerle göre

Poliamid 6'nın kullanılmasıyla daha az ağırlığa ve masrafa imkan vermektedir. Böylece PA 6, sağlamlık sağlamakta, malzeme yorulmasının önlemekte, aşınma ve sürtünmeyi en aza indirmektedir.



Şekil II. 9. Poliamid'den Yapılan Hava Yastıklarının İçine Konduğu Koruyucu Kısım

Tekstil sektöründe de halı ve kilimlerde PA 6 kullanımı hem estetik açılarından, hem de kullanım sonucu renginde solma, kirlenme olmaması,



Şekil II. 10. Halı Ve Kilimlerde Poliamid Kullanımına Örnek

üretimi sırasında en az enerjinin harcanması ile olumlu etkiler oluşmaktadır. Ayrıca eşarplarda da PA 6 kullanılmaktadır.

Tıp sektöründe de en ilginç örneklerinden biri dişçi koltuğudur. Artık daha rahattır. Hatta hastanın oturma pozisyonunu kaydedip, sonraki ziyaretlerinde buna göre ayarlanan koltuklar bile bulunmaktadır.



Şekil II. 11. Tıp Sektöründe Poliamid Kullanımına Örnek

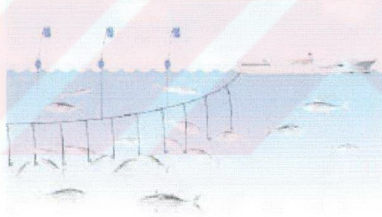
Koltuklara bir örnek de stadyumda kullanılanlardır. Değişik renk ve ebatlarda üretilmekle birlikte, holiganların zarara yol açamayacakları şekilde, yangın



**Şekil II. 12. Stadyum Koltuklarının Poliamiddan Üretimi**

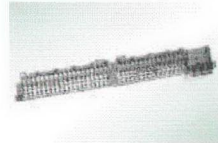
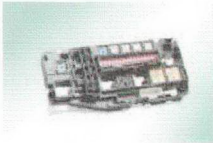
durumunda zehirli gaz oluşturmayan, kir ve toz tutmayan, ekonomik fiyatlarda olmaktadır.

Denizcilik sektöründe balıkçıların kullandığı ağlar da PA 6'dan yapılmaktadır. Bunun nedeni oltaların, gerilmelere ve denizin tuzluluğuna rağmen sağlam kalmasının sağlanması gerekliliğidir.



**Şekil II. 13. Denizcilik Sektöründe Kullanılan Ağlar**

Elektrik ve elektronik sektöründe ise yüksek sıcaklıkta bile stabilitesini bozmayacak yerlerde, bilgisayar sektöründe, chip'lerde koruyucu olarak kullanılmaktadır.



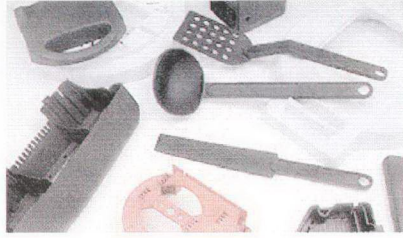
**Şekil II. 14. Bilgisayar Sektöründe ve Chip'lerde Poliamid'den Yapılan Koruyucular**

Poliamid'lerin ana özellikleri mükemmel sertlik / mukavemet uyumu, yüksek mekanik dayanıklılık, iyi elektriksel yalıtım, alev geciktiricilik, kimyasallara karşı yüksek mukavemet, yüksek aşınma mukavemeti, yüksek nem absorpsiyonu oluşudur.

PA 6 ürünleri, mükemmel termal ve mekanik özellikleri ve üstün fiyat/performans oranından dolayı birçok sektörde kendisine uygulama alanı bulmaktadır. Cam elyaf takviyeli PA 6, başta otomotiv endüstrisinde, ayna gövdeleri, jant kapakları, motor pervaneleri, dış paneller, motor kapakları, koltuk gövdeleri ve diğer bir çok yerde kullanılmaktadır. Ayrıca taşınabilir el aletleri, ofis mobilya gövdeleri, beyaz eşya ve transformatörler de geniş uygulama alanları içerisinde başlıca olanlardır. Bu ürünler elektrik ve elektronik endüstrisinde de kullanılmakta beraber, bu sektör için genellikle alev geciktiricili olanlar tercih edilmektedir. Darbeye mukavim PA 6 ürünleri, spor ve güvenlik kaskları, çeşitli kulplar, tüfek dipçikleri ofis koltukları için tercih edilecek en uygun malzemelerdir. Cam bilya takviyeli PA 6, sağlamlığın izotropi ile beraber arandığı beyaz eşya gövdesi uygulamalarında kullanılmaktadır. Mineral dolgulular, kablo bağlayıcılarında, elbise düğmelerinde ve kontak anahtar gövdelerinde kullanılmaktadır. Alev geciktiriciler, geniş olarak elektrik ve elektronik ve otomotiv endüstrisindeki, fiş, buton, konnektör, hava yönlendiriciler, şofben salyangozları, basınçlı hava kompresör gövdeleri, elektrikli ısıtıcı gövde parçaları ve diğer ev eşyalarının muhtelif parçalarında uygulama alanı bulmaktadır [53].

### **II. 6. 3. Poliamid 6.6 (PA 6.6)**

Cam elyaf dolgulu ve takviyeli, alev geciktiricili, darbeye mukavim, stabilizeli ve renkli ürün grubu içinde yer alan poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli grubunu oluşturur. Bu grup içinde poliamid 6.6 en yüksek sertliğe, aşınma dayanımına ve ısı altında deformasyon sıcaklığına sahiptir. İçerdiği özelliklerin uyumlu bileşimi ile poliamid 6.6 başta otomotiv ve elektrik ve elektronik olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanları bulmaktadır.



**Şekil II. 15. Günlük İşlerde Kullanılan Poliamid 6.6 Üretimi Gereçler**

Ana özellikleri şöyledir: Mükemmel sertlik / mukavemet uyumu, yüksek mekanik dayanıklılık, iyi elektriksel yalıtım, alev geciktiricilik, kimyasallara karşı yüksek mukavemet, üstün aşınma mukavemeti, yüksek nem alabilme, haslıkların yüksek ısılarda da korunabilmesi, işleme kolaylığı, mükemmel fiyat/performans oranıdır [53].

Poliamid 6.6 ürünleri, mükemmel termal ve mekanik özellikleri ve üstün fiyat/performans oranından dolayı birçok sektörde kendisine uygulama alanı bulmaktadır. Cam elyaf takviyeli PA 6.6, başta otomotiv endüstrisinde, kapı kolları, koltuk parçaları, radyatör ısıtıcı gövdeleri, motor pervaneleri, vites kolu parçaları ve diğer gövdelerde kullanılmaktadır. Ayrıca fermuar, taşınabilir el aletleri de geniş uygulama alanları içerisinde başlıca olanlardır. Bu ürünler elektrik & elektronik endüstrisinde de kullanılmakta beraber, genellikle alev geciktiricili olanlar tercih edilmektedir.

Darbeye mukavim ürünler, taşıyıcı araba tekerlekleri, kablo bağlayıcı ve konnektör bağlama vidaları için tercih edilecek en uygun malzemelerdir. Cam bilya takviyeli PA 6.6, sertliğin izotropi ile beraber arandığı otomotiv distribütör kapakları, fan motoru gövde ve rulman bilezikleri, bazı beyaz ev eşyası uygulamalarında kullanılmaktadır. Mineral dolgulu PA 6.6, kontak anahtar gövdelerinde, izolasyon parçalarında ve yan sinyal duyarlarında kullanılmaktadır. Alev geciktiricili PA 6.6, geniş olarak elektrik ve elektronik ve otomotiv endüstrisinde, fiş, priz, buton, konnektör, devre kesiciler, rolerler, sigorta kutuları, yüksek voltaj kablo tutucuları ve diğer ev eşyalarının muhtelif parçalarında uygulama alanı bulmaktadır.

## II. 6. 4. Poliamid 66,6 (PA 66,6)

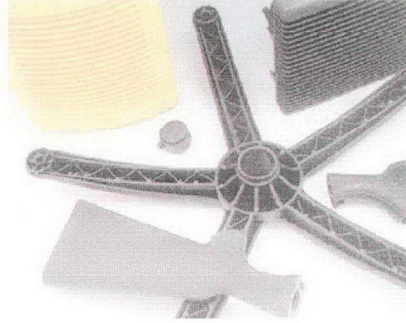
Naylon kopolimer mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. PA6 ve PA66 birleşiminden meydana gelmiştir. PA6 gibi iyi mukavemet etkisine, PA66 gibi yüksek katılık özelliklerine sahiptir. Bu nedenle CNC ve otomatik aletlerle işlenmeye uygundur. UV stabilizasyonu hafif mukavemete ve dışarıda yapılan kullanım alanlarına uygundur.

Çevresel taleplere de dayanım mukavemeti iyidir. Kuvvetli yüksek gerilim ve sıkıştırma kuvvetine sahiptir. Kendinden yağlanma özelliği vardır. Sürtünme katsayısı düşüktür. Kaydırma gerektiren ortamda yağlamaya gerek yoktur. UV dayanımı, düşük sıcaklıklarda ve atmosferik koşullarda dışarıda yapılan uygulamalara uygundur. Siyah renklidir. PA6' ya göre daha yüksek katılık isteyen durumlarda, PA66'ya göre daha şok mukavemetli ortamlarda, dişli, boru yatak yapımında kullanılır. Kılavuz, makara, ve mil yatağı yapımında tercih edilir. Gıda ile temasa uygun değildir. Alkali, inorganik komponentlere ve solventlere karşı mukavemetlidir. Nem ile değişkenlik gösteren elektriksel özelliklerde kullanılabilir.

## II. 6. 5. Döküm Poliamid 6

Döküm naylon adı ile de tanımlanır. Mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı her türlü sanayide çok kullanılan bir mühendislik plastiğidir. Darbe ve yorulma dayanımı iyi, aşınma mukavemeti yüksektir. Isı dayanımı iyi, sürtünme katsayısı düşüktür. Muhtelif makine parçaları ve plastik dişli ve yatak yapımında kullanılır [51]

Döküm poliamid 6 kimyasal yönden bir naylon türü olmakla beraber belli ölçüde çapraz bağlı (crosslinked) moleküler yapısı nedeni ile daha üstün bazı özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler üstün mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastikleridir. Çok yüksek molekül ağırlığı, yüksek kristal yapı çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı ve PA 6' ya göre daha az su emen sağlam bir plastiktir. Bilinen yüksek mekanik ve fiziksel özelliklerini daha da arttırmak amacı ile cam elyafı veya özel katkılı tipleri imal edilmektedir.



**Şekil II. 16. Döküm Poliamid 6 Kullanılan Sandalye Ayakları, Kasalar, Temizlik Gereçleri**

Doğal olarak krem rengindedir. Üretici firmalar tarafından siyah veya değişik renklerde de üretilmesi mümkündür. Üniversal metal ve ağaç işleme tezgahlarında kolaylıkla işlenebilir. Kimyasal maddelere dayanımı çok iyidir. Solventlerden, yağlardan, hidrokarbon, ester ve ketonlardan etkilenmez; pH 5-11 aralığında asit ve alkalilere dayanıklıdır.

Genel kullanım alanları :yataklar, dişliler, teleferik makaraları, kasnaklar, rulolar, gıda ve kimya sanayi parçaları, kılavuz makaraları, kızaklar, aşınma plakaları ve tekerleklerdir.

Üretici firmalar tarafından üretiminde ölçü ve miktar sınırı yoktur. Özel imalat tekniği ile çok büyük boyutlarda ve istenilen şekillerdeki parçaların ekonomik olarak üretilmesi mümkündür. Kullanım alanları poliamid üretimine özgü teknik ve metallerin mekanik dayanımlarından yararlanarak göbeği çelik burçlu dişli, makara, karıştırıcı pervanesi yapmak veya çelik milli naylon silindir üretmek mümkündür. Bu ve benzeri çelik takviyeli döküm poliamid 6 makine aksamı, kağıt, tekstil, kimya, matbaa ve gıda sanayinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

Hafif oluşu, korozyona, darbeye, aşınmaya dayanıklılığı, yağsız ve sessiz çalışabilmesi nedenleri ile döner ve kayar hareketli makine parçalarının ve ekipmanların yapılmasında demir, çelik, alüminyum, bronz ve birçok plastiğin yerini almıştır. Üretim tekniği her ölçü ve miktardaki yatak, dişli, aşınma plakası ve makara gibi mamullerin üretimini sağlaması bakımından son derece ekonomiktir.

Döküm poliamid 6 yüksek elastiklik modülü, iyi aşınma dayanımı, iyi kimyasal dayanım, iyi hava direnci, yüksek erime sıcaklığı gibi özellikleri nedeni ile

çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Mekanik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra üretim tekniği de döküm poliamidin tercih edilme nedeni olarak düşünülebilir. Döküm metodu ile üretilen döküm PA 6 parçaların mekanik mukavemetleri, enjeksiyon ve ekstrüzyon ile üretilen diğer poliamid parçalara göre çok daha üstündür [2].

Yarı mamul parçaların şekli stoklanacak haldedir. PA 6 ve kopolimerleri standart kesme takımlarıyla planyalama, tornalama, frezeleme, delik delme gibi talaşlı imalat yöntemleri ile işlenebilirler. İşleme sırasında yumuşama ve yüzey pürüzlülüğünün neden olabileceği aşırı ısı yükselmesini engellemek için yağlama yapılmalıdır.

Hafiflik, iyi abrazyon direnci, kavitasyon dayanımı, ses ve titreşim sönümlemesi daha önce belirtilen pek çok nedenle de döküm PA 6 transportta ve endüstri uygulamalarında geniş ölçüde kullanılmaktadır.

Teknelerin itki pervanelerinin kanatlarında, dümenlerinde kullanılmaktadır. Konteyner, mobil vinçlerde kasnak olarak kullanılmaktadır. Döküm PA 6 kasnaklar ölü ağırlığı azaltır, vincin kararlılığını artırır ve daha büyük yüklerin kaldırılmasına olanak sağlar. Kasnakların çapları 250 mm ile 1250 mm arasındadır. Sürünme olayı bu kasnaklar tasarlanırken dikkate alınmalıdır. Ayrıca boru bağlantılarında sızdırmazlık elemanı olarak da kullanılır.

## **II. 6. 6. Poliamid 4/6 (PA 4/6)**

Son yıllarda yüksek ısı ve kimyasal dayanımlı termoplastiklere duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyaç poliamid 4/6'nın geliştirilmesine neden olmuştur. PA 4/6'nın erime sıcaklığı 295°C'dir. PA 4/6'nın kristalinite derecesinin yüksekliği ve yüksek sıcaklık dayanımı geniş bir sıcaklık aralığında sertliğini korumasına neden olur. Aynı zamanda iyi bir sürünme dayanımına, diğer poliamidler gibi çok iyi abrazyon direncine ve düşük sürünme katsayısına da sahiptir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda diğer polimerlerden daha iyi performans göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle dişli çarklar, yatak kafesleri gibi yerlerde kullanılır. Çalışma sıcaklığının 100°C üzerinde olması istenen yerlerde kullanılır.

Otomotiv sektöründe transmisyonlarda, kavramalarda, emisyon kontrol ünitelerinde, kablo yuvalarında, hidrolik kontrol ünitelerinde, dişli kutularında, conta ve diğer otomatik ve manuel iletim elemanlarında kullanılır.

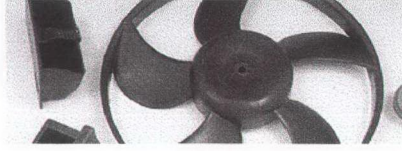


**Şekil II. 17. Poliamid 4/6'nın Kullanıldığı Devre Anahtarları, Bağlantılar**

Elektrik/elektronik endüstrisinde motorlarda ve devre anahtarlarında kullanılırlar. Aşırı yüklenme ve kısa devre gibi durumlarda devre anahtarlarındaki sıcaklık 150°C ye çıkmakta ve hatta ani sıcaklık yükselmeleri 300°C kadar olabilmektedir. Yüksek sıcaklık aynı zamanda iletkenler ve rölelerde de oluşabilir. Bu nedenle bobinlerde, ısı kalkanlarında ve buna benzer diğer aygıtlarda kullanılır. Oda sıcaklığındaki darbe dayanımı ve yüksek sıcaklıklardaki sürünme dayanımı bobinler için yaygın bir gerekliliktir. Elektrik motorlarındaki sıcaklık normalde yüksek değildir, fakat yüksek bir ısınma rotorun bloke olduğu durumlarda meydana gelebilir. Isıl dayanımlı PA 4/6 fırça tutucuları, dişli çarklar gibi motor parçalarında kullanılırlar.

## **II. 6. 7. Poliamid 6 GF30**

Poliamide 6, %30 cam fiber ve grafit ile güçlendirilmiştir. Bu alaşımlama ile PA 6' nın mekanik özellikleri çok büyük ölçüde artar. Yük altında çalışacak dişli ve diğer parçalar için en ideal malzemedir. Cam takviye sayesinde aşınma, aşınma, sıkıştırma ve esneklik mukavemeti artmıştır. Cam elyafa yaygın olarak kullanılan dolgu maddesidir. Karbon veya grafit elyaf kullanımı oldukça pahalıdır. Ayrıca bu durumda darbe dayanımında kötüşmeler gözlemlenmektedir. Mekanik anlamda aşınma dayanımı mükemmel oranda artar, düşük sıcaklıklarda iyi bir mukavemeti vardır. Eğer hareketli parçalar için kullanım söz konusu ise cam fiber metal parçalarla bağlantılı plastiklerde aşınmaya sebep olur.



**Şekil II. 18. Poliamid 6 GF30'un Hareketli Parçalarda Kullanımına Örnek**

Gıdaya temasa uygun değildir. Her çeşit hava koşullarına uygun olduğu gibi elektrik sektöründe de iyi mekanik özelliklerinden dolayı tercih edilebilir. Alkali, inorganik komponentlere ve solventlere(çözücülere) karşı mukavemetlidir [50].

## **II. 6. 8. Poliamid 6G.HR**

Döküm naylon 6 natural PA6G'den daha iyi özelliklere sahip olması için grafit ve özel yağlayıcılar katılarak üretilir. P6G' ye nazaran daha iyi şok mukavemete ve kendisinden yağlama özelliğine sahiptir. Ayrıca kolay işlenebilir ve UV ışınlarına karşı mukavemeti PA6' ya göre daha iyidir [50].

Özellikleri olarak aşınma mukavemeti PA6 naturele göre daha iyidir. Gerilme mukavemeti sıkıştırma gücü PA6G ile aynı şok mukavemeti daha yüksek olduğu zaman yoğunluk mukavemeti daha yüksektir. Kendinden yağlanma; sürtünme katsayısı çok düşüktür. Hava şartlarına dayanıklı ve düşük sıcaklıkta iyi mukavemete sahiptir. Siyah renklidir.

Dezavantajları olarak doğal PA6G'den daha düşük büyüklükte olsa bile havadan rutubet çeker. Bu moleküler yapısı ile ilgilidir. Büyük yapılı döküm parçalara küçük parçalardan daha iyi kaliteye sahiptir.

Kullanım alanları kendinden yağlanabilme özelliğine sahiptir, yüksek şok mukavemeti ve sıkıştırma gücü,her ikisi ile birlikte büyük ölçülü parçaların üretimi mümkündür.Büyük çaplı mil yatağı üretiminde sıklıkla kullanılır;sürtünme önleyici kılavuzlar,makara ve kasnak yapımında tercih edilir.

Çok iyi aşınma mukavemetine sahip olduğu için sürtünme önleyici kaydırma profili, mil yatağı kılavuzu gibi malzemelerde kullanılır. Bina parçaları için konstrüksiyon, yapı makineleri (kazma makinesi), gemi yapımı endüstrilerinde hava mukavemeti etkisi nedeniyle makaralı yatak gibi malzemelerin yapımında kullanılır. Kablo ile işleyen vagonlarda makara, kasnak, tekerlek ve kaydırıcı blok yapımında

kullanılır. Gıda ile temasa uygun değildir. Neme rutubete olan ilgisi dolayısıyla değişkenlik gösterdiğinden elektrik sektöründe tercih edilir. Alkali inorganik komponentler, çözücülere olan mukavemeti dolayısıyla kimya endüstrisinde de kullanılır.

## II. 6. 9. Poliamid 6G.LF

Mavi renklidir. Katı yağlandırıcı katsayısıyla kendiliğinden yağlanma özelliğine sahiptir. Sürtünme katsayısı düşük, kendinden yağlanabilir. Aşınma mukavemeti PA6'dan daha iyidir. Gerilme kuvveti ve sıkıştırma gücü incelendiğinde şok mukavemeti yüksektir. Havadan etkilenmez, düşük sıcaklıkta daha iyi mukavemeti vardır [50].

Zayıf noktaları natural PA6 G'den daha az büyük oluşu, malzemenin rutubet çekmesidir. Bunu sebebi; malzemenin moleküler yapısıdır. Küçük ölçülere nazaran büyük ölçülü döküm parçalar daha iyi kaliteye sahiptir.

Kullanım alanları olarak mekanik olarak bir çeşit MC Nylon olan malzeme kendinden yağlanma özelliğe sahip olduğundan dolayı, düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı büyük ebat parçalarda kullanılır. Büyük çaplı dişli takımı, makara, sürtünme klavuzları tekerlek yapımında kullanım oranı yüksektir. Mükemmel aşınma dayanımı konstrüksiyon makineleri için bina parçaları yapımında kullanılır. Hafriyat işlerinde, jeolojik çalışmalarda dişli tekerleği, mil yatağı kılavuzu, kaydırma mil yatağı yapımında da tercih edilir. Hava değişimine olan mukavemetinden dolayı gemi inşaatında, kablo ile işleyen vagon sisteminde de kasnak tekerlek ve kaydırıcı blok yapımında kullanılır. Gıda ile temasa uygun değildir. Elektrik alanında da kullanılır. Ancak nem oranının değişiklik gösterdiği yerlerde elektriksel özellikler de değişeceğinden kaçınılmalıdır. Kimyasal olarak alkali, inorganik komponentler ve solventlere karşı mukavemetli olduğu için tercih edilir.

## II. 6. 10. Poliamid 6 G Yağ

% 6 özel yağlanma ile işler hale konulan döküm naylon 6, bu katkı sayesinde özel çözümlerde kullanılır. Homojen dağılımı ile mikro dağıtımı yağ parçacıklarının tek metotlu ürün çözümleri içindedir. Şok mukavemetteki gibi

## II. 6. 11. Poliamid I (PA I)

Kristalize polimerdir. 2600 C ve üstü termal sıcaklıklarda üstün mekanik özellikler gösterir. Yük altında sürtünme ve aşınma mukavemeti gösterir. Sürtünme katsayısı da düşüktür.

Ölçü stabilizasyonu, yüksek sıcaklığa direnci vardır. Elastiklik modülü yüksektir, aşınma dayanımı iyidir. Düşük sürtünme katsayısı, tutunma mukavemeti (V.O.) vardır [50].

Makineye uygulaması zor ve pahalı bir malzemedir. Yüksek sıcaklıkta dahi ölçü stabilizasyonunu korur. Sıcaklık mukavemeti iyidir. PAI, komponentleri kendinden yağlanma ve yüksek aşınma mukavemetine sahiptir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda ürünün parçaları yüksek performans gösterir. Yatak milleri, dişli takımı mil dirseği yapımında kullanılır. İzolasyon olarak kullanıma uygundur. Çok yüksek kimyasal mukavemeti vardır. Gıda ile temasa uygun değildir.

## II. 6. 12. Amorf Polamid (PA)

Bu grup henüz gelişmekte olan yeni bir grup olup PA 6'nın bütün avantajlarına sahiptir. Buna ek olarak, saydamlığı ve yüksek nem seviyelerinde şekil kararlılığı iyi olan ürünlerden oluşmaktadır. Enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon, şişirme ile kalıplama ve (belirgin bir erime noktası olmaması nedeniyle) ısı ile şekil vererek işlemeye uygundurlar. Kısmen kristal yapıda olan PA'dan yapılan malzemeye göre gaz, su buharı ve aroma bariyer özellikleri arttırılmış, nemli koşullarda gaz geçirgenliği düşürülmüştür. Yüksek boyutsal kararlılık nedeniyle amorf poliamiddenden elde edilen malzemeler ısı ile sterilizasyona ve sıcak dolum yapımına uygundur. Yeni gelişmeler film veya tek (veya çok) katmanlı kapların yapımına yöneliktir. [6]

## II. 6. 13. PPO m.- Polyfenilnoksid –Norly

Norly bir polypheylen oksid bazlı bir reçinedir. Stiren ile modifiye edilmiştir. Elektrik endüstrisinde kullanılan en önemli malzemelerden biridir. Yüksek frekansta bile iyi elektriksel özelliklere sahiptir. Ölçü stabilizasyonu, düşük nem absorpsiyonu, mükemmel stabilizasyona ve gamma ışın mukavemetine sahiptir [50].

Gri renklidir. Mekaniksel özellikleri zayıftır. Elektriksel olarak yüksek ve etkin özelliklere sahip olduğu için elektrik alanında kullanılır. Yüksek frekans izolasyonu için uygundur. Elektronik endüstrisi için komponentleri kullanılır. Gıda ile temasa uygun değildir. Kimyasal olarak zayıf olduğu için kimyasal kullanım alanı yoktur.

# BÖLÜM III

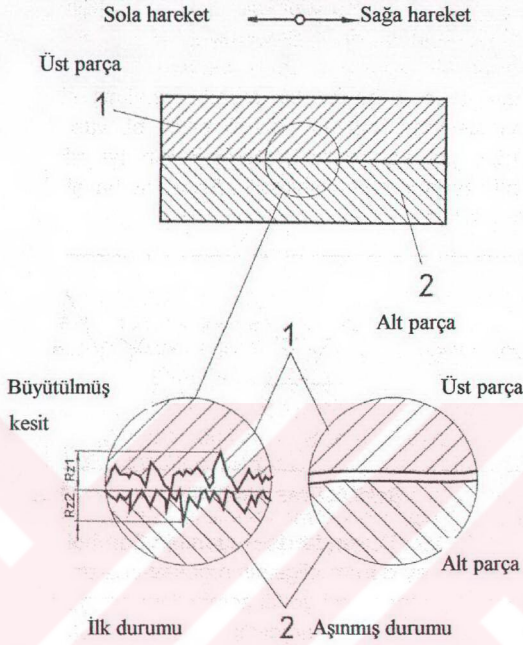
## İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİ

### III. 1 . YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

#### III. 1. 1. Yüzey Pürüzlülüğünün Tanımı

Makine imalâtında dövme, dökme, talaş kaldırma vb. şekillendirme metotları kullanılmaktadır. Parçaları meydana getiren Şekil III.1'deki çeşitli özelliklerdeki yüzeyler, bu metotların kullanılmasıyla değişik özelliklerde oluşur. Parçaların birçok yüzeyi birlikte çalışır. Birbiri üzerinde çalışan yüzeyler zamanla aşınır ve parça bozular. Bu nedenle parça yüzeyleri, kullanılacağı yer dikkate alınarak şekillendirilir. Özellikle birbiri üzerinde çalışan (eşli yüzeyler) yüzeylerin düzgünlük ve pürüzlülük bakımından değerlendirilmesi şarttır ve önemlidir.

Şekil III.1'de parçalı yüzeylerinin birbiri üzerinde çalışması ve meydana gelen durumlar görülmektedir. Tablo II. 18'de çeşitli yüzey şekilleri ve pürüzlülük durumları verilmiştir [28].

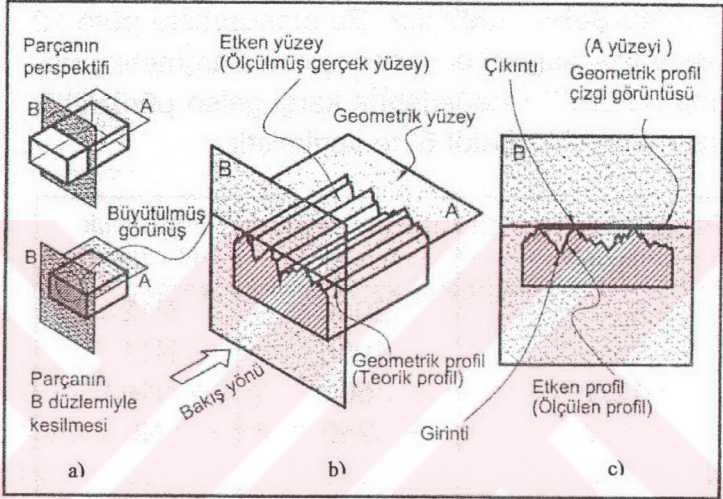


Şekil III.1. Yüzeylerin Birbirine Göre Durumu

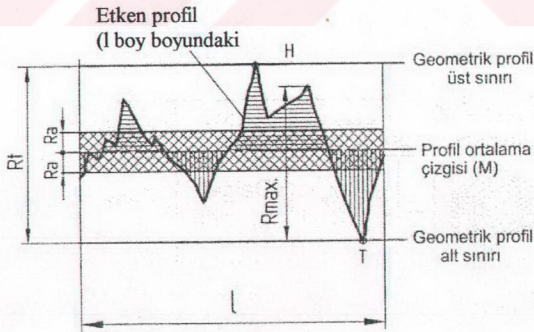
Tablo III. 1. Çeşitli Yüzey Şekilleri ve Pürüzlülük Durumları

Perspektif Görünüş	Kesit Görünüş	Yüzey Adı	Düzensiz	Pürüzlü
		Dalgali pürüzlü	Fena	Fena
		Düz pürüzlü	İyi	Fena
		Dalgali pürüzsüz	Fena	İyi
		Düz pürüzsüz	İyi	İyi

Bir parçanın yüzey özellikleri, parçanın ilgili bir yüzeyinin dik kesitinin büyütülerek çizilmiş resmi üzerinde Şekil III.2'deki gibi incelenir. Bu konuda TS971 ve ISO1302 numaralı standartlar esas alınarak M metoduna göre yüzeylerin pürüzlülüğü (girinti ve çıkıntılar) incelenir. Parça yüzeyindeki gerçek profilin büyütülerek meydana getirilen şekli ve genel terimler Tablo III.1' de görülmektedir.



Şekil III.2. Parça Yüzeyinin İncelenmesi



Şekil III.3. Yüzey Birim Profili

$R_t$	: Pürüzlülük yüksekliği [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$	: Aritmetik ortalama pürüzlülük değeri [ $\mu\text{m}$ ]
$R_{max}$	: En büyük pürüz derinliği [ $\mu\text{m}$ ]	$l$	: Örnek uzunluk [ $\text{mm}$ ]
$R_z$	: Ortalama pürüz yüksekliği (1 boyundaki beş bölgenin ortalaması) [ $\mu\text{m}$ ]		

### III. 1. 2. Yüzey Kaliteleri

Bir parçayı meydana getiren yüzeylerin tamamı aynı özelliklerde olmayabilir. Maliyetin artmaması için yüzeyler, gerektiği kadar düzgün ve pürüzsüz olmalıdır. Uygulamalarda farklılıkları önlemek üzere yüzey kaliteleri standart hâle getirilmiştir. Dünyada ISO ve Türkiye' de TSE bununla ilgili olarak çeşitli standartlar geliştirmiştir. Şu anda geçerli olan standartlar ISO 1302/1992 ve TS 2040/Şubat 1999'dur. Bu standartlara göre 12 çeşit yüzey kalitesi belirlenmiştir. Ra aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerine karşı gelen pürüzlülük sınıf numaraları TabloIII.2'de verilmiştir [28].

Tablo III. 2. Yüzey Kaliteleri [28]

Ra pürüzlülük değeri [µm]	[µm] (mikro inç)	Pürüzlülük sınıf numarası
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1

## **III . 2. TİTREŞİM**

### **III. 2. 1. Titreşimin Tanımı**

Titreşim hareketi referans bir konum, örneğin denge konumu, etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Titreşimlerle günlük yaşantımızda, evimizde, ulaşım sırasında ve işyerimizde çok sık karşı karşıya geliyoruz. Titreşimler genellikle yararlı bir proses gerçekleşirken ortaya çıkan yıkıcı ve zararlı bir yan etkidir. Fakat zaman zaman belirli bir görevi yerine getirmek için de titreşimlerden yararlandığımızı görüyoruz.

### **III. 2. 2. Makinelerin Titreşimleri**

Titreşimler, hareketli parçalara sahip makinelerin ve bu makinelere bağlı yapıların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu ortaya çıkar. Makine belirli bir işi görmek amacı ile yapılmıştır. Makinenin tasarlandığı işi görmek için harcamaya enerji bir kısmını gövdesini ve bağlı olduğu yapıyı titretmek için harcaması istenen bir şey değildir. Makinenin farklı parçaları farklı frekanslarda ve genliklerde titreşim yapar. Titreşimler, aşınma ve metal yorulması gibi istenmeyen sonuçlar yaratır. Çoğunlukla makinelerin kırılma ve bozulmasının sorumlusu titreşimlerdir.

### **III. 2. 3. Titreşimlerin Yararları-İyi Titreşimler**

Titreşim hareketi her zaman da kötü değildir. Bazen belli bir amaç için titreşim üretmek gerekebilir, örneğin; seri imalatta parça besleme ve taşımada, beton dökümünde betonun kalıp içinde en uç noktalara ulaştırılmasında, yol silindirlerinde yararlı şekilde kullanılırlar. Titreşim deney makineleri makine ve elektronik imalatında üretilen parçaların dayanıklılık ve fonksiyon testlerinde deney parçalarını önceden standartlarca belirlenmiş titreşimlere maruz bırakırlar

### **III. 2. 4. Titreşimlerin "İlkel" Ölçüm Yöntemleri**

Ölçüm cihazlarının olmadığı devirlerde teknisyenler titreşimleri makinelere dokunarak, sert bir çubuğu makine üzerinde titreşim yapan noktaya dayayıp titreşim sinyalini başa taşıyarak veya bir doktor stetoskopunu kullanarak ölçerlerdi. Ancak bu

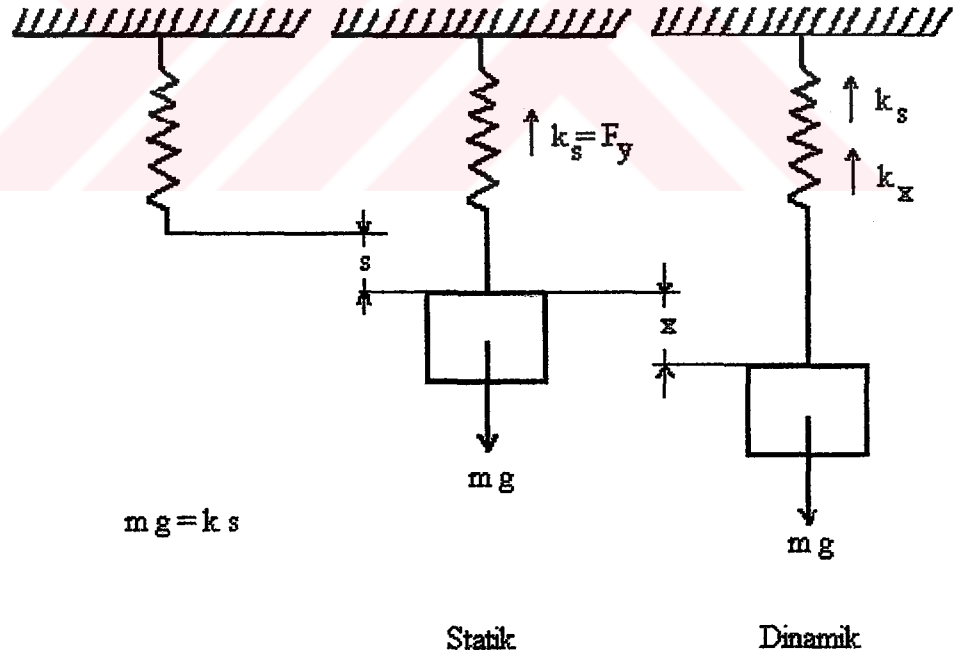
durumda hissedilen titreşim sinyalleri şiddetini, mukayese edecek hiçbir sayısal büyüklük olmadan sadece tecrübe ile değerlendiriliyordu.

### III. 2. 5. Mekanik Parametreler

Bütün mekanik sistemlerde üç temel eleman yer alır, bunlar yay, sönüm ve kütle elemanıdır. Bu elemanlara sırasıyla sabit bir kuvvet uygulanırsa, bu durumda yay elemanında sabit bir uzama, sönüm elemanında sabit bir hız ve kütle elemanında ise sabit bir ivme ortaya çıkar.

### III. 2. 6. Kütle ve Yay Elemanı

Kütle ve yaydan oluşan basit sistem bir kez harekete geçirildi mi teorik olarak bu hareket, sabit bir frekansta ve genlikte, sonsuza kadar devam eder. Sistem bu durumda sinüs eğrisi şeklinde bir dalga hareketi yapar. Bu harekete "basit harmonik hareket" denir.



(III.1)

Şekil III. 4. Serbest ve Zorlanmış Titreşimli Yay Kütle Sistemi

Kütle-yay sisteminin salınımları ile ortaya çıkan basit harmonik hareket, genliği (D) ve periyodu (T) ile tanımlanır. Frekans ise hareketin bir saniyede kendini kaç kez tekrarladığını gösterir ve periyodun tersine eşittir. Frekansı  $2\pi$  ile çarptığımızda dairesel frekans  $\omega$  elde edilir. Dairesel frekans, yay katsayısının, kütleyle bölünmesi ile bulunan oranın kare köküne eşittir. Kütle yay sisteminin titreşim frekansına tabii frekans  $f_n$  diyoruz, hareketi temsil eden sinüs dalgası  $d = D \sin \omega t$  denklemleri ile tanımlanabilir. Burada "d" t anındaki titreşim deplasmanını ve "D" de deplasmanın tepe değerini verir

Titreşim analizini en iyi tarif eden sistem, Şekil III.4'de görüldüğü gibi yay-kütle sistemidir. Yay kuvveti, deformasyonla doğru orantılıdır [14, 15, 16].

$$F = k \cdot x \quad (III.2)$$

Burada;

F = yay kuvveti [N]

x = deformasyon [m]

k = yay katsayısı [N/m<sup>2</sup>]

olmaktadır.

Newton'un II.kanununa göre;

$$\Sigma F = m \cdot a \quad ; \quad \Sigma F = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = m \cdot g - k \delta_{st} - k \delta_x \quad (III.3)$$

Burada statik haldeki denge şartı olan

$mg - k \delta_{st} = 0$  eşitliğinde  $mg = k \delta_{st}$  (III.3) denkleminde yerine yazılırsa:

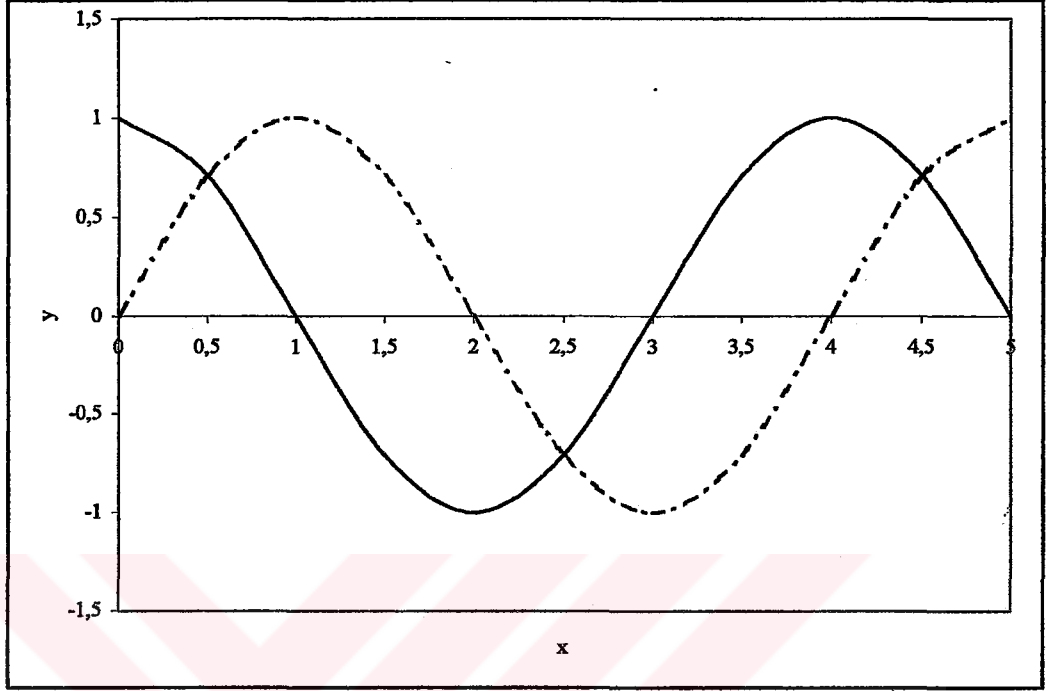
$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + k \delta_x = 0 \text{ bulunur.}$$

Eğer açısal frekans (pulsasyon)

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  şeklinde tanımlanır ve k yerine bu büyüklük kullanılırsa;

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (\text{III.4})$$

Bu 2. mertebeden homojen basit diferansiyel bir denklemdir. Bunun genel çözümü



Şekil III. 5. Harmonik hareket

$$x = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \quad (\text{III.5})$$

dir. Kütle'nin başlangıç konumuna göre yer değiştirmesini veren bu ifade için başlangıç şartlarına göre  $C_1$  ve  $C_2$  belirlenebilir. Basit bir hal olarak;

$$x = C \cos \omega t \quad (\text{III.6})$$

kullanılabilir. Burada

$C$ : genlik,  $x$ : yer değiştirme ve

$$T = 2\pi / \omega \text{ ise hareketin periyodudur.} \quad (\text{II.7})$$

Genliği  $C$ , periyodu  $T$  olan basit harmonik hareketle;

$$x = C \sin(\omega t + \Phi) \text{ yazılabilir.} \quad (\text{II.8})$$

Burada;

$\Phi$  : faz açısı başlangıcı

$(\omega t + \Phi)$  : faz açısı

$$x = C.e^{-bt} \sin(\omega t + \Phi) \text{ eşitliği ise sönümlü titreşimi vermektedir.} \quad (\text{III.9})$$

### III. 2. 7. Fourier Analizi

Titreşim analizinin matematiksel ifadesi, sinyal analizinin çeşitlerine bağlı olarak Fourier dönüşümüdür. Çeşitli genliklerde titreşim üreten komponentlerin frekansı sayılardan oluşmaktadır [16, 17,18]. Matematiksel eşitlik şöyle yazılabilir.

$$A \cos \theta = \frac{A}{2}(e^{j\theta} + e^{-j\theta}) \quad (\text{III.10})$$

Burada  $\theta = (2Hft + \phi)$   $\phi$  : faz başlangıcıdır. (III.11)

Periyodik titreşim fonksiyonunun Fourier serisine açılmasından Fourier analizi oluşturulur. Eğer  $g(t)$  periyodik bir fonksiyon ise;

$$g(t) = g(t + nT) \quad (\text{III.12})$$

Burada  $T$  : Periyot  $n$  : tam sayı

$$G(f_k) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) e^{-j2\pi f_k t} dt$$

(2.59)

Burada  $f_k = kf_1$  ( $f_1$  'in k.ıncı harmoniği)

Toplam vektör ise

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} G(f_k) e^{j2\pi f_k t} \quad (\text{III.13})$$

olmaktadır.

Zaman sinyalinin iç gücü;

$$P_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T \{g(t)\} dt \quad (\text{III.14})$$

Sinusoidal bir komponent için

$$P_{ort.} = \frac{1}{T} \int_0^T A_k^2 \cos^2(2\pi f_k t + \phi_k) dt \quad (III.15)$$

$$= \frac{A_k^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2((2\pi f_k t + \phi_k)) dt \quad (III.16)$$

$$\frac{A_k^2}{2} \quad (III.17)$$

### Fourier Dönüşümü

Periyodik sinyal, en genel hal için  $T \rightarrow \infty$  olduğunda,  $\frac{1}{T}$  ve harmonikleri sıfır olacaktır. Böylece  $G(f)$  ise devamlı bir fonksiyon olur.

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (\text{forward dönüşümü}) \text{ ve} \quad (III.18)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} G(f) e^{j2\pi f t} df \quad (\text{inverse dönüşüm}) \text{ olur.} \quad (III.19)$$

Her ikisi birlikte Fourier dönüşüm çiftini oluşturur. İkiside simetriktir. Aralarındaki fark, e'nin üslerindeki işaret farklılığıdır.

Fourier dönüşümünün çeşitli şekilleri vardır. Transform çiftleri zaman serisine açılırsa sampled zaman fonksiyonu adını alır.

$$G(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t_n) e^{-j2\pi f t_n}$$

$$g(t_n) = \frac{1}{f_s} \int_{f/2}^{f/2} G(f) e^{-j2\pi f t_n} df \quad (III.20)$$

$$t_n : n.At$$

### Discrete Fourier Dönüşümü

$$G(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g(n) e^{-j \frac{2\pi k n}{N}} \text{ forward dönüşümü ve} \quad (\text{III.21})$$

$$g(n) = \sum_{k=0}^{N-1} G(k) e^{j \frac{2\pi k n}{N}} \text{ inverse dönüşümü olmaktadır.} \quad (\text{III.22})$$

### Fast Fourier Dönüşümü

FFT Discrete Fourier dönüşümünden elde edilen bir hesaplama prosedürüdür. Hesaplamayı kolaylaştırmaktadır. Titreşim her yerde ve her sistemde bulunur.

Titreşim, denge pozisyonundaki cismin yaptığı periyodik bir sapma hareketidir. Bir dış kuvvetin etkisiyle, katı ve ataleti olan her cisim titreşir.

Titreşim, iki cismin birbirleri ile temas yüzeylerindeki sürtünmeden veya yatak ve dişlilerde olduğu gibi temas noktalarındaki sürtünmeden oluşur. Montaj hataları, simetriklerdeki bozukluklar ve dişli hataları gibi sebeplerle titreşim oluşabilir. Sistemin tabii frekansı ile zorlayıcı frekans değerinin birbirlerine eşit olduğu durumlarda rezonans oluşur.

Titreşim seviyesi limitler içerisinde değilse, motorda aşınma ve yıpranmalar hızlanır ve böylece pek çok hata mekanizmalarını tetikler. Titreşimin izlenme mantığı, dizayn ve bakım personeline faydalı bilgiler sunmak, işletme güvenilirliğini arttırmak, erken hata oluşumunu önlemek, işletme personeline koruyucu bakım önlemlerini alacak fırsatı vermek, sistem ömür/cycle'ını arttırmak ve global pazardaki rekabet ortamında avantajlar sağlamaktır.

#### III. 2. 7. 1. Kütleinin Arttırılması

Titreşim sisteminin kütleinin arttırılması periyodun süresinin artmasına böylece titreşimlerin frekansının azalmasına yol açar.

#### III. 2. 7. 2. Kütle, Yay ve Sönüm Elemanı

Sisteme sönüm elemanın eklenmesi titreşim genliklerinin zaman arttıkça azalmasına yol açar. Titreşimlerin frekansına artık "sönümlü titreşimlerin tabii

frekansı” denir. Bu değer sabit bir büyüklüktür ve sönümsüz sistemin tabii frekansına hemen hemen eşittir. Sönüm miktarındaki artışla birlikte sönümlü sistemin frekansı da bir miktar azalır.

### III. 2. 8. Titreşim Çeşitleri

Literatürde titreşim çok çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

#### III. 2. 8. 1. Serbest ve Zorlanmış Titreşim

Bir titreşim sistemine kuvvet etki ettirilip bırakıldığında, zorlayıcı etkinin ortadan kalkmasından sonra yaptığı titreşime serbest titreşim, zorlayıcı kuvvetin etkisinin devam ettirildiği titreşim şekline ise zorlanmış titreşim denir.

Harmonik bir dış kuvvetin etkimesi durumunda sistem, kuvvetin hareketini izleyecek, diğer bir deyişle, dış kuvvetle aynı frekansla hareket edecektir. Ancak kuvvetle hareketin arasında genlik ve faz açısından sonraki diyagramdan görüleceği gibi bir farklılık olacaktır.

Tabii frekansının altındaki tahrik frekanslarında titreşim sisteminin genlikleri frekans arttıkça artacak ve tabii frekansta maksimum değere ulaşılacaktır. Sistemde hiç sönüm olmaması halinde ( $c=0$ ) genliklerimiz teorik olarak sonsuza yaklaşacaktır.

Dış tahrik kuvvetinin frekansının artırılması durumunda kütle-yay-sönüm elemanından oluşan sistemin hareketine ait frekansta da artış olacaktır, ancak genlikler giderek azalacak faz açısı da değişecektir.

### III. 2. 8. 2. Sönümlü ve Sönümsüz Titreşim

Sürtünme gibi enerji kayıplarının olmadığı düşünülduğünde, sistem aynı genlikle hareketine devam eder. Bu titreşim şekline sönümsüz titreşim denir. Bu tarif teoriktir. Gerçekte ise sistemler, sürtünme ve yer çekimi gibi çevre etkilerine maruzdur. Sistem salınır ve bir süre sonra durur. Bu titreşim şekline ise sönümlü titreşim denir.

### III. 2. 8. 3. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Titreşim

Titreşime sebep olan ana bileşenler ( yay, kütle gibi), doğrusal bir davranış sergiliyorlar ise doğrusal titreşim, aksi halde doğrusal olmayan ( nonlinear) titreşim adını alır.

### III. 2. 8. 4. Belirli ve Rasgele Titreşim

Titreşen sisteme etki eden kuvvet veya hareketin değeri, belirli bir zaman içinde tanımlı ise, oluşan titreşime belirli titreşim denir.

Sisteme etki eden kuvvet veya hareketin değeri, belli bir zaman içinde tanımlı değilse, rasgele titreşim adını alır [16].

## III. 2. 9. Serbestlik Dereceleri

### III. 2. 9. 1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Tek bir kütleden oluşan, tek bir yay ve sönüm elemanı içeren ve bir doğrultuda hareket eden sistemlere tek serbestlik dereceli sistem denir. Sistem aynı anda ikinci bir doğrultuda da hareket edebiliyorsa iki serbestlik dereceli sistemden söz edebiliriz. Faz, genel titreşim ölçümlerinde normal olarak ihmal edilir.

### III. 2. 9. 2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Mekanik sistem birbiriyle ilişkili belli sayıda kütle, yay ve sönüm elemanlarını içeriyor veya birden fazla doğrultuda hareket ediyorsa böyle bir sisteme çok serbestlik dereceli sistem denir ve frekans spektrumunda her serbestlik derecesi

için bir tepe noktası yer alır. Çoğu sistemler çok şerbetlik derecelidir ve farklı mekanik komponentleri birbirinden ayırt etmek çok zordur, hatta şekildeki gibi basit bir mekanik sistemi gerçek bir sistem gibi tasarlamak ise daha güçtür.

### **III. 2. 10. Titreşim Sinyalleri**

Mekanik bir sistemin hareketi, daha önce verdiğimiz örneklerde olduğu gibi, tek bir komponentin tek bir frekansta hareketlerinden oluşabileceği gibi, birçok komponentin farklı frekansta aynı anda hareketinden de oluşabilir, örneğin, içten patlamalı bir motorda pistonun hareketinde olduğu gibi. Burada, hareket sinyali hem zaman, hem de frekans açılımında ayrı ayrı bileşenlerine ayrılarak gösterilmiştir.

### **III. 2. 11. Harmonikler**

Harmonik olmayan periyodik bir sinyal belli sayıda harmonik sinyallere ayrılabilir ve bu sinyallerin bileşeni olarak ifade edilebilir. Yanda iki örnek verilmiştir. Sinyalin harmonik bileşenleri daima en düşük esas frekansın katsayıları cinsinden ifade edilirler.

### **III. 2. 12. Belirgin Sinyaller**

Dişli kutusundan alınmış bir titreşim sinyali yanda görülen sinyale benzer. Bu sinyalin her frekanstaki fonksiyonunun katkısını frekansın fonksiyonu olarak çizersek frekans spektrumunu elde etmiş oluruz. Frekans açılımında bu sinyalin belirli sayıda ayrık tepe noktaları görülecektir. Eğer dişli çarkların devir sayılarını ve dişli sayılarını biliyorsak bu tepe noktalarının ortaya çıktığı frekansların sistemin hangi parçaları ile ilgili olduğunu belirleyebiliriz. Bu yapıdaki bir sinyale herhangi bir t anındaki şiddetini kestirebildiğimiz için belirgin sinyal diyoruz.

### **III. 2. 13. Rasgele Sinyaller**

Rasgele titreşimler için bir örnek, akış nedeniyle ortaya çıkabilecek titreşimlerdir. Rasgele titreşimlerin periyodik ve harmonik bileşenleri yoktur. Tamamen rasgele hareketler sonucu ortaya çıkar ve ani değerlerinin önceden belirlenmesine imkan yoktur. Rasgele titreşimler istatistiksel özellikleri yardımıyla

tanımlanabilir. Stasyoner rasgele titreşimlerin frekans açılımlarının belğin tepe noktaları yoktur titreşim genlikleri tüm frekanslara sürekli yayılı durumdadır.

### **III. 2. 14. Şok**

Mekanik şok, titreşim enerjisinin çok kısa bir zaman dilimindeki patlamasıdır. Şok eğer sonsuz mertebede kısa sürmüşse frekans açılımında sürekli yayılı bir eğri elde edilir. Şok daima çok kısa sonlu bir süre içinde ortaya çıkacağı için frekans açılımı belirli bir frekans bantı ile sınırlanacaktır.

### **III. 2. 15. Sinyal Şiddetini Tanımlayan Büyüklükler**

Titreşim sinyalinin düzeyi farklı şekillerde tanımlanabilir. Sinyalin şiddetini tanımlamak için kullanılan büyüklükler arasında yarı-tepe ve tam-tepe şiddeti sinyalin denge konumu etrafında ne şiddette değiştiğini gösterir. Sinyalin taşıdığı enerji düzeyini göstermek için kullanılan büyüklüklerden birisi de sinyalin RMS seviyesidir. RMS harfleri "Root Mean Square " kelimelerinin baş harflerinden alınmıştır.

Sinyal şiddetini tanımlayan bu büyüklükler, sadece bir harmonikten oluşan basit harmonik sinyaller için değil, normal makinalardan alınan ve çok sayıda harmonik bileşenden oluşan makine titreşim sinyalleri için de geçerlidir.

### **III. 2. 16. Deplasman, Hız ve İvme Arasındaki İlişki**

Üç mekanik parametre; deplasman, hız ve ivme birbirleriyle çok yakından bağlantılıdır. Tek bir frekansa sahip bir titreşim sinyali için bu sinyalin biçimi ve periyodu deplasman, hız ve ivme göstermesine bağlı olmaksızın değişmez. Sadece bu parametrelerin şiddetlerinde ve genlik-zaman eğrilerinin fazlarında değişiklik görülür. Deplasman sinyalinin bilinmesi durumunda bu sinyalin birinci ve ikinci türevleri alınarak hız ve ivme sinyalleri kolayca bulunur. Faz farkının ihmal edilmesi durumunda ki, genellikle ihmal edilir, hız ve ivmenin sayısal değerleri aşağıda gösterildiği gibi basit bir çarpma işlemi ile bulunabilir.

Ölçüm parametresinin ivme olması durumunda diğer iki parametre basit integrasyonla elde edilir, ivme sinyalinin birinci integrasyonu hızı, ikinci integrasyonu ise deplasmanı verecektir. Elektronik devrelerde sinyalin integrasyon işlemi çok daha basit olması nedeniyle ölçülecek en iyi parametre ivme büyüklüğüdür. Geri kalan işlemler elektronik devrelerce halledilir, ivme büyüklüğünün en uygun ölçüm parametresi olarak tercih edilmesinin başka nedenleri de vardır. Bu gerekçeler daha sonraki derslerde açıklanacaktır.

### **III. 2. 17. İvme, Hız ve Deplasmanın Nomogram Yardımıyla Değiştirilmesi**

Titreşim sinyalinin frekansını ve ivme seviyesini biliyorsak, hız ve deplasman seviyeleri basit bir nomogram kullanarak hesap yapmaksızın hemen tayin edilebilir. Bu nomogramın titreşim sinyalinin basit harmonik hareket olması halinde, yani tek bir frekans bileşeninin var olması halinde geçerli olduğu bilinmelidir.

### **III. 2. 18. Ölçekler**

Lineer veya logaritmik ölçek kullanılması hangi büyüklüğün ölçüleceğine bağlıdır. Uzaklık ve zaman ölçümlerinde lineer ölçek kullanılır. Mutlak büyüklük yerine iki büyüklüğün oranının bilinmesinin daha önemli olduğu durumlarda logaritmik ölçek kullanılması daha avantajlıdır. Örneğin ülkelerin para sistemlerinde kullanılan paraların büyüklükleri arasındaki oran hemen hemen sabittir.

Titreşim ölçümlerinde hem lineer hem de logaritmik frekans ölçekleri kullanılır. Lineer frekans ölçeğinin avantajı harmonik olarak birbiriyle ilgili frekans bileşenlerinin kolayca belirlenebilmesidir. Logaritmik ölçeğin avantajı ise, çok geniş bir frekans açılımında sinyalin izlenmesine olanak tanınması ve her ölçek katında sinyale aynı önemin verilebilmesidir. Harmonik olarak birbiriyle bağlantılı bileşenler lineer ölçekli gösterimde kolayca belirlenmekte, buna karşın logaritmik ölçekli gösterimde sinyalin alçak frekans bölgesinde birçok detaylar görülmekte ve lineer ölçekli gösterime oranla 10 kat daha geniş bir frekans açılımı izlenebilmektedir.

### III. 2. 18. 1. Lineer ve Logaritmik Genlik Ölçekleri

Bir frekans spektrumunda ilginç ve önem taşıyan frekans bileşenlerinin genliklerinin genellikle maksimum tepe noktalarının yanısıra daha alçak seviyelerde küçük tepe noktaları olarak ortaya çıktığını biliyoruz. Lineer genlik ölçeği kullanılması durumunda bu alçak tepe noktaları hemen hemen hiç belirgin olmazlar. Bu nedenle titreşim şiddeti ile ilgili genlik ölçümlerinde daima logaritmik ölçek kullanılır. Logaritmik genlik ölçeği olarak  $m.s^{-2}$  gibi mekanik bir birim kullanabiliriz ancak çoğu kez desibel (dB) ölçüm birimi olarak kullanılır.

### III. 2. 18. 2. Desibel Ölçeği

Desibel bir oranı gösterir ve iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanır. 1 bel oranları 10 olan iki büyüklüğü gösterir. Bu oranın çok yüksek olması nedeniyle desibel adı verilen ve oranların logaritmasınının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. dB ölçeğine göre, örneğin ivme seviyesinin belli bir yüzdesi skalada belli sayıda dB olarak tanımlanır.

Titreşim sinyalleri ile ilgilendiğimiz için bu gösterim büyük avantaj sağlar, zira titreşimlerin mutlak değerinden daha çok yüzde olarak ne miktar arttığı önem taşır. Titreşim seviyesi her on kat arttığında dB ölçeği de 20 dB artacaktır. dB ölçeğinde 0 dB, herhangi bir titreşim seviyesi olarak alınabilir, örneğin;  $1 m.s^{-1}$  gibi. Ancak  $10^6 m.s^{-2}$  değeri uluslararası standartlarda ivme için referans düzey olarak seçilmiştir.

### III. 2. 18. 3. Desibel (dB) Formülü

Titreşimlerde kullanılan referans ivme, hız ve kuvvet değerleri ISO R 1683 Nolu Standartlarda belirtilmiştir. Hesaplama basit bir cep hesap makinesi veya logaritma tabloları yardımı ile kolayca yapılabilir.

### III. 2. 18. 4. Gerçek Seviye Ölçeği ve dB Ölçeği

Piezometrik ivme transdüserleri yardımıyla titreşim genliklerinin dinamik ölçüm aralığı 100,000 Milyonda 1 'lik bir aralığı kapsayabilir. dB ölçeğinde bu oran 220 dB'lik bir büyüklüğe sığdırılmıştır.

# BÖLÜM IV

## TEZ ÇALIŞMALARI

### IV. 1. PLASTİKLERİN TALAŞ KALDIRARAK İŞLENMELERİ

Polimer malzemelerle ilgili bir deneyin doğru sonuç vermesi, tekrarlanabilir ve değişik atölyelerde aynı hassasiyetle uygulanabilir olmasını gerektirir. Kalite-kontrol amacı ile kullanılıyor ise, deneyin çabuk sonuç vermesi ve pratik olması da; aranan diğer önemli özellikler olmaktadır. Özellikle plastik deneylerinde sonuçların doğruluğu; deneyin yapıldığı atölyenin sıcaklığı, nem oranı, deney örneklerinin hazırlanmış yöntemi ve şekli, kondüsyonlanması v.s. gibi çeşitli parametrelerden etkilendiğinden, standart deneylerde bu parametrelerin de belli bir standarda bağlanması zorunlu olmaktadır. Bu standartlar yapılan çalışmada yer almaktadır.

Deney yöntemlerinin; plastiklerde temel özellikleri değerlendirmek amacı ile geliştirilmiş olduğunun vurgulanması gereklidir. Bu nedenle de söz konusu yöntemlerin ne kadar sağlam bilimsel temellere otursalar da, zaman zaman yanıltıcı olabildikleri hatırlanmalıdır. Zira deney yöntemlerinde uygulanan koşul ve parametreler, elde edilen sonuçların malzeme özellikleri açısından kıyaslama yapılabilmesine veya malzeme ticareti ve kabulünde kullanılabilmesine olanak sağlayacak şekilde seçilmektedir. Söz konusu parametre ve koşulların gerçek kullanım parametre ve koşullarına benzer veya eşdeğer olduğuna ise, nadiren rastlanmaktadır.

Deney sonucunda elde edilen bir sonucu; eğer uygulamadaki frekans, sıcaklık ve ortam parametreleri standarttaakinin aynı değilse; uygulama için pek de anlamlı

olmayacaktır. Plastiklere deneyler uygulanır ve sonuçlar değerlendirilirken, uygulanan yöntem standart bir yöntem de olsa; "etki eden faktörler" in hiç bir zaman göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan sensör, cihaz ve yazılımlar kesme kuvvetlerini üç boyutlu olarak değerlendirerek kesme mekanizmasının statik ve dinamik davranışının belirlenmesi sağlamaktadır. Geniş kullanım alanına sahip olan poliamid malzemesinin CNC takım tezgahlarında talaş kaldırılarak işlenmesi esnasında meydana gelen kuvvet, titreşim ve sıcaklık değişimleri ölçülerek, kesme parametreleri arasında bir değerlendirme yapılmıştır. Kalıplama yöntemi kullanılarak elde edilen çeşitli taslak malzemeler CNC takım tezgahlarında işlenmeleri esnasında meydana gelen titreşimler ve kuvvetler ölçülmüş elde edilen grafikler değerlendirilmiştir.

Plastikten üretilen birçok parça, kalıptan çıktığında basit bir çapak alma işleminden sonra kullanıma hazır olur. Ancak bazı hallerde de talaşlı işlemi gerektirir. Bu işlem tornalama, frezeleme, delme, diş açma ve kesme olabilir. Hassas ölçülerin tutturulması, kalıplama ile verilemeyen formlar için bu gibi işlemler zorunlu olur.

Plastiklerin metallere göre daha değişik özelliklere sahip olması onların talaşlı işlenmelerinde de bazı önlemlerin alınmasını zorunlu kılar. Başta ısıl özellikler (ısı iletkenliği, genleşme katsayısı, yumuşama noktası gibi) olmak üzere bazı mekanik özellikler (sertlik, esneklik modülü) plastiklerin talaşlı işlenmelerinde de çok önemli etkenlerdir. Metallerin işlendiği takımlarla ve onların verileriyle işlendiğinde çoğu plastikler eriyerek takıma sıvanır ve işleme istenilen amaca ulaşamaz. Bunun için plastiklerin talaşlı işlenmelerinde özel takımlar ve azaltılmış hızlar uygulanır. Bu takımlar ve hızlar plastik türlerine göre de değişir.

Plastikler içinde termosetler, dolgulu olanlar ve fluokarbon sınıfı (teflon gibi) problemsiz işlenirler. Plastiklerin talaşlı işlenmeleri tablolarındaki örneklemelerle incelenmiştir. [4]

## **IV. 1. 1. Plastiklerin Tornalanması**

Birçok termoplast ve termoset plastikler tornalanabilirler. Takımlar iyi bilenmiş, hatta sürtünmeyi azaltma bakımından honlanmış olmalıdır. Tornalamada kullanılan kesme takımları sert metal (sinter) veya hava çeliğinden yapılır.

Bazı parçaların biçim ve malzemesinden kaynaklanan esnekliğin fazla oluşu torna tezgahına bağlanırken eğilmemesi için desteklenmeyi gerektirir. Parçanın kendi özellikleri dışında kesme takımına karşı gösterdiği direnç de eğilmeye neden olabilir. Tornalamaya engel olmayacak destek sağlanmalıdır. Soğutma gerektiğinde, suda çözünen akışkanlar (bor yağı gibi) kullanılarak amaca ulaşılır. Uzun süreli tornalamalarda kullanılan takım zaman zaman temizlenip parlatılmalıdır.

Tablo IV.1 'de hava (hız) çeliği takım kullanılarak plastiklerin tornalanmalarına ait veriler görülmektedir. Bu veriler belirli sertlik grubuna giren plastikler için sıralanmıştır. Bu tornalama işlemlerinde hava çeliği yerine takım malzemesi sert metal kullanılırsa verim artar.

## IV. 1. 2. Plastiklerin Frezelenmesi

Plastiklerin tornalanması için yukarıda ifade edilenler frezeleme için de geçerlidir. Malzeme özelliklerinden kaynaklanan destekleme, soğutma, düşük hızlarda çalışma gibi önlemlere önem verilmelidir.

Frezelemede genellikle tornalamadaki kesme ve ilerleme hız değerlerinin yarısı alınır [4]. Frezeleme işlemleri ile ilgili daha geniş bilgi Bölüm III' de verilmiştir.

## IV. 1. 3. Plastiklerin Delinmesi

Delme takımlarının uç formları ve helis açılarıyla uç bilemede verilen boşluk açısı (Clearance degree) önemli ölçüde fonksiyoneldir. Tablo IV.2' de plastik türlerine göre takım açıları verilmiştir.

Tablo IV. 1a. Bazı Plastiklerin Delinmelerinde Kullanılan Takım Açılan (Derece Olarak)

Plastik türü	Helis açısı	Uç açısı	Boşluk açısı
Akrilik, PMMA	27	120	12-20
Poliamid	17	70-80	9-15
Poliasetal	10-20	60-90	10-15
Poliyeten	10-20	70-90	9-15
Polikarbonat	27	80	9-15
Polistiren	40-50	60-90	12-15
Polivinil klorid, rijit	27	120	9-15

Tablo IV. 1b. Plastiklerin Tornalanma Verileri [3, 5]

Plastik türü	Sertlik grubu	Kesme derinliği [mm]	Hız [m/min]	İlerleme [mm/rev]	HSS takım mlz.
Asetal	60-120	1	122	1.3	M2, M3
Akrilik	Rockvvel M	3.8	107	2	
Polikarbonat		7.6	92	2.6	
Polistiren		15.8			
Polisülfon					
ABS	50-120	1	137	1.3	M2, M3
Poliyeten	Rock. R.	3.8	122	2	
Polipropilen		7.6	107	2.6	
Selüloz asetat		15.8			
Fluoroplastik	74-95	1	122	1.3	M2, M3
PTFE, CTFE	Rock. R.	3.8	107	2	
		7.6	92	2.6	
		15.8			
Poliamid	78-120	1	152	1.3	M2, M3
(Naylon) PA6,	Rock. R.	3.8	137	2.5	
6/6, 6/12, 11, 12		7.6	122	3	
		15.8			
Poliamid, % 35 cam lifli, PA 6, 6/6	78-120	1	-	-	-
	Rock. R.	3.8			
		7.6			
		15.8			
Epoksi	100-128	1	152	1.3	M2, M3
Melamin	Rock. M	3.8	137	2.5	
Fenolik		7.6	122	3.8	
		15.8			
Silikon plastiği	15-65	1	60	1.3	T15, M42
	Shore A	3.8	54	2.5	
		7.6	46	3.8	
		15.8			
Poliimid	40-50	1	152	1.3	M2, M3
	Rock. E	3.8	137	2.5	
		7.6	122	3.8	
		15.8			
Poliimid, % 50 cam lifli	109-115	1	-	-	-
	Rock. M	3.8			
		7.6			
		15.8			
Poliüretan, sert	65-95	1	76	1.3	T15, M42
	Shore A	3.8	60	2.5	
		7.6	54	3.8	
		15.8			
Poliüretan	55-75	1	92	1.3	M2, M3
	Shore D	3.8	76 60	2.5	
		7.6		3.8	
		15.8			

## **IV. 1. 4. Plastiklerin Kesilmesi**

Tornalama hızının yarısı alınarak plastikler testere ile kesilebilirler. Polistiren veya selüloz asetattan yapılmış parçalar  $\varnothing$  350, 130 diş sayılı testere ile önerilen hızlarda kesilebilir.

## **IV. 1. 5. Plastiklere Vida Açma**

Çok küçük çaplı deliklere yağlamaya gerek kalmadan kılavuz takımı ile diş açılabilir. Daha büyük çaplı delikler için su veya bor yağı ile soğutma yapmak suretiyle çalışılır.

Bazen de rijit plastik parçalar matkapla delindikten sonra delik çapından biraz büyük sac vidası ile tespit edilebilirler. Büyük çaplı delik taktirinde sac vidası ısıtılarak pratik bir şekilde deliğe vidalanır.

## **IV. 2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEZGAH, CİHAZ ve ALETLER**

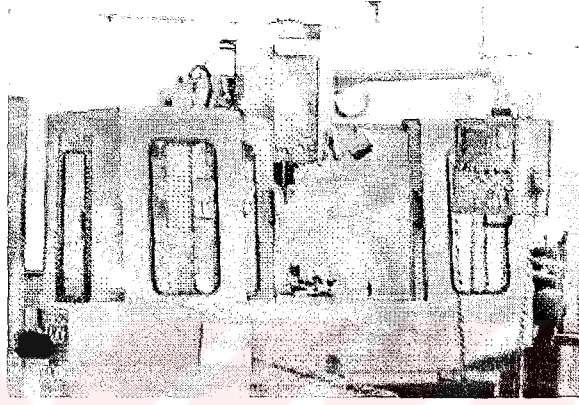
### **IV. 2. 1. CNC Freze Tezgahı ve Kesici Takım**

#### **IV. 2. 1. 1. Çalışmada Kullanılan CNC Freze Tezgahı**

Tezgah hassasiyetinin sağlanabilmesi için ayrıca CNC tezgahın lineer ölçeğinde sıcaklık ve çevre şartlarından korunması gerekmektedir. Tezgah üzerinde dikkat edilmesi gereken diğer bir etken de tezgah milinin (spindle) yüksek devirlerde dönmesinden kaynaklanan problemlerdir. Devir sayısı 12000 dev/min üzerinde çıktığı zaman, tezgah milinde meydana gelecek sürtünmeleri azaltabilmek, hafiflik, dayanıklılığı artırmak, ataleti azaltmak için seramik ( Silicon-Nitrit) ve çelik karışımı rulmanlı yataklar kullanılmaya başlanmıştır.

Mevcut CNC tezgahında, High Speed CNC' lere göre ısı yükselmesi ve titreşimleri azdır. Dolayısı ile diğer tezgahlara göre mekanik olarak yapısının farklı olma zorunluluğu yoktur. Çap ve adımdaki farklılık dönme hızı, tork ve eksen motorunun gücü ve bütün bunlar sayesinde tezgah tablasının istenilen ilerleme değerlerinde ilerlemesini ve aksenal itme kuvvetini belirler. Dönme sayısının artması

daha fazla sürtünme meydana getireceğinden sürtünmeden doğan bir ısı birikimi ortaya çıkar. Oluşan ısı birikimi ise tezgahta istenmeyen bir genişlemeye sebep olur. Genleşmeden meydana gelen pozisyonlama hatası ise CNC tezgahlarda istenilmeyen bir durumdur. Bilyalı yataklarda oluşan ısının alınabilmesi için, yeni teknoloji bilyalı yataklara delik delinerek, deliklerin içerisinden Ethylin-Glycol soğutucu maddesi dolaştırılmaktadır. Bu sayede hızlı hareketlerden kaynaklanan ısı alınarak yataklarda oluşabilecek genişleme azaltılmaktadır.



Şekil IV.1 Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı

Deneylerde kullanılan CNC tezgahı; metrik ve inch birimlerinde ISO format programlamayla üç eksen lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen bir yapıdadır. Kontrol ünitesi FANUC Serisi O-M dir.

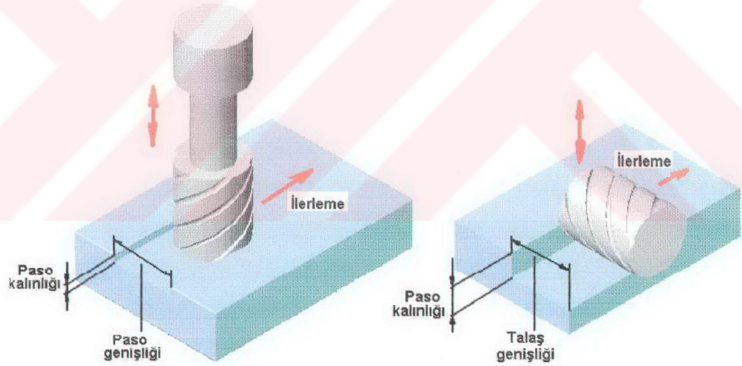
Frezelemede kesme hareketi takımın kendi etrafında dönmesi ile gerçekleştirilir. Genelde frezeleme çevresel ve alın olmak üzere iki gruba ayrılır. Her iki işlemde de talaş kaldırma bakımından önemli olan; paso kalınlığı da denilen talaş kalınlığı ve talaş genişliğidir.

Bununla beraber kesme faktörleri olarak önem taşıyan kesme hızı ve ilerlemedir. Kesme hızı m/min veya dev/min olarak ifade edilir. Frezelemede ilerleme; m/min olarak ilerleme (u), mm(dev olarak bir devreye karşılık gelen takım ilerlemesi (s) ve mm/diş olarak bir diş karşılık gelen takım ilerlemesi (sz) şeklinde olabilir.

Tablo IV. 2. CNC Tezgahının Teknik Özellikleri

Model No	VMC – 850 / 550+APC
Tabla çalışma yüzeyi	40" x 20" (1000 x 500 mm)
X,Y,Z hareket sınırı	X : 31.5" (800 mm)
	Y : 20" (500 mm)
	Z : 17.7" (450 mm)
İş mili motor gücü	10HP (30 min.) / 7.4 HP(cnot)
Tabla yüklenme kapasitesi	1980 Lbs (900kg)
Tezgah zemin alanı	92.5" x 98.4" (2350 x 2500 mm)
Makine ağırlığı	12100 Lbs (5500 kg)

Ayrıca frezeleme karşıt veya aynı yönde de olabilir. Konvansiyonel de denilen karşıt yöntemde frezenin dönme yönü parçanın ilerleme yönüne zıttır; aynı yönlü ilerlemede frezenin dönmesi ve parçanın ilerlemesi aynı yöndedir. [47]



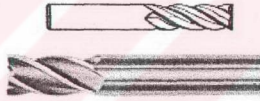
Şekil IV.2 Frezeleme İşlemleri

İşlem yapılabilmesi için gerekli şartlar olan CNC tezgahın mekanik yapısı, CNC kontrol sistemi, CAM sistemi, DNC sistemi ve kullanılacak kesici takımın belirli şartları sağlaması ile gerçekleştirilebilir. Kontrol sisteminin performansı genellikle program datasının bir bloğunu, işleme alabilme yani tezgahta hareketle

dönüştürme süresi olarak ölçülür. Standart ivmesi  $1m/s^2$  bir CNC tezgahta bir satır bloğun işleme alınma süresi 10 milisaniye olduğu zaman 5-10 mikron tolerans bandı içinde kalarak doğru koordinatlarda hareket edebilmesini gerektirir. Ancak yüksek hızda işleme yapabilen yeni nesil CNC tezgahlarda ivmelenme değerleri 3 veya 4 katına çıkabilmektedir. Bu durumda tezgahın bir satır bloğunu işleme süresi 4 milisaniyeye kadar düşmesi ile aynı toleranslarda parça işlenmesini sağlayabilmesi gerekir.[13]

#### IV. 2. 1. 2. Çalışmada Kullanılan Kesici Takım

Yapılan çalışmada devir sayısı 1500 dev/min'i aşmadığından silindirik saplı sağ helis, sağ kesici, dört ağızlı, DIN 844 Norm'unda HSS kalitesinde 10 mm çapında parmak freze kullanılmıştır.

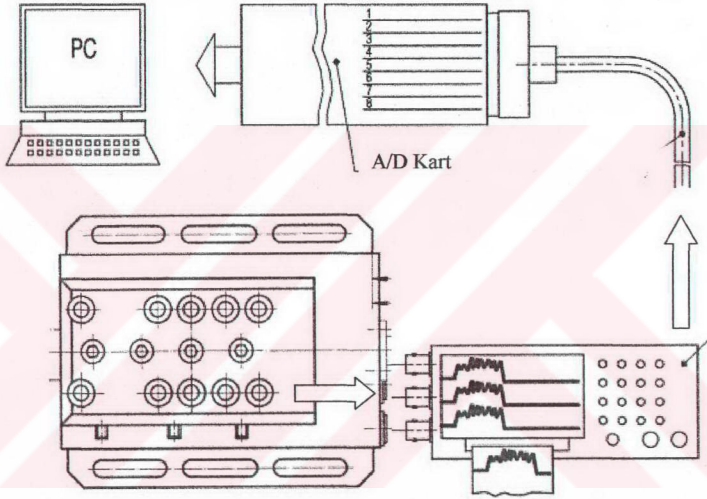


Şekil IV.3.DIN 844 Norm'unda HSS Kalitesinde 10 mm Çapında Parmak Freze

Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınırlandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesi seçimini büyük çapta etkiler. Kesici takım malzemelerinden istenen ortak özellikler ise sertlik ve sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomiktir. Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Böylece takım ömrü ve üretim hızı artırılarak ekonomiklik sağlanır. Takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan takım malzemeleri yüksek hız çelikleri ve sement karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır. [41]

## IV. 2. 2. Kesme Kuvveti Ölçme Sistemi

Sistem, tormalama, taşlama ve frezeleme işlemleri sırasında bu işlemlere tabi tutulan malzemeyi etkileyen kuvvetin üç-eksenli bileşenlerinin ölçülmesinde ve analizinde kullanılmıştır. Sistem parçaları: üç boyutlu kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır.



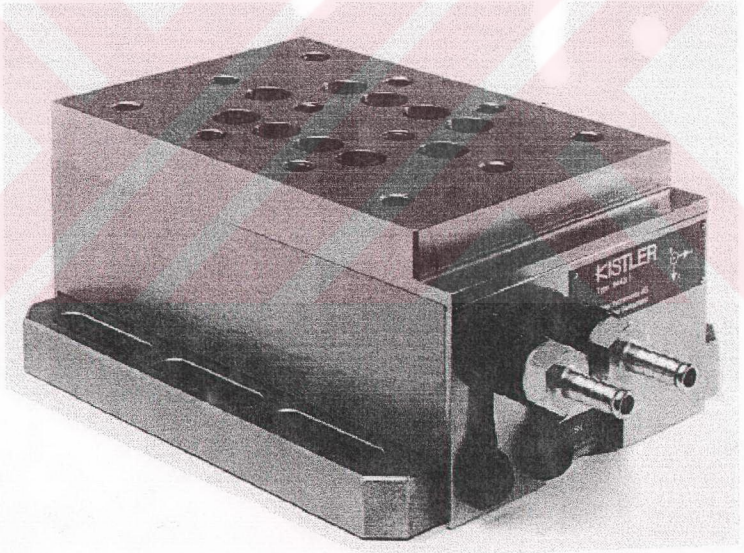
Şekil IV.4 Dinamometre-Amplifikatör-Kart-Bilgisayar Çevrimi

### III .2. 2. 1. Kuartz Dinamometre ( CNC Freze Tezgahı için)

Bir kuvvetin üç eksenli bileşenlerini ölçmede kullanılır, çok rijit bir yapıya sahip olması dolayısı ile yüksek tabii frekansa sahiptir. İki metal plaka arasında monte edilmiş dört adet üç eksenli kuvvet sensörü bulunmakta, her sensörde üç çift kuartz plaka vardır ve bunlardan biri Z yönünde basınca, diğer ikisi X ve Y yönlerindeki kesme kuvvetine hassastır. Bu sensörler dinamometre içinde kendi aralarında uygun şekilde bağlanıp, çıkış sinyalleri 9 uçlu bir soket üzerinden dışarıya bağlanmıştır.

**Tablo IV.2 Kuvvet Sensörünün Teknik Özellikleri.**

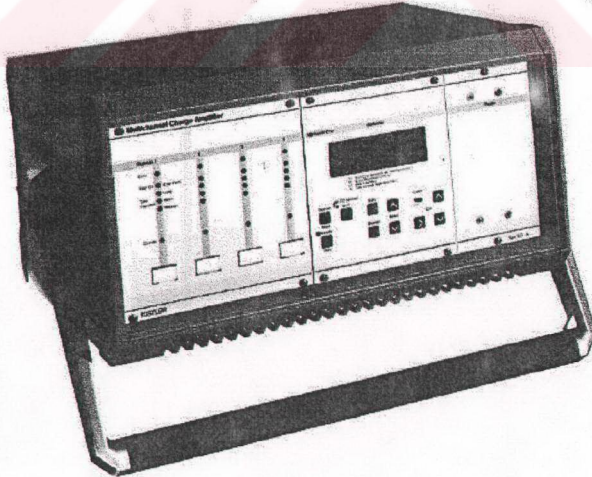
ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı	$F_x, F_y$	kN	-15.....15
	$F_z$	kN	-10.....30
Aşırı yük	$F_x, F_y$	kN	-20/20
	$F_z$	kN	-12/40
Hassasiyet	$F_x, F_y$	pC/N	$\approx$ -8
	$F_z$	pC/N	$\approx$ -3.8
Rijitlik	$C_x, C_y$	kN/ $\mu$ m	$\approx$ 0.8-1
	$C_z$	kN/ $\mu$ m	$\approx$ 2
Doğal Frekans	$F_o(x,y)$	kHz	$\approx$ 1.5-1.7
	$F_o(z)$	kHz	$\approx$ 2.5-2.7
Çalışma sıcaklığı aralığı	----	°C	$\leq$ +0.02 (0-70 °C)
Yalıtım Direnci	----	T. $\Omega$	$\geq$ 10
Bağlantı tipi	----	----	10-32 UNF

**Şekil IV.5 Dinamometre**

### III .2. 2. 2. Yük Amplifikatörü

KISTLER marka 5019b tipi yük amplifikatörü kuvvet sensöründen her yönde gelen (x,y,z) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analog' dan sayısal dönüşürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir. Bu tip veri kayıplarını önlenebilmektedir. 3 kanallı ve mikroişlemci kontrollüdür. Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtası ile ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra cihaz üzerinden RS232 C ve IEEE-488 interface çıkışları sayesinde tez için yapılan deney sonuçları bilgisayara aktarılmıştır.

Kanal sayısı	: 3
Ölçüm sahası	: $\pm 10/999.000$ pC
Sensör hassasiyeti	: $0,001/9.990.000$ MU/V
Skala	: $\pm 10$ V
Çıkış Voltajı	: $\pm 10$ V
Çıkış Akımı	: $\pm 5$ mA
Çalışma voltajı	: $220$ V / $50$ Hz
Çalışma sıcaklığı	: $0-50$ °C



Şekil IV.6 Amplifikatör

### III .2. 2. 3. Bağlantı Kabloları

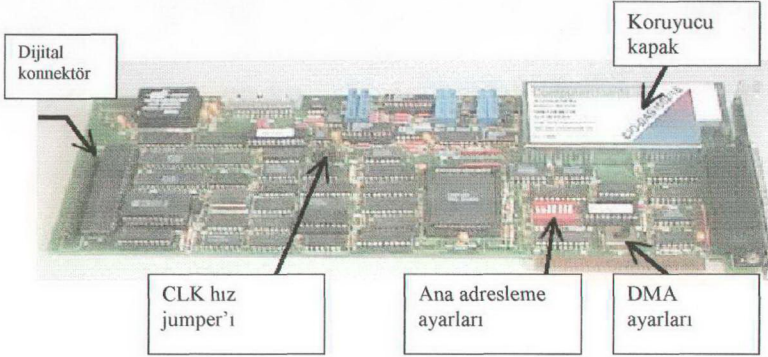
Bağlantılar için KISTLER marka 1631C tipinde kablo kullanılmıştır. Kablonun teknik özellikleri; 10-31 UNF pos.-BNC pos., <200C dir.

### III .2. 2. 4. Veri Toplama Kartı

Analogdan dijital (A/D) çevrilecek deneysel kuvvet dataları PC bazlı bilgisayar içerisine yerleştirilmiş ISA veriyolunu kullanan veri toplama ve kontrol kartıdır. Kullanılan kartın tipi PCL-812PG dir. Bu kartın genel bazı teknik özellikleri Tablo IV.3 'de verilmiştir.

**Tablo IV.3 PCL-812PG Veri Toplama Kartının Teknik Özellikleri.**

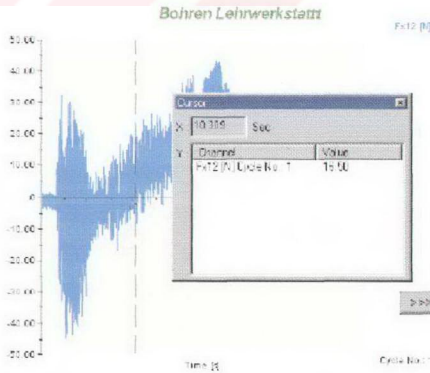
ÖZELLİK	DEĞERLER
Voltaj Aralığı	$\pm 10$ V
Güç Yoğaltımı	+5V:typ.500mA, Max. 1 A +12V:typ.50mA, Max. 100mA +12V:typ.14mA, Max. 10mA
I/O Bağlantısı	I/O bağlantısı için 20-pin kafa ve 37 pin D-tipinde bağlantıya çevrilm yapabilen adaptör.
Operasyon Sıcaklığı	$^{\circ}0.....^{\circ}50$
Depolama Sıcaklığı	$-^{\circ}20.....+^{\circ}65$
Ağırlık	243 g



Şekil IV.7 Veri Toplama Kartı (CIO-DAS1602)

#### IV .2. 2. 5. Analiz Programı

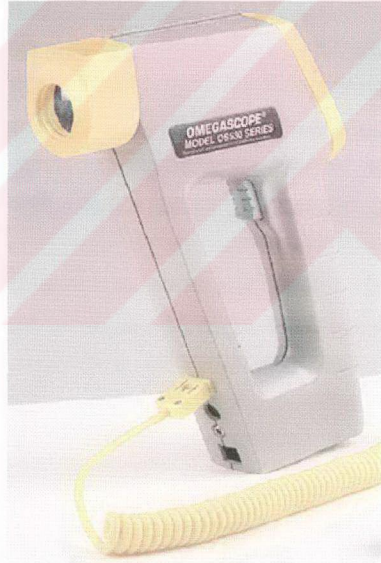
Sistemin amplifikatöründen alınan ölçüm bilgilerinin değerlendirilmesinde DynoWare isimli yazılım kullanılmıştır. Elde edilen değerleri grafiğe dönüştürme imkanı olan program aynı zamanda elde ettiği grafikleri isteğe göre ayrıştırabilmektedir. Değerler Excel programına da aktarılabilir. 8 ölçme kanalının her biri 12 bit çözünürlükte, kanal başına ölçme sahası  $\pm 10$  Volt'tur. Kanal başına örnekleme hızı 100 kHz/kanal sayısı olup, ölçme süresi bilgisayarın hafızası (RAM) ile bağlantılıdır.



Şekil IV.8 Dynoware Analiz Programı

### IV. 2. 3. Infrared Teknolojiyi Kullanan Temassız Sıcaklık Ölçer

Üretim, kalite kontrol ve bakım işlemlerinde sıcaklık, kontrol edilmesi gereken önemli bir parametredir. Sıcaklığı kontrol altında tutarak ürün kalitesinin geliştirilmesi, üretimin artırılması ve beklenmedik zamanlarda ani duruşların önlenmesi bunun sonucunda da işletmelerin en uygun şartlarda çalışır halde tutulması mümkündür. Özellikle erişilmesi mümkün olmayan yerlerde, hareket halindeki nesnelerin sıcaklıklarının ölçülmesi ancak temassız olarak mümkündür. Temassız sıcaklık ölçümlerinde etkin olan başlıca hususlar : Nesne çevre şartları, lens ve optik sistem, IR dedektör, gösterge ve çıkış özellikleridir.



Şekil IV.9 Infrared Teknolojiyi Kullanan Temassız Sıcaklık Ölçer

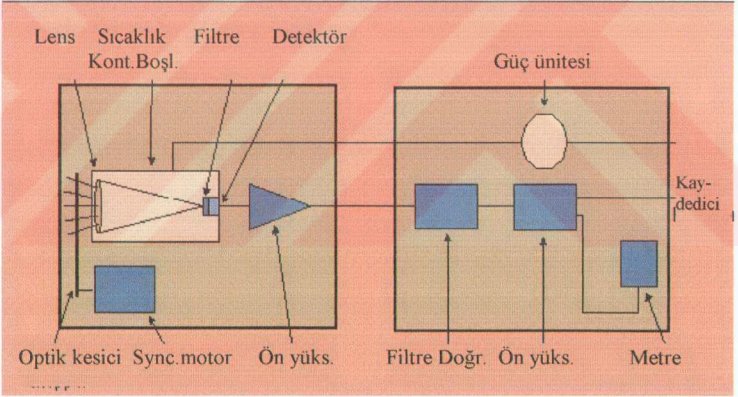
Temassız sıcaklık ölçme cihazlarının avantajları:

- Üretimin artması,
- Bakım giderlerinin azalması,

- Kalitenin geliştirilmesi.
- Ani duruşların ortadan kaldırılması,
- Enerji kayıplarının önlenmesi sayılabilir.

Infrared termometreler, sıcaklığı ölçülen nesne ile temas etmediğinden diğer dokunmalı tip termometrelere oranla birçok avantajlara sahiptirler. Bu avantajlar şunlardır:

- Temassız, temiz ölçüm: Malzemelerin yumuşak, ıslak ve erişilmez olduğu yerlerde kolay ve temiz ölçüm olanağı sağlarlar.
- Küçük, hareketli veya çok sıcak nesneler: Infrared termometreler sadece nesnelere yayılan enerjiyi algıladıkları için küçük ve harekete halindeki nesnelere sıcaklıklarının ölçülmesinde, dokunmalı termometrelere oranla çok daha kullanışlıdır. Sıcaklığı 3000°C'ye kadar olan nesnelere uzak mesafelerden kolayca ölçülebilmektedir.



Şekil IV. 10 Geleneksel Sıcaklığı Uzaktan Ölçen Termometre Yapısı

- Ulaşılması güç nesnelere: Görüş alanında olan ve erişilmesi güç olan nesnelere sıcaklıkları, Infrared termometreler ile çok uzaktan ölçülebilmektedir.
- Emniyet: İnsanların giremediği emniyetsiz ve zor yerlerde Infrared termometreler güvenle çalışabilmektedir.

- Ölçüm hızı: Infrared ölçümler diğer dokunmalı ölçümlerden çok daha hızlıdır. Saniyede birçok okuma yaparlar ve sonuçları hassas olarak verirler. Aynı ölçümleri dokunmalı termetreler ile yapmak uzun zaman alır.
- Tekrarlanabilirlik ve doğruluk: Infrared termetreler sıcaklığı ölçülen nesnelere ile temas etmediğinden hassasiyetlerinden ve doğruluklarından kaybetmezler. Tekrarlanabilirlikleri yüksektir. Uzun yıllar problemsiz ve hasarsız olarak hizmet verirler. Infrared ölçümler ile üretim prosesini sürekli kontrol altında tutmak, üretim hatalarının azalmasını sağlar ve bunun sonucunda ürün kalitesi artar. Ayrıca olası problemlerin Infrared termetreler ile daha başlangıç aşamasında tespit etmek beklenmeyen ani duruşları engellediği gibi bakım zamanını ve gerekli malzemelerin daha iyi programlanmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda da bakım masrafları ve üretim kayıpları önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca izolasyon hatlarında kullanılan Infrared termetreler enerji kayıplarının azaltılmasında önemli rol oynarlar.

Bu çalışmada kullanılan cihaz, Omega firmasının OS532 model numaralı infrared sıcaklık ölçüm cihazıdır. Ortalama sıcaklık değerleri arasında, analog ve dijital veri çıkışı alabilen, lazer ışınla, sıcaklık değerlerini saklayabilen hafıza sistemli, verileri cihazdan PC'ye aktarabilen bir sistemdir.

Tablo IV. 4. 'de cihazın özellikleri verilmiştir.

#### IV. 2. 3. 1. Sıcaklığın Ölçülmesi

Infrared termetrelerin sıcaklık ölçümleri Stefan-Boltzmann Yasası'na dayanır.

$$I = \epsilon\sigma(T^4 - T_s^4) \quad (IV.1)$$

I : ışınım gücü [watt / m<sup>2</sup>]

e : emissivity (

$\sigma$  :  $5.6703 \times 10^{-8}$  watt/m<sup>2</sup> x K<sup>4</sup> (Stefan sabiti)

T : cismin sıcaklığı [K]

T<sub>a</sub> : çevre sıcaklığı [K]

Tablo IV.4 Sıcaklık Ölçüm Cihazının Özellikleri

Model no	OMEGA OS532
Hassasiyet	±1% rdg
Aralık	-18 - 538°C veya 0 - 1000°F
Emissivity (Yayılm gücü)	Ayarlanabilir
Spot oranına uzaklık	10:1
Sıcaklık farkını gösterebilme	Var
Min/Max sıcaklık gösterebilme	Var
Ortalama sıcaklık gösterebilme	Var
Min/Max sıcaklık ayarlanabilme	Var
Analog çıkış	1 mV/deg
RS-232 çıkışı	Yok
Thermocouple girişi	Var
Lazer tipi	Nokta/çember

İdeal bir siyah cismin birim yüzeyinden birim zamanda yayılan enerji miktarı, siyah cismin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır. R yarıçapındaki, L ışınım gücündeki bir cismin minimum sıcaklığı yani kara cisim sıcaklığı  $T_{bb}$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{bb}^4 \quad (IV.2)$$

L : ışınım gücü

R : yarıçap

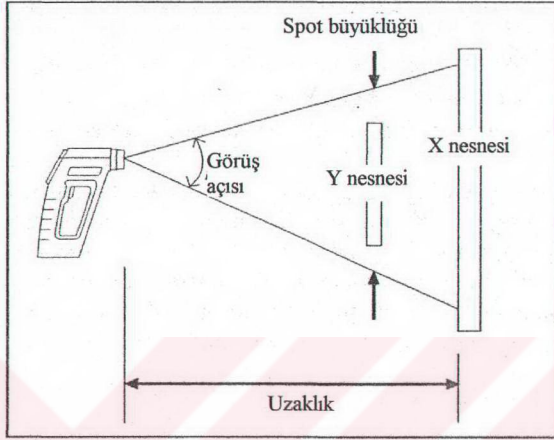
$T_{bb}$  : kara cisim sıcaklığı

$\sigma$  : Stefan-Boltzmann sabiti

ile verilir.

Her optik cihazın bir görüş açısı vardır. Sıcaklık ölçülmeden önce kullanıcı, cisme uygun uzaklıkta bulunduğunu kontrol etmelidir. Görüş açısı, cihazın üstündeki V şeklindeki çıkıntıdan veya lazer çember şeklini gösterirken ayarlanabilir. Eğer ölçülecek cismin önünde başka bir engel varsa bu çekilmelidir. Şekil IV.11'de X

nesnesin sıcaklığını ölçmek için Y nesnesi kaldırılmalı, Y nesnesinin sıcaklık ölçümü için de termometre daha yakına getirilmelidir.



Şekil IV.11 Termometrenin Görüş Açısı

#### IV. 2. 3. 2. Isı Transferi

Bütün cisimler ısıyı yayar ve ısı alır. Hayatımızın bütün anlarında bu ısıya maruz kalırız. Isı transferi, cismin sıcak olması daha fazla enerjiyi dışarıya vermesi anlamına gelir. Çevresinden daha sıcak olan bir cisim aldığından daha fazla enerjiyi dışarıya verir. Eğer bünyesel olarak ısı (enerji) kaynağı mevcut değilse o cisim soğumaya başlar. [44]

#### IV. 2. 3. 3. Enerji Transferi

Enerji üç şekilde transfer edilir:

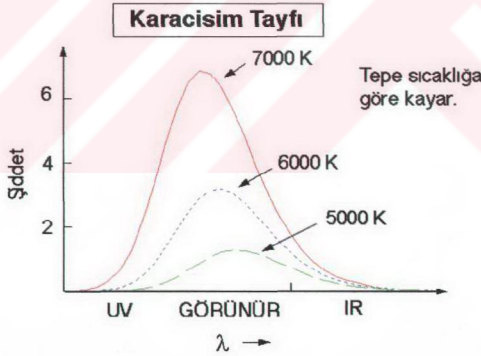
- **İletim:** Parçacıklar enerjilerini komşularıyla paylaşırlar.
- **Konveksiyon:** Parçacıkların kütsel hareketleridir (türbülans).
- **Isınım:** Enerjinin fotonlarla taşınmasıdır.

#### IV. 2. 3. 4. Cisimlerin İç Enerjileri

Bütün cisimler iç enerjilere sahiptirler ve bunlar parçacıkların mikroskobik hareketleri ile kontrol edilirler. Bu hareketler tarafından kontrol edilen **sürekli** enerji düzeyleri vardır. Eğer bir cisim ısıl denge halinde ise bu cisim tek bir büyüklük ile temsil edilebilir, bu büyüklük ise sıcaklıktır.

#### IV. 2. 3. 5. Cisimlerden Yayınlanan Işınım ve Karacisim

Isıl dengede bulunan bir cisim tüm dalga boylarında enerji yayar. Sonuçta sürekli bir tayf ortaya çıkar. Buna **ısısal ışınım** adı verilir. Siyah bir cisim yada karacisim bütün dalga boylarında üzerine düşen ışınımı soğurur. Bu karacisim ayrıca ısısal ışınım yayar (fotonlarla, ocaktan yeni çıkmış kor halindeki demir gibi ). Yayınlanan enerji miktarı (birim alan başına) sadece karacisimin sıcaklığına bağlıdır. 1900 yıllarında Max Planck karacisimden gelen ışığın özelliğini belirlemiştir. Plank Yasası, farklı sıcaklıklardaki bir karacisimin ışınımı hesaplamak için kullanılan bir denklemdir.



Şekil IV. 12 Karacisim Tayfı [44]

#### Karacisimin Özellikleri:

- Sıcaklık arttıkça karacisimden yayılan enerjinin maksimumu daha kısa dalgaboylarına doğru kayar (Wien Yasası).

- Karacismin daha sıcak olması, bütün dalga boylarında birim alanda daha fazla enerjinin salınması anlamına gelir.
- Daha büyük cisimler daha fazla ışınmı yayarlar. [44]

#### IV. 2. 4. Titreşim Ölçüm Cihazı

Titreşim ölçümleri çok çeşitli konulara yönelik olarak yapılmaktadır. Titreşim ölçümü yapabilmek için gerekli ilk şart bir titreşim ölçüm cihazı ve probudur. Çoğu zaman cihaz beraberinde bir kalibratör kullanılması da gerekli olmaktadır.

Titreşim ölçüm problemlerini aşağıdaki gruplara ayırabiliriz:

- İvme ölçer
- Hız probu
- Temassız deplasman probu

İvme ölçer, geniş frekans ve dinamik aralığa sahip ve nispeten ufak yapıda olması sebebiyle en genel amaçlı transdüserdir.

Hız probu, çoğunlukla orta frekans bölgesini içeren izleme sistemlerinde kullanılmaktadır.

Deplasman probu, özellikle düşük frekanslı deplasman ölçümünün gerektiği şaft titreşimi, eksen kaçıklığı gibi ölçümlerde faydalı olmaktadır.

Titreşim ölçüm cihazları ortalama değer hesaplayabilen veya sadece anlık değer ölçebilen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Ayrıntılı titreşim analizi isteniyorsa, frekans analizi yapabilen modeller tercih edilmelidir. Frekans analizinde kullanılan yöntem FFT (sabit bant genişliği) veya CPB (sabit oranlı bant genişliği) olarak seçilebilmektedir.



**Şekil IV.13 Schenck Vibrotest60, El Tipi Çift Kanallı Titreşim Ölçüm, Analiz Cihazı ve Ekipmanları**

Ölçüm ile ilgili standartlar ISO 2954, ISO 7919,... bu çalışmanın sonunda verilmiştir.

Firmalar, ürünlerinin veya ürünlerini oluşturan parçaların titreşime karşı dayanıklılığını test etmektedirler. Bunu yaparken amaç, ürünün gerçek çalışma ortamında titreşimden nasıl etkilendiğini görebilmek olduğu kadar, nakledilme sırasında (yol testi) olası titreşimlere karşı ne kadar dayanıklı olduğunu görebilmektir.

Bu testlerde gerekli olan cihazları: Kontrol Ünitesi (controller), Güç Yükselticisi (amplifier), Sarsıcı (shaker), İvmeölçer (accelerometer) olarak sıralanabilir.

Kontrol ünitesi, istenen dalga formunun elektriksel olarak üretilmesini sağlamakta ve ivmeölçerden gelen geri besleme (feedback) titreşim sinyaline bakarak gerçekte oluşan titreşim seviyesini kontrol altında tutmaktadır.

Basit sinüzoidal sinyal üretebilen kontrol cihazları olduğu gibi, bilgisayar tabanlı gelişmiş kontrol sistemleri de bulunmaktadır.

Titreşim testlerinde aşağıdaki dalga formları kullanılmaktadır :

- Sinüs (tek bir frekans ve genlikte) - Sine
- Sinüs taraması (bir frekans bölgesinde genliği sabit tutarak taramak) - Swept Sine
- Rasgele (seçilen alt ve üst frekans arasındaki bölgeyi uyarmak) - Random
- Şok Testleri - Shock
- Rezonans frekansı (ürünün rezonans bölgesinde test yapmak) - Resonance Dwell

Güç yükselticisi, kontrol sisteminde oluşturulan düşük seviyeli sinyali yükseltmek için kullanılmaktadır.

Sarsıcı, güç yükselticisinden gelen elektriksel sinyali, mekanik titreşime dönüştüren silindirik ünitedir. Bu cihazlar performanslarına göre çok çeşitli boyutlarda olabilmektedir.

Uygun bir titreşim test sistemini seçebilmek için en azından:

- Test edilecek objenin ağırlığı,
- Test edilecek objenin sarsıcıya bağlantısı için bir bağlantı parçası (fixture) olup olmadığı ve ağırlığı,
- İstenen en yüksek ivmelenme ve deplasman seviyesi,
- Testte kullanılacak dalga formu bilgisine sahip olmak gerekmektedir.

Tüm malzemeler, fiziksel özelliklerinden kaynaklanan rezonanslara sahiptirler. Rezonans frekanslarının ve bu frekanslardaki sönümleme değerlerinin ne olduğunun bilinmesi ürün tasarımı açısından önemlidir.

Bir malzemeye rezonans frekansında çok küçük bir tahrik kuvveti uygulayarak, yüksek titreşimler elde edilebilmektedir. Modal analiz, malzemelerin doğal frekans (natural frequency), sönüm (damping), mod biçimi (mode shape) değerlerini ortaya çıkarmak için yapılan bir çalışmadır.

Makinelerin çalışma koşulları altında yaydıkları titreşim, onların durumları hakkında fikir vermektedir. Bu özellik sayesinde, tesis içerisinde yer alan

makinelerin titreşim değerlerinin periyodik olarak kontrol edilerek olası bir hatanın önceden fark edilmesi bakım alanında avantaj sağlamaktadır. Bozulması beklenen makine veya parçaların yedeklerinin temin edilerek, zamanında değiştirilmesi sayesinde fabrika üretimi en az kayba uğramış olur.

Günümüzde bu yöntemle rulman, elektrik motoru, kompresör, jeneratör, pompa, fan, dişli kutusu, redüktör, türbin, şaft ve diğer dönen aksama sahip makinelerde bakıma yönelik titreşim ölçümleri yapılmaktadır.

Bu makinelerde problemin ne olduğunu anlayabilmek için frekans analizi yapabilen ölçüm cihazlarına ihtiyaç vardır. Bilgisayar programı üzerinde tanımlanan tesis yapısı üzerinde ölçülecek makineler ve ölçüm noktaları belirlenerek, veri toplama cihazına transfer edilmektedir. Bu sayede, veri toplama cihazı açıldığında üzerinde hangi makinenin hangi noktasında ne ölçümü yapılacağı göstermektedir. Kullanıcı bu ölçümleri (rota) tamamladıktan sonra toplanan data tekrar bilgisayar transfer edilir.

Bilgisayar üzerinde her noktada yapılan ölçümlerin kayıtları saklanmaktadır. Bu sayede, aynı noktada daha önce elde edilmiş ölçüm sonuçları ile yenileri karşılaştırılarak herhangi bir hata oluşup oluşmadığı anlaşılabilir. Hata tespiti için değişik (FFT, CPB, BCU, Cepstrum, Envelope vs.) analiz teknikleri bulunmaktadır. Bu işlemler el tipi bir cihazla periyodik aralıklarla yapılabileceği gibi, kritik makinelerin izlenmesi için sürekli izleme ve analiz sistemleri de bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada da makine bakımında titreşimi ölçen Schenck Vibro firmasının üretimi olan VibroTest60, el tipi tek veya çift kanallı titreşim ölçüm ve analiz cihazı kullanılmıştır. Modüler bir yapıya sahip olması sebebiyle kullanıcıya düşük maliyetli bir opsiyon ile başlama ve ileride cihazın yeteneklerini zaman içerisinde geliştirme olanağını sağlamaktadır. VibroTest 60 gerek bağımsız bir FFT ölçüm cihazı, gerekse bir veri toplama ve analiz sisteminin parçası olarak kullanılabilir.



Şekil IV.14 Schenck Vibrotest60 Cihazı

Modül 1 - Skaler Ölçümler : Skaler titreşim veya proses parametreleri bu modül ile ölçülebilmektedir.

Modül 2 - FFT ve Zarf Analizi : Bu modül ile cihaz frekans analizi (FFT & Zarf) yapabilecek hale gelmektedir.

Modül 4 - Hız Ölçümleri : Bu modül cihazın hız ölçümlerini de yapabilmesini sağlamaktadır.

Modül 5 - Çift Kanallı Analiz : Cihazı çift kanallı hale getiren opsiyondur.

Modül 6 - Veri Toplayıcı : Periyodik bakım ve diyagnostik çalışmalar için veri toplama ünitesi olabilmektedir.

VibroReport (Bilgisayar Programı): VibroTest 60 'ın bağımsız bir FFT ölçüm cihazı olarak kullanılması halinde yapılan tüm ölçümleri bilgisayara transfer ederek, gerek cihaz içerisindeki datayı bilgisayar ortamında saklamak gerekse yazıcı çıkışı almak için kullanılan Windows tabanlı programdır.

VibroTest 60,

- Titreşim analiz edici
- Dat-kayıt edici
- Veri toplayıcı olarak modüler bir kavram için kapsamlı ölçüm fonksiyonları sunar.

VIBROTEST 60 makinenin durumunun değerlendirilmesi, hataların ve hasarların doğru teşhisi ve “duruma-bağlı” bakım stratejisinin gerçekleştirilmesi için tasarlanmış bir ölçüm cihazıdır.

Analiz edici olarak kullanırken ölçümleri şu modlarda toplamaktadır: Titreşim/BCU, spektrum/BCS, işleme değerleri. Cihazın bellek gereksinimi ve yönetimi şöyledir:

#### Analiz modunda

Rapor belleği gereksinimi

Genel rapor rapor başına +/- 0,5 kbit

Process Values raporu rapor başına +/- 0,5 kbit

Spektrum raporu +/- 0,3 kbit

Listeleme raporu listeleme başına +/- 0,5 kbit

#### Veri toplayıcı modunda

Rotaların PC-karta yüklenmesiyle beraber veri güvenliği için gerekli olan bellek yeri otomatik olarak ayrılır. Bu aralığın dışına çıkılması mümkün değildir. Rota başına maksimum ölçüm noktası 999'u aşamaz.

#### DAT-kayıt modunda

Kullanılabilecek olan ölçüm zamanı "t" şunlara bağlıdır:

$$t = \frac{(P - 0,3)}{a \cdot n \cdot f_{\max} \cdot 9} \quad (IV.3)$$

P : PC-kartta bulunan boş kayıt yeri [kb]

a : Aktif ölçüm kanallarının sayısı

n : Alınmış olan ölçüm değişkenlerinin sayısı

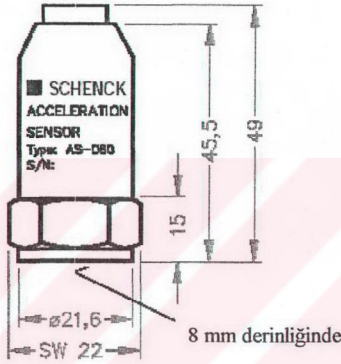
f<sub>max</sub> : Girdi filtresinin üst köşe frekansına [kHz]

Her bir PC-kartının kayıt kapasitesi (Maksimum kayıt kapasitesi)

- Raporlar 999
- Rotalar 5

Ölçümlerde spektum modunda AS-060 ivme sensörü kullanılarak, kurulum ayarlarından birimi olarak y ekseninde ivme [ $\text{mm/s}^2$ ], x ekseninde Hertz [Hz] seçilmiştir.

AS-060 sensörü genellikle VIBROTEST-60 “Analiz” (Analyser) veya “Veri Toplayıcısı” (Data Collector) modundayken, titreşimin ivmesini ölçmek için kullanılır.



Şekil IV.15 AS-060 İvme Sensörü

Ölçüm prensibi şöyledir: İvme sensörleri piezo-elektrik sıkışma prensibine göre çalışır. Sensörün içindeki piezo-seramik diskler ve dahili bir sensör kütlesi sistem içinde bir yay-kütle sistemi oluşturur. Bu sistem titreşime maruz kaldığı zaman, dahili kütle seramik diskler üzerine değişken bir kuvvet uygular ve piezo etkisinden dolayı ivme kuvvetine orantılı bir elektrik akımı oluşur. Dahili bir amplifikatör bu elektrik akımını kullanılabılır bir gerilim sinyaline dönüştürür.

Bağlantı için BNC tipi priz kullanılır. İzin verilen sinyal kablosu uzunluğu on (10) metredir ve bu uzunluğa kadar olan sinyal kabloları hiçbir yan etki görülmeden kullanılabılır. Bu uzunluğa kadar olan kablolarda ölçülen sinyalin iletiminden dolayı genlikte fark edilebilir bir değişim olmaz.

Cihazın bağlantısı şöyle yapılabilir:

Mekanik Birleştirme : İvme ölçerin kütlesi, titreşim hareketi yapan ve üzerinden ölçüm alınan cismin kütesinden en az 10 kat küçük olmalıdır.

Etki: İvme ölçer sensörü üzerinden ölçüm alınan cisme ek bir kütle olarak yük etkisi yapar ve cismin titreşim karakteristiğini etkiler.

Bağlantı Seçenekleri : Sensörü makineye monte etmek için 3 yöntem vardır:

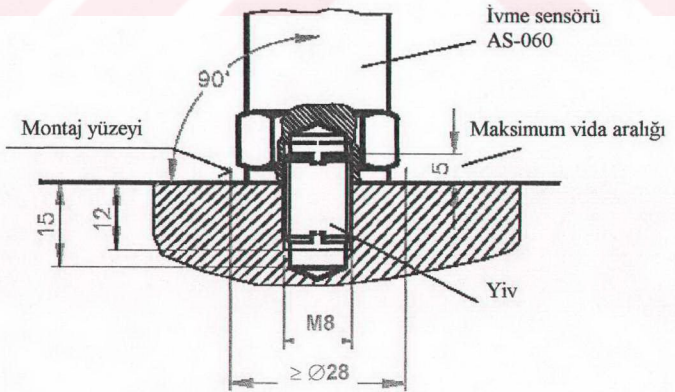
- Yivli vida
- Prob
- Mıknatıs

AS-060 beraberinde gelen yivli vidalar ile makineye monte edilebilir.

- M8 x 14 yivli vidayla veya
- M8 / ¼" 28 UNF yivli vidayla.

Makine üzerindeki montaj konumu keyfi olarak seçilebilse de ölçümlerin anlamlı olması için titreşim ölçümleriyle ilgili şu kurallara uyulmuştur:

- Yüksek frekanslı titreşimlerin ölçümlerinde ivme sensörü sıkı, rezonanssız, sabit bir bağlantı ile makineye monte edilmiştir.
- AS-060'ın monte edildiği yüzey dinamometrenin ön yüz metal bölgesi olup, titreşimi ölçülecek bölgeye yakın, pürüzsüz ve düzdür.
- Vidanın en fazla 5 mm lik kısmını ivme ölçeri bağlamak için dışarıda bırakılmıştır.
- AS-060, vidanın dışarıdaki kısmı üzerine takılmıştır. Maksimum sıkıştırma momentine dikkat edilmiştir.



Şekil IV.16 AS-060 İvme Sensörü Montajı

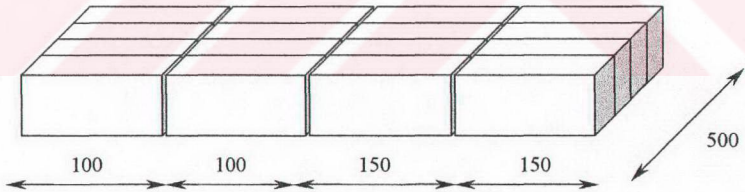
Ölçümlerdeki titreşim probleminin muhtemel sebepleri ve çözümleri için şöyle bir tablo çıkarılabilir:

**Tablo IV.5 Titreşimin Muhtemel Sebepleri ve Çözümleri**

MUHEMEL SEBEBİ	ÇÖZÜM
Takım parça ekseninde değil	Kontrol ediniz
Hatalı takım/uç geometrisi	Köşe radyüsünü azaltınız Serbest açığı arttırınız
İlerleme çok düşük	İlerlemeyi arttırınız
Kesme hızı çok yüksek	Kesme hızını azaltınız Soğutma sıvısı kullanınız
Parça sağlam bağlanmamış	Parçayı sağlam bağlayınız

## IV. 2. 5. Dekupaj

Levha halinde 500x500 mm genişliğindeki poliamid TEMELSAN DK400 model dekopajda 100x100, 150x150 ve 150x200 mm'lik küçük parçalara kesilmiştir. Cihaz testere koptuğunda kaynak da yapabilmektedir.



**Şekil IV. 17 Dekupaj ile Polamid'in Küçük Parçalara Kesilmesi**

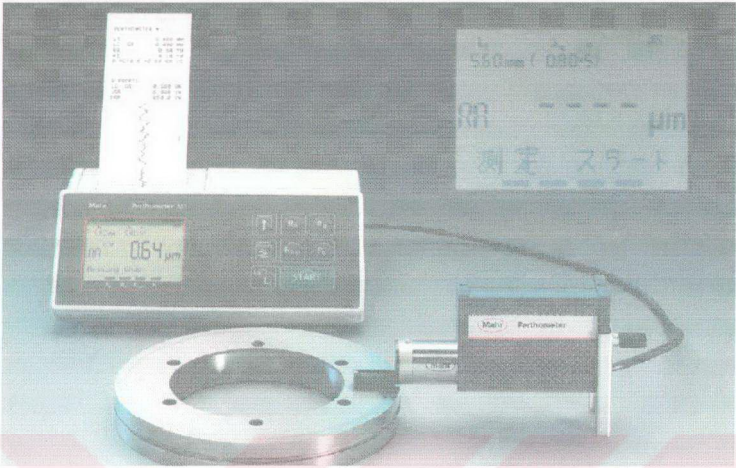
Şerit testere olarak 3 m uzunluğunda, 6 mm eninde, karbon malzemenen yapılmış Testeresan marka testere kullanılıp, kesim sırasında soğutucu akışkan kullanılmamıştır.



Şekil IV. 18 Temelsan DK400 Dekupaj

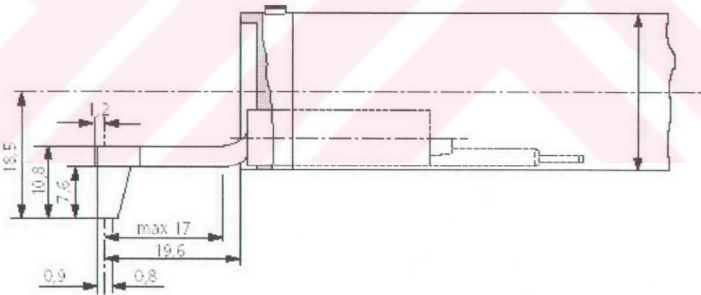
## IV. 2. 6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti

Yoklayıcı uçla yüzey pürüzlülüğü ölçen aletler yüzey pürüzlülüğünü, uygun görülen uzunluk ve çevrelerde ölçer veya kontrol eder. Bu aletlerde yoklayıcı uç, yüzey üzerinde gezdirilirken girinti ve çıkıntılara girip çıkmaktadır. Bu hareket, manyetik bir bobin veya kristalde, elektrik akımına dönüştürülür. Bu elektrik akımı da ilgili ünitelerde büyütülerek bir ibre yardımıyla veya dijital olarak görünür, istenirse yazıcı bir uçla grafik olarak kâğıt şeritlere çizilebilir. Bu cihazın kol olarak belirtilmiş parçasının ucundaki kafaya bağlı kızak, belirli yönlerde hareketi sırasında hem kola desteklik yapar hem de yoklayıcı ucu korur. Yoklayıcı uç hareketi, profilin ölçülme geometrisinin perspektif görünüşünde daha iyi görünmektedir.



Şekil IV.19.a Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti

Yapılan çalışmada Mahr firmasının Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülüğü ölçüm aleti kullanılmıştır.



Şekil IV.19.b Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aletinin Ölçüleri

## IV. 2. 7. Deneysel Çalışmada Kullanılan Döküm Poliamid Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada, özellikleri daha önce Bölüm II’de anlatılan Polikim firmasının Kestamid isimindeki, 50 mm kalınlık, 16798 g/adet ağırlığında, 500x500mm ölçülerinde levha tipi döküm poliamidleri kullanılmıştır.



**Şekil IV.20.a Poliamid'in kullanıldığı alanlardan örnekler**

Çok yüksek çekme ve basma, yüksek darbe dayanımı, aşınma ve bükülmeye mukavim, yüksek kimyasal dayanımı olan, düşük yoğunluk nedeni ile ekonomik, yağsız ve sessiz çalışabilme özelliğindeki poliamid, daha çok döner ve kayar hareketli makine parçaları, yağlamasız ve sessiz çalışabilen dişliler, aşınma plakaları, makaralar, yatak ve burçlar ve göbeği çelik takviyeli parçalarda kullanılmaktadır.

**Tablo IV.6 Kestamid'in Özellikleri ve Test Mod'ları**

ÖZELLİKLER	TEST METODU DIN	BİRİM	DEĞER
YOĞUNLUK	53479	kg/m <sup>3</sup>	1150
SÜRTÜNME KATSAYISI			0.15
BASMA DAYANIMI	53454	MPa	107,87
SERTLİK	53505	Shore D	85
DARBE DAYANIMI	53453	KJ/cm <sup>2</sup>	Kırılmaz
ÇEKME DAYANIMI	53455	MPa	78,45
KOPMA UZAMASI	53455	%	40
DİELEKTRİK DAYANIMI	53481	KV/mm	30
ERGİME NOKTASI	53736	°C	220
MAKSİMUM KULLANIM SICAKLIĞI		SÜREKLİ °C	+ 120
		KISA SÜRELİ °C	+ 160



Şekil IV.21. Poliamid Kullanılarak Üretilen Dişliler ve Çeşitli Makine Parçaları

## IV. 2. 8. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ç1040 Çeliği

Deneyslerde poliamid'e ek olarak imalat sanayinde kullanılan çelik malzeme olarak Ç1040 çeliği de kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal analiz değerleri Tablo IV.7'de verilmiştir.

Tablo IV.7. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ç1040 Çeliğinin Kimyasal Analiz Değerleri

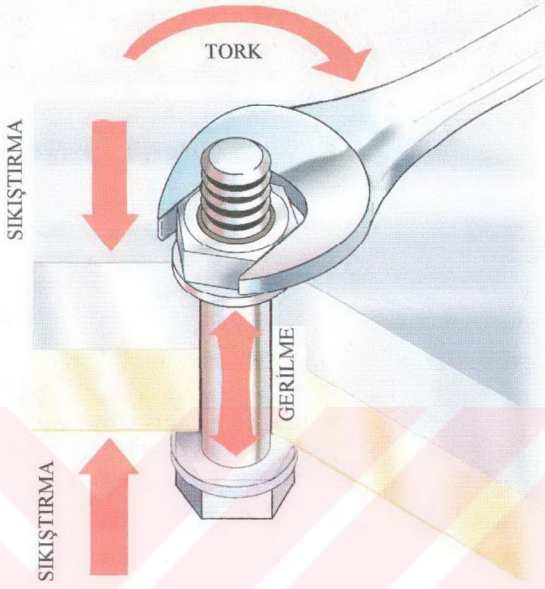
Element Sembolu ve Adı	Yüzde (%)	Element Sembolu ve Adı	Yüzde (%)
Fe (Demir)	96,45	As (Arsenik)	0,17
C (Karbon)	0,423	B (Bor)	0,001
Si (Silisyum)	0,299	Co (Kobalt)	0,011
Mn (Mangan)	0,815	Cu (Bakır)	0,183
P (Fosfor)	0,0184	Nb (Niyobyum)	0,009
S (Kükürt)	0,0154	Pb (Kurşun)	0,0046
Cr (Krom)	1,11	Sn (Kalay)	0,023
Mo (Molibden)	0,204	Ti (Titanyum)	0
Ni (Nikel)	0,179	V (Vanadyum)	0,001
Al (Alüminyum)	0,017	W (Tungsten)	0

Kullanılan malzemenin sahip olduğu yüzey sertlik değeri (Brinel sertliği) 167HB ve 56,7 HRA' dır.



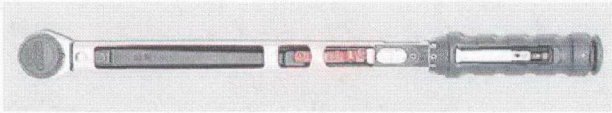
### IV. 3. 2. Bağlantı Elemanlarının Sıkılması

Birçok uygulamada cıvataların belli bir öngerilme ile sıkılması gerekir. Mekanizmalar, birer katı cisim olan uzuvların değişik şekillerde birbirlerine bağlanması ile oluşan mekanik sistemler olup, hareket ve kuvvet iletiminde kullanılırlar. Giriş uzvundan verilen bir hareket bilinen belirli bir dönüşüme uğrayarak, çıkış uzvundan istenilen değer ve şekilde alınır. İstenilen fonksiyonu gerçekleştirmesi için mekanizma uzuvlarının doğru boyutlandırılması gerekir. Bunun için uzuvlar arasındaki fonksiyonel bağıntılar tespit edilerek, matematiksel modeller veya bu modellere göre hazırlanmış programlardan faydalanılır. Dört çubuk mekanizmalarında giriş-çıkış konumları arasındaki ilişkiler Freudenstein [43] denklemi ile ifade edilir. Giriş uzvundan verilen bir hareketin, çıkış uzvundan alınan, belirlenen şekil ve miktarda doğrusal ve açısal yer değiştirme hareketlerinin tespiti için fonksiyon sentezi yapılır. Çıkış uzvunun hareketi genellikle bir fonksiyon  $[y=f(x)]$  şeklinde verilir. Bulunan fonksiyon çoğu kez bütün noktalardan geçmez. Bütün noktalardan geçen gerçek bir fonksiyon  $[(g(x)=f(x))]$  bulabilmek için  $e(x)=f(x)-(g(x))$  şeklinde bir hata fonksiyonu tanımlanır. Fonksiyon sentezinde belli bir aralıkta hata fonksiyonunun aldığı maksimum değer minimum yapılması hedeflenir. Verilen kurs boyu (s) ile bir salınım açısı ( $\phi$ ) elde etmek ve ayrıca bağlama açısının  $90^\circ$  'den sapmasını minimize etmek için Chebyshev teoreminden [42] faydalanılır.



Şekil IV. 23 Bağlantı Elemanlarının Sıkıştırılması

Birçok endüstriyel uygulamalarda tespit civatalarının ve somunlarının belli bir öngerilme ile sıkılması önemlidir. Özellikle insan kol-kuvveti ile sıkılması mümkün olmayan bu bağlantı elemanlarının belirlenen tork değerinde sıkılması için kullanılan torkmetrelerde hidrolik tahrik ağır makine sanayinde yaygın uygulama alanı bulmuştur [35, 36]. Bazı uygulamalarda (damperli kamyonlar, robot kolları gibi) küçük bir piston hareketinden büyük bir salınım hareketi alınmak istenir. Bu salınım hareketinin basit bir kol-kızak mekanizması ile sağlanması mümkün değildir.



Şekil IV. 24 Torkmetre

Bir mekanizmanın performansı, giriş uzvundan çıkış uzvuna hareketin iyi bir

şekilde iletimi ile ölçülür. Bu, iyi çalışan bir mekanizmada sabit bir tork girişi için, mümkün olan maksimum tork çıkışı elde etmek demektir. [38]

Kullanılan dinamometrede de kullanım kitapçığında önerilen birimler dikkat edilerek bağlantı parçaları torkmetre ile sıklıdır. Torkmetrelerde aranılan özellikler yüksek ayar hassasiyeti, ayarlanan değerden maksimum sapma oranının düşük olması ( $\pm\%3$  gibi), ayarlanan değer sabit kalmasını sağlayan emniyet sistemi bulunması, paslanmaya karşı dayanıklı gövde, çok uzun kullanma ömrü ve hassas ölçüm sağlayan mekanizmaların bulunması olarak sayılabilir.

### IV. 3. 3. Kesici Takımın Seçilmesi

Metalik malzemelerde olduğu gibi, plastik malzemelerin de şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan kesici takımlarda en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, gerekli kalite beklentilerine en uygun şekilde gerçekleştirilmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için ise işlenecek plastik malzemenin özelliklerine ve kesme hızına bağlı olarak, kesici takım malzemesi doğru seçilmelidir. Kesici takım malzemeleri kısaca üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı malzemeler. Aynı zamanda bu sıralama kesici takım malzemelerinin tarihsel gelişimini de göstermektedir. Metal esaslı takımlar, maliyeti düşük fakat daha düşük sıcaklıklarda ve hızlarda kullanılmaktadır. Karbür esaslı takımlar, yüksek kızıl sertlikleri ve yüksek kesme hızları ile karakterize edilmektedir. Seramik malzemeler ise tokluk dezavantajlarına ve maliyetlerine karşın yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları sayesinde iş parçası ile takım malzemesi arasındaki etkileşimi minimize etmektedir.

Takım seçerken, takım ömrüne etki eden birçok etken vardır:

1. Prosesin doğruluğu
2. Malzemeye göre uygun takım seçilmesi
3. Doğru oranda soğutma suyu veya yağı kullanmak (Suyun debisi , basıncı , Yağ oranı gibi)
4. CNC tezgahının seçimi (Tezgahın gücü , maksimum devri ve rijitliği)
5. CNC tezgahında kullanılan fikstürün parçayı rijit sıkması (doğru sıkması)
6. Takımın malzemeye göre kaplamalı olması (kaplama cinsi, kaplama kalınlığı)

7. Takımın kesme açıları (Takımın talaş uzaklaştırma olayı , aynı zamanda ısıyı uzaklaştırma olayı da önemlidir)
8. Takıma verilen devir ve ilerleme, kesme hızı
9. Takıma kullanılan tutucu (Shrink ve hidrolik tutucular iyi sonuçlar vermektedir.)
10. Ölçü alınırken yapılan dikkatsizlikler (PCD takımlarda kumpasla ölçü almak bile takıma zarar verebilmektedir.)

Yapılan çalışmada devir sayısı 1500 dev/min'i aşmadığından silindirik saplı sağ helis, sağ kesici, DIN 844 Norm'unda HSS kalitesinde 10 mm çapında parmak freze kullanılmıştır.



Şekil IV.25. Deneysel Çalışmada Kullanılan Parmak Freze

### IV. 3. 4. Kesme Kuvvetinin Ölçülmesi

Talaşlı üretimde parça yüzeylerinin freze tezgahlarında işlenmesi, önemli bir yere sahiptir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takımlardan helisel kesme kenarlı parmak freze çakıları genellikle kanalların açılmasında ve cep işleme gibi operasyonların yanı sıra yüzeylerin son paso işlemlerinde de çokça kullanılan kesici takımlardır. Özellikle hassas ve karmaşık kalıp boşluklarının imalatında ve aerodinamik özellikteki yüzeylerin işlenmelerinde küresel uçlu parmak frezeler kullanılmaktadır. Bu tip kesici takımların kaba talaş işleme durumları karşısında; takımın kırılması, kesme kenarlarının aşırı yüklenme neticesinde aşınması işlenen yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü olumsuz yönde etkiler. Bu tip etkilerin en aza indirgenmesi, optimum işleme şartlarının sağlanabilmesi ve işlenebilirlik diye tarif edilen istenen ölçü ve yüzey kalitesini elde etmek suretiyle, en az süre, minimum maliyet ve en fazla hacimle talaş kaldırma kabiliyetlerinin iyileştirilmesi kesme kuvvetlerinin işleme öncesinde iyi tahmin edilmesine bağlıdır.

Bu çalışmada, frezeleme operasyonları için parmak freze çakısı ile talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, kesici takım ve iş parçasına etkisi gösterilmiştir. Frezeleme işlemleriyle ilgili şu ana kadar önemli araştırmalar yapılmıştır. Fakat parmak frezeler yüzeylerin işlenmesi neticesinde meydana gelen kuvvetlerin kartezyen koordinatlarda üç bileşeninin elde edilmesine yönelik çok fazla çalışma yoktur. Özellikle küresel uçlu parmak frezeler üzerinde çok az çalışma yapılmıştır.

Frezeleme işlemi esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin (x), (y) ve (z) yönlerindeki bileşenlerinin belirlenmesinde kullanılan deney setinin fotoğrafı Şekil IV.25'de görülmektedir. Kuvvet ölçümleri için deney setini oluşturan elemanlar sırasıyla; (x), (y) ve (z) yönlerinde  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  kuvvetlerini ölçen kuvvet sensörü, kuvvet sensöründen (x), (y) ve (z) yönlerinde gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendiren amplifikatör, PC bilgisayara adapte edilmiş analog bilgileri dijitale çeviren (A/D) veri toplama kartından meydana gelmektedir.



Şekil IV. 26 Deney Setinin Fotoğrafi

### IV. 3. 5. Sıcaklığın Ölçülmesi

Bu çalışmada Omega firmasının OS532 model numaralı infrared sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın görüş açısı, malzeme ile takımı kapsayacak biçimde lazerle ayarlanıp sabitlenmiş, toplanan anlık değerler RS232 tipi kablo vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil IV. 27 Malzeme İşlenirken Yapılan Sıcaklık Ölçümü

### IV. 3. 6. Titreşimin Ölçülmesi

Titreşimi ölçen Schenck Vibro firmasının üretimi olan VibroTest60, el tipi titreşim ölçüm ve analiz cihazı kullanılmıştır. Deney sırasında titreşim birimlerinden ivme için kullanılan SI birimi  $m/s^2$  düşey ekseninde, Hz olarak frekans da yatay ekseninde alınmıştır. Cihazın bir özelliği olarak ortam ve tezgahın titreşimleri deneye başlanmadan önce ölçülmüş ve bu değerlerin deney datalarında yer almaması için ölçüm aralığı ayarlanmıştır.



Şekil IV. 28 Dinamometreye Tutturulmuş İvme Sensörü ile Titreşimin Ölçülmesi

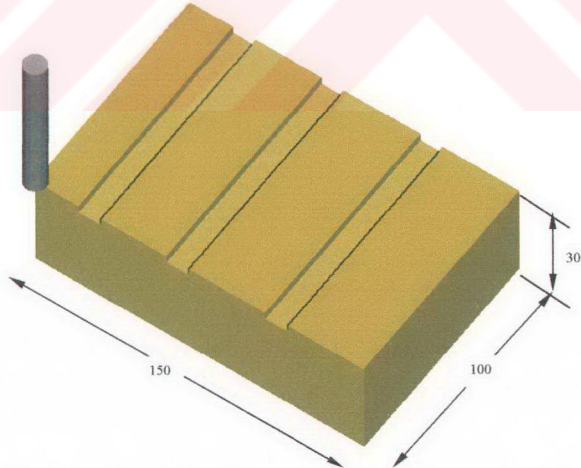
# BÖLÜM V

## SONUÇLAR

### V. 1. DENEY SONUÇLARI

#### V. 1. 1. Ölçülen Kuvvet, Sıcaklık ve Titreşim Değerleri

Deneilerde, CNC freze tezgahında, döküm poliamid ve MKE normlarına uygun Ç1040 çeliğine iki tür frezeleme işlemi uygulanmıştır. Seçilen 10 mm çaplı parmak freze takımı ile kesme parametrelerinin etkilerini daha iyi anlayabilmek için kesiciye doğrusal ve dairesel takım yollarında ilerlemeler verilmiştir.

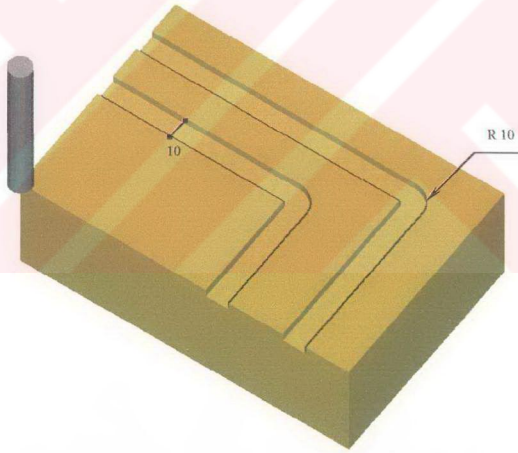


Şekil V.1. Poliamid'de 2 mm derinliğinde 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme hızlarıyla frezeleme işlemi yapılması

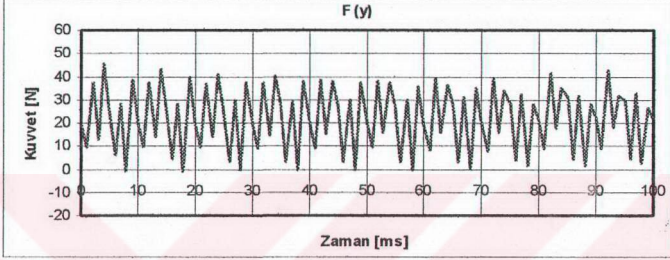
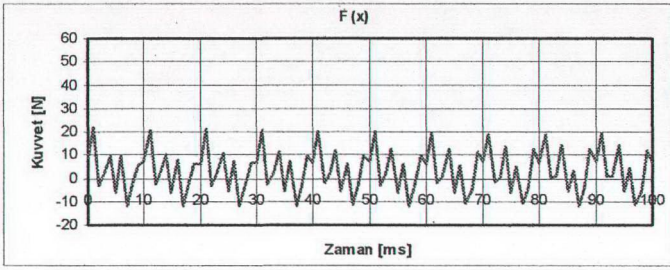
İlk işlemden Şekil V.1' deki gibi hem poliamid, hem de metal malzemede boydan boya; 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme, 1000 dev/min' lik devir sayısı, 2 mm'lik talaş derinliğinde, HSS çapı 10 mm olan parmak freze ile kanal açılmıştır.

Bu işlemlerin her birinde; kesme esnasında iş parçasına gelen kesme kuvvetleri (x, y ve z eksenlerindeki), titreşim değerleri, sıcaklık değişimleri ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri grafik ve sayısal olarak belirlenmiştir.

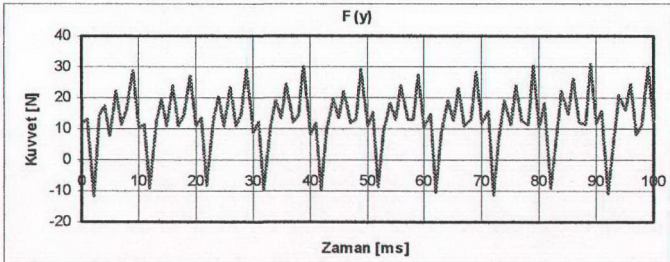
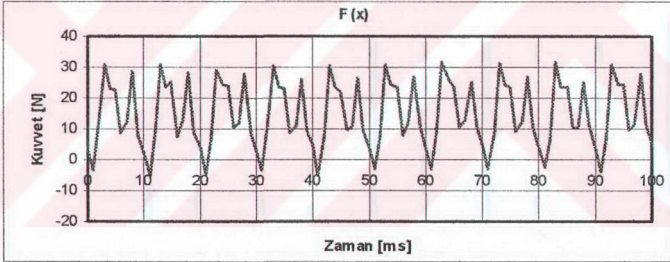
Daha sonra Şekil V.2' deki gibi hem poliamid, hem de metal malzemede dikey eksen yönünde frezeleme parçanın ortasına kadar devam ettikten sonra, saat yönünün tersinde 10 mm yarıçapında radius (yuvarlatma) yapılıp, yatay ekseninde işleme devam edilmiştir. HSS 10 mm' lik parmak freze ile 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme, 1000 dev/min' lik devir sayısı, 2 mm'lik talaş derinliği ile frezeleme yapılmıştır. Kesme esnasında iş parçasına gelen kesme kuvvetleri (x, y ve z eksenlerindeki), titreşim değerleri, sıcaklık değişimleri ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri grafik ve sayısal olarak belirlenmiştir.



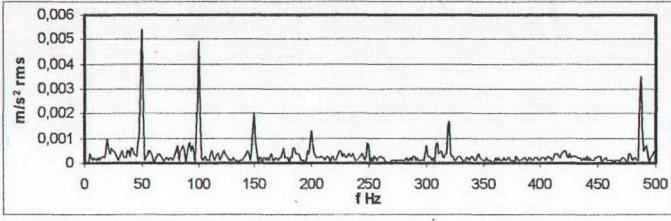
Şekil V.2. Poliamid'de 2 mm derinliğinde 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme hızlarıyla radius'lü frezeleme işlemi yapılması



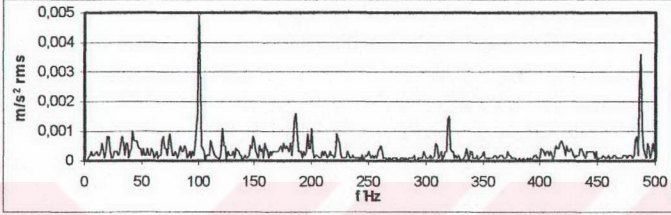
Şekil V. 3. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



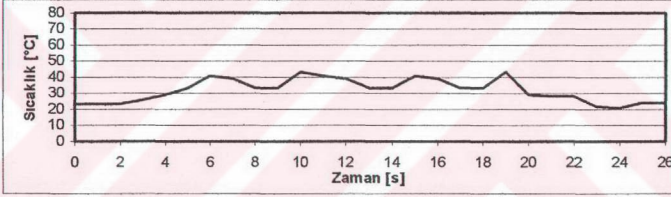
Şekil V. 4. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  m/min, $d:2$ mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



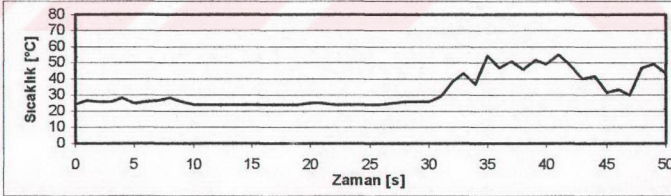
Şekil V. 5. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



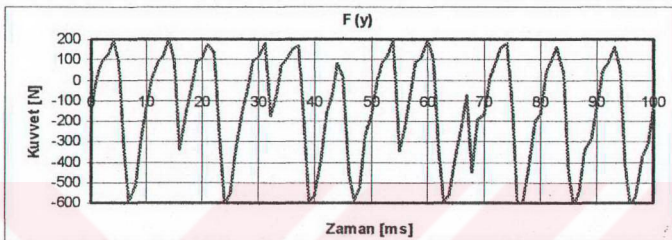
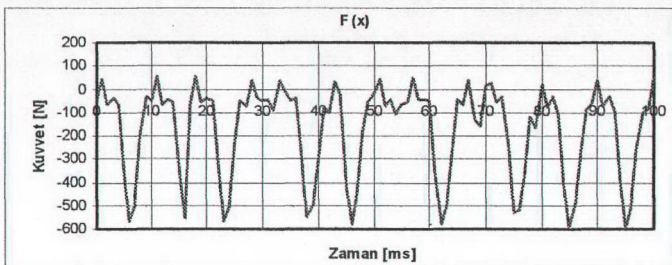
Şekil V. 6. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm titreşim grafiği



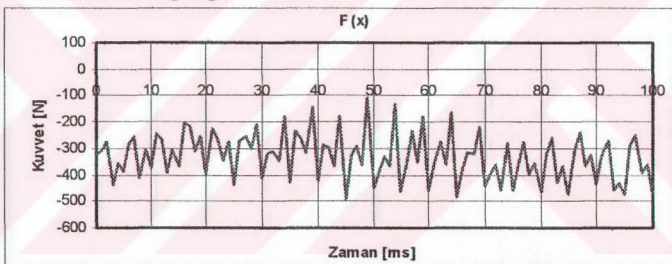
Şekil V. 7. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



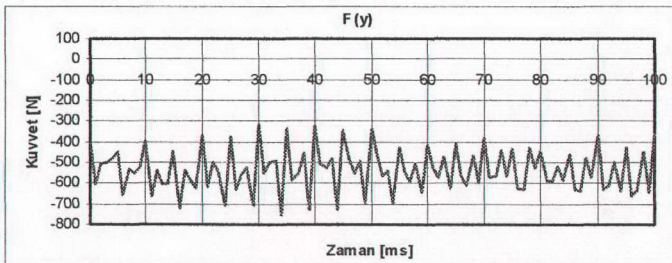
Şekil V. 8. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm sıcaklık grafiği



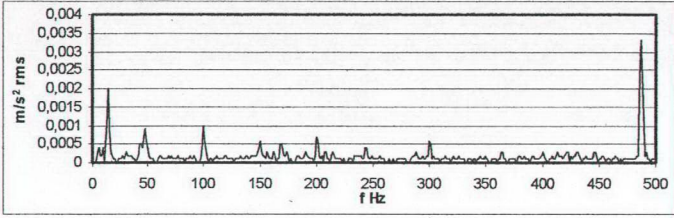
Şekil V. 9. C1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



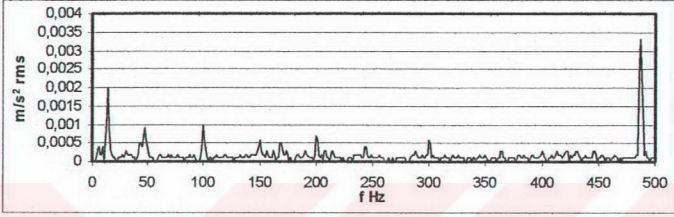
Şekil V. 10. C1040 Çeliğinin  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$ mm X eksenindeki kuvvet grafiği



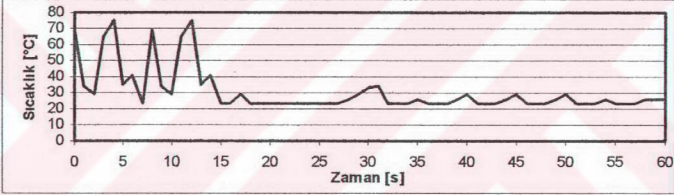
Şekil V. 11. C1040 Çeliğinin  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$ mm Y eksenindeki kuvvet grafiği



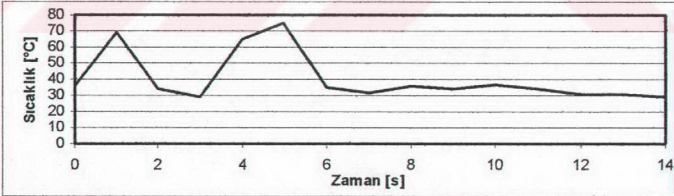
Şekil V. 12. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min,d:2 mm titreşim grafiği



Şekil V. 13. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min, d:2mm titreşim grafiği



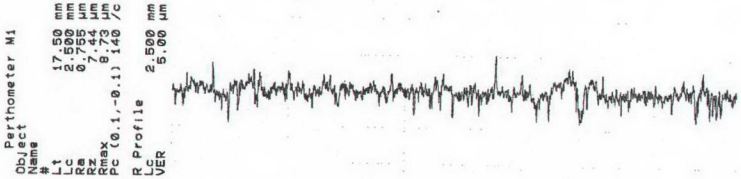
Şekil V. 14. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min,d:2 mm sıcaklık grafiği



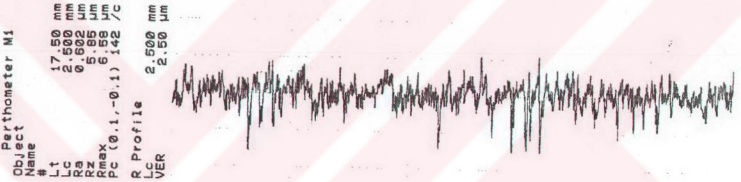
Şekil V. 15. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min,f:150 mm/min ,d:2mm sıcaklık grafiği

## V. 1. 2. Ölçülen Yüzey Pürüzlülük Değerleri

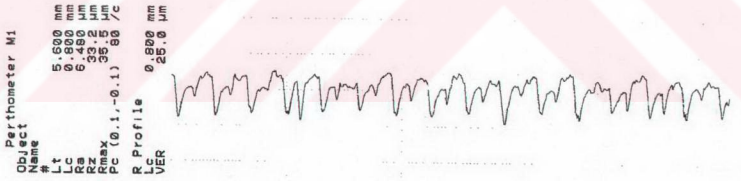
1000 dev/min devir sayısı, 2 mm'lik talaş derinliği, 100, 150 ve 200 mm/min'lik ilerleme verilerek poliamid ve Ç1040 çeliğinin frezeleme işlemi öncesi ve sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri aşağıda verilmiştir.



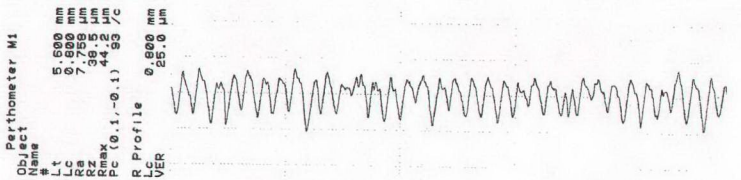
Şekil V.16.Frezeleme işlemi öncesinde poliamid malzemenin yüzey pürüzlülük grafiği (Y ekseninde)



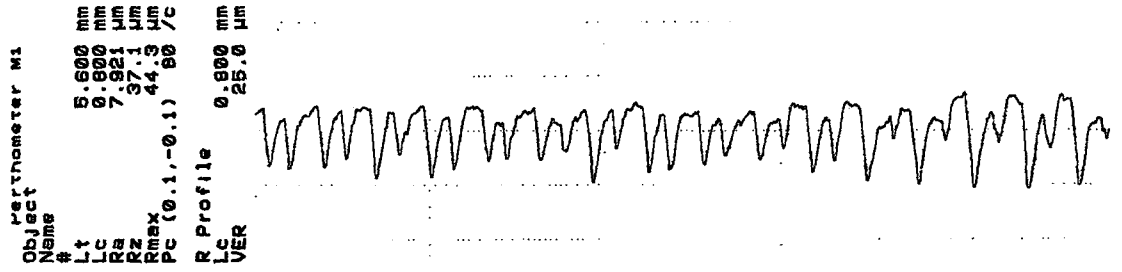
Şekil V.17.Frezeleme işlemi öncesinde poliamid malzemenin yüzey pürüzlülük grafiği (X ekseninde)



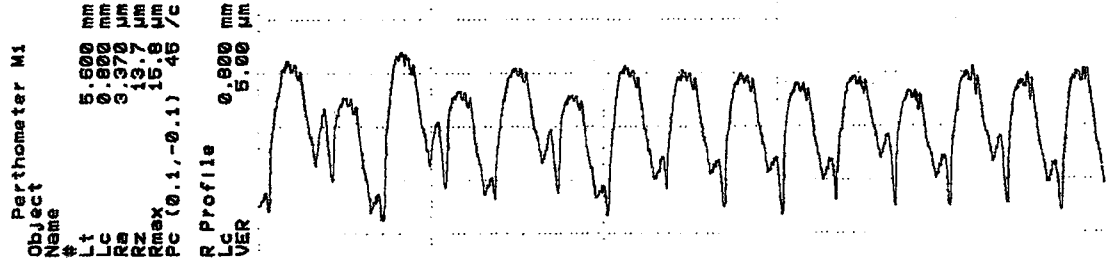
Şekil V. 18. Poliamid n:1000 dev/min,f:100 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü frezeleme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük grafiği



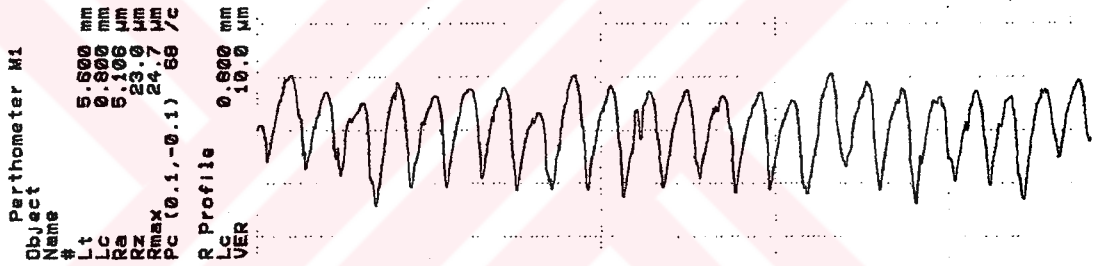
Şekil V. 19. Poliamid n:1000 dev/min,f:150 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü frezeleme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil V. 20. Poliamid n:1000 dev/min,f:200 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü frezeleme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil V. 21. Frezeleme işlemi öncesinde Ç1040 çeliğinin yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil V. 22. Ç1040 çeliğinin n:1000 dev/min,f:100 mm/min,d:2mm r:10mm radius'lü frezeleme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük grafiği

1000 dev/min devir sayısı, 2 mm'lik talaş derinliği; 100, 150 ve 200 mm/min 'lık ilerleme verilerek poliamid'in ve Ç1040 çeliğinin frezeleme işlemi sonrası elde edilen kuvvet, titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri Tablo V.1, Tablo V.2, Tablo V.3, Tablo V.4' de verilmiştir.

**Tablo V.1. Poliamid malzemenin 100, 150 ve 200 mm/min 'lık ilerleme verilerek elde edilen kuvvet, titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri**

f [mm]	$F_{x \max}$ [N]	$F_{y \max}$ [N]	$F_{z \max}$ [N]	$A_{\text{ort}}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_{\max}$ [°C]	Ra [ $\mu$ m]
100	-38	-14,6	-6,8	0,000914	43	6,480
150	21,5	45,4	8,3	0,000324	43	7,758
200	26,9	19	5,8	0,001351	43	7,921

**Tablo V.2. Poliamid malzemenin r:10mm radius'lü 100, 150 ve 200 mm/min'lık ilerleme verilerek elde edilen kuvvet, titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri**

f [mm]	$F_{x \max}$ [N]	$F_{y \max}$ [N]	$F_{z \max}$ [N]	$a_{\text{ort}}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_{\max}$ [°C]	Ra [ $\mu$ m]
100	31,7	34,1	10,7	0,000416	71	6,480
150	31,7	30,8	14,6	0,000301	55	7,758
200	16,1	88,3	19	0,0004	50	7,921

**Tablo V.3. Ç1040 çeliğinin 100, 150 ve 200 mm/min 'lık ilerleme verilerek elde edilen kuvvet, titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri**

f [mm]	$F_{x \max}$ [N]	$F_{y \max}$ [N]	$F_{z \max}$ [N]	$a_{\text{ort}}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_{\max}$ [°C]	Ra [ $\mu$ m]
100	212,4	86,4	45,4	0,000158	43	5,106
150	56,6	199,7	108,8	0,000168	77	-----
200	601,5	482,9	77,6	0,001279	77	-----

**Tablo V.4. Ç1040 çeliğinin r:10mm radius'lü 100, 150 ve 200 mm/min'lık ilerleme verilerek elde edilen kuvvet, titreşim, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri**

f [mm]	$F_{x \max}$ [N]	$F_{y \max}$ [N]	$F_{z \max}$ [N]	$a_{\text{ort}}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_{\max}$ [°C]	Ra [ $\mu$ m]
100	305,6	87,9	121	0,000176	79	5,106
150	-108,4	-320,3	37,1	0,000168	79	-----
200	-89,4	-332,5	25,8	0,000168	89	-----

# BÖLÜM VI

## TARTIŞMA ve DEĞERLENDİRME

### VI. I. TARTIŞMA

Deneylelerdeki uygun hızların ve ilerlemelerin seçimi, programcının, gerekli pratik deneyim temeline sahip olduğu zaman, bir tecrübeye dayandırılabilir. Uzun yıllar ustalık yapmış olanlar çoğunlukla, içgüdüsel bir yetenekle, belirli bir talaş kaldırma görevinde doğru hızların ve ilerlemelerin farkında olurlar. Bunlar, herhangi bir teorik temelden mahrum olsalar da böyle sorunlarla ilgili olarak bir defa yetiştirilmiş olmalıdırlar. Fakat, bu yaklaşım CNC ile talaş kaldırmaya göre, geleneksel talaş kaldırma süreçlerinde belki daha uygun olabilir.

Optimum hızlar ve ilerlemelerin kullanılmasında asıl neden, yapılan işlemlerde operatörün eksiklikleri nedeniyle oluşabilecek talaş kaldırma özelliğinden dolayı, nümerik kontrollü talaş kaldırma için çok daha uygun olan, kullanılan takımların imalatçıları tarafından yayınlanan veya bu konuda yapılmış çalışmalara ve bunlar sonucunda elde edilen verilere başvurmaktır. Bununla beraber, yayınlanmış olan verilere başvurulduğunda, programcı, bunları ihtiyatla kullanmalıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar, gerçek şartlara göre daha isabetsiz şartlar altında kullanıldığı zaman bile uygun olurken, bir çok talaş kaldırma durumuna uygulandığı zaman bir dereceye kadar iyimser olarak görünebilir.

Tez çalışmasıyla da genelde sektörde deneme-yanılma yöntemiyle bulunan bulgular yerine, uygulamalar sonucunda elde edilen değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, asıl olan şudur ki, programcı, programları hazırlarken bir tezgahın yeteneklerini tam anlamıyla

değerlendirmelidir: Tezgahın güç kapasitesinin üstünde malzeme boşaltma miktarlarını yaratacak hızları ve ilerlemeleri seçmek ve programlamak anlamsızdır. Bunun tersi olarak, eldeki gücün çok altında kullanmak ta aynı derecede anlamsızdır. Eğer bir programcı, durumun gerektirdiği asıl bilgilerin eksikliğini duyarsa, o zaman, tezgahla ilgili pratik deneyime sahip kimselerle ilişkiye girmesinden önce literatürde bu konuyla ilgili çalışmaları araştırmak bir öncelik olmalıdır.

## VI. II. DEĞERLENDİRME

Yaygın olmayan talaş kaldırma durumları, özenle yaklaşılması gereken bir rijitlik kusuruna sahip olabilen ayarlamaları içerebilir ve programlanmış hızlar ve ilerlemeler başlangıçta en düşük seviyeye göre verilmiş olması gerekir. Bu hızların sonradan, gerçekten talaş kaldırmanın meydana geldiği tezgahta kazanılmış olan tecrübenin yanında, benzer malzeme ve takımlar yapılmış bilimsel çalışmaların da ön bilgisiyle arttırılabilmeleri her zaman için mümkündür.

İşlenebilirlikte ayrıca, yüzey son pasosuna ilişkin gereksinimler ve verilen toleranslar hakkında özel bir dikkat harcanmalıdır. Bu tür işlemlerde, iyi bir son paso elde etmek hedeflenir, ama bu çalışmadaki değerlere de bakıldığında gereksiz bir yüksek yüzey kalitesi elde etmek için malzeme boşaltma miktarını azaltmanın zaman ve para kaybı olacağı da mutlaka hatırlanmalıdır. Hatırlanması gereken bir sonraki husus şudur ki, bir tasarımcı, özel olarak, teknik resimdeki bilginin içeriği olan ve işin gereği aslında bu olduğu için "kaba" bir son pasoya gerek duyabilir. Programcı, talaş kaldırma işlemlerinin neler gerektirdiğini tam manasıyla değerlendirmek için, tezgah operatörünün sağduyulu olmasını da garanti etmek zorundadır.

Yüzey bitirme pasosu, kesme takımı şartlarından etkilenir. Takım performansı, takımın ilk kullanıldığı andan itibaren düşmeye başlar ve sonunda, son pasoya hiç olumlu etkisi olamayacak hale gelir. Fakat, boyutsal özellikler içinde geçici olabilen, kabul edilemez bir titreşim, işin deformasyonu ve sonunda takımın tamamen bozulması gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde uygun olmayan bir seçim, bu süreci hızlandırabilir, öyle ki, bu hususta kararlar alınırken, takım ömrü üzerinde iyice düşünülmüş olmalıdır.

Bir takım ömrünün sonuna erişildiğinde, bunu bilmek yararlı olacaktır. Örneğin, toplam bozukluklar vuku bulmadan önce değiştirme gerçekleştirilecektir.

Çok karmaşık CNC tezgahlar veya talaş kaldırma düzeneklerine uygulanan otomatik takım şartlarını hissedilen donanımlar, bu cevabı verebilir. Bu arada, parça programcısı, aynı zamanda mümkün olan en az sürede, talaş kaldırma temel amacına erişmek için, kabul edilebilir bir takım ömrü vermek için, hangi hızları ve ilerlemeleri kullanacağına karar verirken literatüre başvurulabilir.

Yapılan işlenebilirlikle ilgili deneyde yukarıdaki ilerleme miktarının belirlenmesi ile ilgili hususlara önemle uyulmuş, verilerin tezgah mili dönme sayılarını kontrolü için de iki yöntemden kullanılarak ifade edilebilmektedir. Bunların her ikisinde de sayısal bir değer vardır ve biri "sabit bir kesme hızı"nı, diğeri de "tezgâh mili hızı" nı ifade eder.

Kesme hızı, takım ömrü, yüzey düzgünlüğü ve talaş kaldırma gücü ihtiyacı veya tezgah gücü tüketimi gibi faktörlerle birlikte aynı zamanda, eşdeğer derecede tatmin edici ve bu şartlar altında, en yüksek malzeme boşaltma miktarlarının elde edilmesini sağlayan değerleri vermelidir.

Parça kesme işleminde, iş parçasının yüksekliği, metal malzeme ve poliamid işlenirken, sürekli düşmektedir. Bunun için, eğer bu olaya paralel olarak iş mili dönme sayısı değişen oranda arttırılırsa, sadece bu durumda talaş kaldırma verimliliği korunabilir. Belirli bir iş malzemesi için, talaş kaldırmada kesmenin çok verimli kalmasını sağlayan bu düzgün değişen artış, sabit yüzey kesme hızı programlama kolaylığı sayesinde kendiliğinden yani otomatik olarak başlar.

Sabit kesme hızı programlama kolaylığının değerini açıklamak için uygun bir örnek, parça kesme sürecidir. Bununla beraber, böyle bir kolaylığın kullanıldığı bir süreç, mutlak manada kritik bir işlem değildir.

Yapılan çalışmada da kesme hızını etkileyen etmenlerden olan malzeme cinsi, kesici takım cinsi, soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmadığı ve tezgahın gücü dikkate alınıp, bunlar doğrultusunda hem poliamid'in, hem de Ç1040 çeliğinin işlenebildiği değerlerde kuvvet, titreşim ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, kesme esnasında iş parçasına gelen kesme kuvvetleri (x, y ve z eksenlerindeki), titreşim değerleri, sıcaklık değişimleri ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri grafik ve sayısal olarak belirlenmiştir. Buna göre kesme işlemine başlamadan önce kuvvetlerin her üç yönde de 0'a yakın, sıcaklığın 25-29 °C arasında olduğu gözlenmiştir. Poliamid malzeme kullanılıp, doğrusal takım yolunda işleme yapıldığında, titreşim grafiğinde yaklaşık 100 ve 500 Hz değerlerindeki

sıçramalar, tezgahın servo motorunun titreşimini göstermektedir ve tüm grafiklerde bu değerlerin görülmesi istediğinden bir filtreleme işlemi uygulanmamıştır.

#### *Poliamid'in Doğrusal Takım Yolunda İşlenmesi Sonucundaki Değerlendirmeler*

Doğrusal takım yolunda, Poliamid malzeme kullanıldığında, Ekler Bölümü'nde, Şekil B.1, Şekil B.7, Şekil B.9'da, ilerlemenin 100 mm/min olarak verilmesi sonrasında meydana gelen kuvvetlerin orantılı bir şekilde artıp, azaldığı, sıcaklığın da 40 °C'yi aştığı görülmektedir. Titreşim grafiğinde de malzemeye girilen nokta rahatlıkla değerlerin artışından anlaşılmaktadır. Şekil B.11, Şekil B.13, Şekil B.15, Şekil B.17, Şekil B.19 ve Şekil B.21'de x ve y eksenlerindeki kuvvetler, “-“ den “+” ya dönmüştür. “-“ değerlerin görülme nedeni, dinamometrenin tezgaha bağlantı yönüyle ilgilidir. Sıcaklık 50 °C' yi aşmamıştır.

#### *Poliamid'in 10 mm Radyüslü Dairesel Takım Yolunda İşlenmesi Sonucundaki Değerlendirmeler*

Şekil B.2, poliamid malzemenin dairesel takım yolunda, 10 mm radyüslü bir kısma gelmeden önceki ve bu kısmı geçtikten sonraki değerlerini kapsamaktadır. Burada en dikkati çeken sıcaklık grafiğindeki artış miktarıdır. Radyüs öncesine kadar 45°C olan sıcaklık, bu kısım geçildikten sonra önünde talaş birikmesi nedeniyle daha da artmış, 90°C'ye kadar çıkmıştır. Şekil B.16 ve Şekil B.22'deki sıcaklık grafiğinde ise maksimum 50°C'ye ulaşılmıştır. Buradan da anlaşıldığı gibi ilerleme miktarının artması talaşın takıma sarmasını engellemiştir. Kuvvet grafiklerinde ise radyüslü kısım sonrası ilerleme yönü değiştiğinden, gidilen yeni eksen doğrultusunda kuvvet artmıştır. Titreşimlerde ise hemen hemen aynı değerler çıkmış, motorun titreşimi dışında sadece parçaya giriş ve çıkışlarda titreşim artmıştır.

#### *Ç1040 Çeliğinin Doğrusal Takım Yolunda İşlenmesi Sonucundaki Değerlendirmeler*

Ç1040 çeliği ile doğrusal takım yolunda ölçümler yapıldığında Şekil B.23, Şekil B.29, Şekil B.31'de olduğu gibi sıcaklık 45°C'ye yaklaşmıştır. Z yönünde herhangi bir kuvvet uygulanmayışı nedeniyle değerler 0 civarlarındadır. Şekil B.33 ve Şekil B.39'da ise ilerlemeler arası 50 mm/min artırılmıştır.

## *Ç1040 Çeliğinin 10 mm Radyüslü Dairesel Takım Yolunda İşlenmesi Sonucundaki Değerlendirmeler*

Dairesel takım yolunda, radyüslü talaş kaldırma işleminin Ç1040 çeliği ile denemesi sonrasında Şekil B.24, Şekil B.34 ve Şekil B.40'da birbirine yakın değerler sadece 150 ve 200 mm/min'lik ilerlemelerin kuvvet grafiklerinde çıkmıştır. Sıcaklıklarda ise 80 °C'nin aşıldığı görülmektedir. Kuvvetlerin fazla değişken olması, malzemenin içinde barındırdığı birçok elementten kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak titreşim grafiklerinde de malzemeye giriş kısmında, 0-100 Hz arasında titreşim artmıştır.

İki malzemenin yüzey pürüzlülükleri ayrı ayrı incelendiğinde, deney öncesi poliamid'in pürüzlülük değeri, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla (aritmetik ortalama mantığıyla) 0,7 µm bulunmuş ve bu da pürüzlülük sınıf numarası olarak N6'ya karşılık gelmektedir. Frezeleme işlemi sonrasında bu değer N9 – N10 olarak saptanmıştır. Ç1040 çeliğinde ise bu değer N9 olarak çıkmıştır.

Deneysel sırasında her iki malzeme için de soğutma sıvısı kullanılmamış, işlemler aynı kesici takımla yapılmıştır.

Malzemede karşımıza çıkan en büyük zorluk, tezgah yavaş ilerlerken, oluşan talaşın, takıma sarmasıdır. Bu ilerleme miktarının veya devir sayısının artırılması veya özel olarak tasarlanmış sadece mühendislik plastiklerinin işlenmesinde kullanılan takımların kullanılmasıyla giderilebilmektedir.

Poliamid'in işlenebilirliğine etkisi olan bir etmen de CNC tezgahlarının mutlak ve yeniden konumlama hassasiyetidir. Yüksek seviyede ve sürekli hassasiyet mümkün olduğundan üretim kontrol maliyetleri düşmektedir. Tezgahın yapısı da dinamik ve işleme yüklerinde hassasiyetini devam ettirecek kadar sağlamdır. Yüksek CNC hassasiyetinin sağlanmasında önemli bir etken de tezgahın tüm eksenleri boyunca sağlanan tekrarlanabilir geometrik hassaslığıdır.

Nümerik kontrollerin dinamik performansı da hassaslık sapmalarına neden olabilir. 9 m/s<sup>2</sup> 'nin üzerindeki, yüksek ivme değerleri, tezgah ve elemanlarına dinamik deformasyonlar yapabilir. Bunu önlemek için tezgah ve denetleyici, çok iyi bir uyuma sahip olmalıdır. Ölçme sistemi, tesis metodu, kullanılan hareket motorlarının kalitesi ve tezgah tasarımının diğer elemanları, elde edilen son hassaslık

seviyesine etki ederler ve buna bağlı olarak de istenen parametreler sağlıklı bir şekilde elde edilir.

## VI. III. ÖNERİLER

CNC tezgahların girintili çıkıntılı, karmaşık profilleri işleyebilme yetenekleri, yüzey son paso işlemlerine ilişkin problemlere de katkıda bulunabilir. Böylece plastik malzemenin farklı geometriler uygulandığında, kuvvet, sıcaklık, pürüzlülük ve titreşim değerlerinin nasıl değiştiği gözlenebilir. Örneğin, konik ve radyal yüzeyleri işlemek için takımlar yön değiştirdiğinde, ilerleme değerlerinin hangisinin uygun olabileceği deneysel çalışmalarla bir veri tablosu olarak sunulabilir. Frezeleme işlemleri esnasında programlanmış hızlar ve ilerlemelerden yola çıkarak, zorlu son paso kısımlarını yerine getirerek, sonuçların elde edilmesinin söz konusu olduğu, karmaşık profiller işlendiği zaman, özellikle farklı ilerlemeler test edilmelidir.

Ayrıca birçok alanda kullanılan poliamid'in SEM altında da bir incelemesi yapılarak hem işlenebilirlik parametrelerinin artırılması sağlanmış, hem de iç yapısı araştırılmış olur.

## KAYNAKLAR

- [1] Yıldırım, K.; Aydın, N.; Çelikkilek, A.; Güçer, Ş. : “Kaliteli Yaşam İçin Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları“; *Kimya Teknolojileri*, 17 (2002) 25-35.
- [2] Mark, H.F., Geylord, N. G.: “Polymer Science”, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, U.S.A., 2, (1988) 332-357.
- [3] Kohan, M.I.:”Nylon Plastics Handbook”, *Verlag*, Munich (1995) 5-45.
- [4] Karaküçük, N.: "Geçmiş Bakış (Malzeme)", *Mühendis ve Makina*, 34 (2000) 3-5.
- [5] Yaşar H., “Plastikler Dünyası”, MMO Yayınları, İstanbul, Türkiye (2001) 5-30.
- [6] Savaşçı, Ö.; Uyanık, N.; Akovalı, G.: “Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi” *PAGEV Yayınları*, İstanbul, Türkiye (2002).
- [7] Domininghaus, H.: “Plastics for Engineers”, *Hanser Publisher*, Munich, (1993).
- [8] Chanda, M.; Roy, S.K.: “Plastics Technology Handbook”, *Marcel Dekker Inc.*, NewYork, (1987).
- [9] Yalçınkaya, S.; Balkı, E. :Modern Üretimde Sayısal Kontrollü (NC-CNC) Takım Tezgahları, Endüstriyel Üretimde Kullanımının Avantajları ve Çözüm Bekleyen Sorunlar” , *Makine Metal* 118 (2001).
- [10] Akkurt, M., “Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD - CAM) Sistemleri”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1996).
- [11] Dinçel, M.: “CNC Takım Tezgahları”, *Lisans Tezi*, Trakya Ü. Tekirdağ Ziraat Fak. Tekirdağ (1999).
- [12] Kurthacioğlu, M., “İmalatın Rasyonelleştirilmesi Esasları”, *Makine ve Metal Teknolojisi*, İstanbul, (1996).

- [13] Kalaycıoğlu, B.: "CNC Tezgahlarda Yüksek Hızda Talaşlı İmalat", *Mühendis ve Makine Dergisi*, 10, (2002).
- [14] Anon., : "Diognostics of Bearing and Gears", *Brüel and Kjaer*, Denmark, (1994).
- [15] Anon., : "Introduction to Vibration Analysis", *Brüel and Kjaer*, Denmark, (1993).
- [16] Rao, S., : "Mechanical Vibrations", *Addision-Wesley Publ. Co.*, USA, (1986).
- [17] Anon., : "Dynamic Test Handbook", *Endevco Corparation*, California, USA., (1998).
- [18] Mc Cormick, A.C., Nandi, A.K., : "Bispectral and Trispectral Features for Machine Condition Diagnosis", *IEEE Proceeding-Vis. Image Signal Process*, (1996).
- [19] Taşlıca, A.O.: "CNC Parça Pogramlama" , *M.E.B.*, Eskişehir, Türkiye, (1994), 53-111.
- [20] Gibbs, D.: "CNC Programming", *D.A.W.*, USA, (1987).
- [21] Akkurt, M.: "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1995).
- [22] Akkurt, M.: "Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC)", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1992).
- [23] Thyer, E. G.: "Computer Numerical Control of MACHine Tools", *Nawnes*, (1991).
- [24] Vickers, W. G.: "Numerically Controlled Machine Tools", *Ellis Harwood*, (1990).
- [25] Kief, B. H. : "Nc / CNC Handbuch", *Carl Hanser*, (1992).
- [26] Chang, C.; Melkanoff, A. M.: "NC MACHine Programming and Software Design", *Prentice-Hall*, (1989).
- [27] Edwards, R., "Cutting Materals, Cutting Tools", *The Institute of Materials*, (1993) 3-26.
- [28] Şen, Z.; Özçilingir, N.: "Teknik Resim", *Deha Yayınları*, (2002) 233-235.
- [29] B.T. Topluluğu: "Sensors-Transducers" , *G.Ü. Otomotiv, Bilim ve Teknoloji Topluluğu*, Ankara, (2002)

- [30] Lazoğlu, İ.: "Sculpture Surface Machining: a Generalized Model of Ball-End Milling Force System", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43 (2003) 453-462
- [31] Dawis, J. R., "Tool Materials", *ASM Specialty Handbook*, Ohio, (1995) 32-76, 85-99.
- [32] Avner, S. H., "Introduction to Physical Metallurgy", *Book Comp.*, New York, (1974) 472-477.
- [33] "Materials for Cutting Tools", *Metals Handbook, Machining*, Ohio, 3 (1968) 311-324.
- [34] Culp, N.J., Huffman, D.D. ve Henry, R.J., "Tools Materials" , *Metals Handbook, Desk Edition*, ASM, Ohio (1997) 1-18.
- [35] Enerpac, "Hydraulics Power Applications Examples", Switzerland, (1987).
- [36] Raymond Engineering Inc., "Wrench Systems", Middletown, USA, (1992).
- [37] Söylemez, E. ve Tönük, E., "Piston Tahrikli Büyük Salınım Mekanizmalarının Optimum Tasarımı", *4. Ulusal Mak. Teo. Sem.*, Yalova, İstanbul, (1990) 211-220.
- [38] Sağlam, H; Şaka, Z.; "Hidrolik Torkmetre Tasarımında Bağlama Açısının Optimizasyonu", *S.Ü. Tek. Bil. Mes. Yüksekokulu*, Konya (2002).
- [39] Trent, E.M., "Metal Cutting", London, (1977).
- [40] Schey, J.A., "Introduction to Manufacturing Processes", *McGraw-Hill Book Comp.*, New York, (1987) 472-477.
- [41] Özdemir, Ö.; İpek, M.; Zeytin, S.: "Kesici Takım Malzemeleri", *Sakarya Üniv., Teknik Eğt. Fkl.* (2000).
- [42] Shigley, J.E. and Uicker, J.J., "Theory of Machines and Mechanisms", *McGraw-Hill book Co.*, New York, (1980).
- [43] Freudenstein, F., "Approximate Synthesis of Four-Bar Linkages", *Trans. ASME*, 77 (1995) 853-861.
- [44] Herter, T. "Blackbody", *Cornell University*, U.S.A., (2002).
- [45] Ergün, M. ; "Nümerik Kontrollü Takım Tezgahları ve Programlama Prensipleri" *Makine Müh. Odası Yayınları*, İzmir, (1997).
- [46] Akkurt, M. : "Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli İmalat" *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1996).
- [47] Yıldız A.; Kılıç, A.: "CNC Freze" , *Lisans Tezi*, M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, Türkiye, (2000) 20-30.

- [48] "Structural Testing: Noise and Vibration", *Brüel Kjaer*, Naerum, Denmark (1998) 3-50.
- [49] Kima, K.; Kanga, M.; Kima, J.; Junga, Y.; Kimb, N.: "A Study on The Precision Machinability of Ball End Milling by Cutting Speed Optimization", *Journal of Materials Processing Technology* 130-131 (2002) 357-362
- [50] Özpideciler, G.: "Mühendislik Plastikleri" *Alhan-Çağrı Endüstri A. Ş.*, (2003)
- [51] "Teknik Plastikler ve Kompozitler", *Polikim Polimer ve Kimya San. A.Ş.*, (2002)
- [52] www.ozlon.com.tr (Erişim tarihi : Kasım 2002)
- [53] www.teknopolimer.com (Erişim tarihi : Eylül 2002)
- [54] Roha, J.; Kimb, J.; Park, S.; "Mechanical Properties and Reverse Osmosis Performance of Interfacially Polymerized Polyamide Thin Films", *Journal of Membrane Science*, 197 (2002) 199-211.
- [55] Guo, T.; Song, M.; Hao, J.; Zhang, B.: "Compatibility and Mechanical Properties of Polyamide-6/Polystyrene/Diblock Poly(Styrene-B-Ethylene Oxide) Copolymer Blends", *European Polymer Journal*, 37 (2001) 241-247.
- [56] Kim, J.; Park, S.; Taek, H.; Jeon, H.: "The Effect of Weld-Lines on The Morphology And Mechanical Properties of Amorphous Polyamide/Poly(Ethylene-Ran-Propylene) Blend With Various Amounts of an In Situ Compatibilizer", *Polymer*, 42 (2001) 2209-2221.
- [57] Lanza, R.; Melkotea, S.; Kotnisb, M.: "Machinability of Rapid Tooling Composite Board", *Journal of Materials Processing Technology*, 127 (2002) 242-245.
- [58] Demirer, H. O., "Poliamid Modifikasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1992).
- [59] Parlar, Z., "Poliamid Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Karakteristiğine Sıcaklığın Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002) 50-100.
- [60] Huang, H.X.; Liao, C.M. "HDPE/PA6 Blends: Parison Formation Behaviour in Extrusion Blow Molding", *Polymer Testing*, 20 (2002) 2-6.

- [61] Liu, X.; Huang, H.; Xie, Z.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Sun, K.; Min, L.: "EPDM/polyamide TPV Compatibilized by Chlorinated Polyethylene", *Polymer Testing*, 22 (2002) 9-16.
- [62] Pedroso, A.G.; Mei, L.H.I.; Agnelli, J.A.M.; Rosa, D.S.: "The Influence of The Drying Process Time on The Final Properties of Recycled Glass Fiber Reinforced Polyamide 6", *Polymer Testing*, 21 (2001) 229-232.
- [63] Arochaa, P.; Mehlerb, C.; Puskasc, E.; Altsta, V. : "Effect of Sample Thickness on The Mechanical Properties of Injectionmolded Polyamide-6 and Polyamide-6 Clay Nanocomposites", 44 *Polymer* (2003) 2241-2247.
- [64] Rheea,S.; WhitebCrystal, J.: "Crystal Structure, Morphology, Orientation, and Mechanical Properties of Biaxially Oriented Polyamide 6 Films", *Polymer* 43 (2002) 5903-5915.
- [65] Chapleau, N.; Favis, B.D.; Carreau, P.J.: "Measuring The Interfacial Tension of Polyamide/Polyethylene and Polycarbonate/Polypropylene Blends: Effect of Temperature", *Polymer* 41 (2000) 6695-6699.
- [66] Coldwell, H.; Woods, R.; Paul, M.; Koshy, P.; Dewes, R.; Aspinwall, D.: "Rapid Machining Of Hardened AISI H13 and D2 Moulds, Dies And Press Tools", *Journal of Materials Processing Technology* 135 (2003) 301-312.
- [67] Avila, F.; Duarte, M; "A Mechanical Analysis on Recycled PET/HDPE Composites", *Polymer Degradation and Stability* 80 (2003) 373-380.
- [68] Xiao, K.Q. ;Zhang, L.C.: "The Role of Viscous Deformation in The Machining of Polymers", *International Journal of Mechanical Sciences* 44 (2002)
- [69] Lanza, R.;Melkotea,S.;Kotnisb,M.: "Machinability of Rapid Tooling Composite Board", *Journal of Materials Processing Technology*, 127 (2002) 243-247.
- [70] King, D.; Tansey, T.: "Alternative Materials for Rapid Tooling", *Journal of Materials Processing Technology* 121 (2002) 313-318.
- [71] Garrella, M.; Shihb, A.; Mac, B.; Curziod, E.; Scattergoode, R.: "Mechanical Properties of Nylon Bonded Nd-Fe-B Permanent Magnets", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 257 (2003) 32-44.
- [72] Liu, T.; Liu, Z.; Ma, K.; Shen, L.; Zeng, K.; He C.: "Morphology, Thermal and Mechanical Behavior of Polyamide 6/Layered-Silicate Nanocomposites", *Composites Science and Technology* 63 (2003) 331-338.

- [73] Akkurt, S.: "Plastik Malzeme Teknolojisi", *İ.T.Ü. Makine, Malzeme ve İmalat Tek. A.B.D.*, İstanbul (1995).
- [74] Akkurt, S.: "Plastik Malzeme Bilgisi", *Birsen Yay*, İstanbul (1991).
- [75] Meister J. M.: "Polymer Modification", *Marcel Dekker Inc*, USA, (2000).
- [76] Taşdemir, M.: "Farklı Oranlardaki Birinci ve İkinci el Düşük Yoğunluklu Polietilen/Poliamid 6/ Etilen Vinil Asetat Polimer Alaşımının Mekanik Değerlerinin Karşılaştırılması", *Malzeme 2000 8. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Pamukkale, Türkiye, (2000).
- [77] Taşdemir, M.: "Poliamidlerin Genel Karakterizasyonu (Poliamid 6.6., Poliamid 6., Poliamid 11. Ve Poliamid 12.)", *Makine Teknolojisi*, (1996).
- [78] Palabıyık, İ.M.: "Poliamid 6(PA6) ve Yüksek Yoğunluklu Polietilenin (HDPE) Düzenleyici Katkılı ve Katkısız Karışımlarının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", *İTÜ Makine Mühendisliği*, (2000).
- [79] Erkorkmaz, K.; Altıntaş, Y.: "High Speed CNC System Design. Part I : Jerk Limited Trajectory Generation and Quintic Spline Interpolation", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 41 (2001) 1323-1345,.
- [80] [www.alhyde.com](http://www.alhyde.com) (Erişim tarihi : Mayıs 2003)
- [81] [plastics.bayer.de](http://plastics.bayer.de) (Erişim tarihi : Nisan 2003)
- [82] [plastics.dupont.com](http://plastics.dupont.com) (Erişim tarihi : Aralık 2002)
- [83] [www.honeywell.com](http://www.honeywell.com) (Erişim tarihi : Kasım 2002)
- [84] [www.modernplastics.com](http://www.modernplastics.com) (Erişim tarihi : Mayıs 2003)
- [85] [www.npg6.com](http://www.npg6.com) (Erişim tarihi : Mayıs 2003)
- [86] [www.quadrantplastics.com](http://www.quadrantplastics.com) (Erişim tarihi : Haziran 2003)
- [87] [www.shopforplastics.com](http://www.shopforplastics.com) (Erişim tarihi : Mayıs 2003)
- [88] [www.world-plastic.com](http://www.world-plastic.com) (Erişim tarihi : Mayıs 2003)
- [89] [www.campusplastics.com](http://www.campusplastics.com) (Erişim tarihi : Kasım 2002)
- [90] Fiziksel, Mekanik ve Isıl Standart Plastik Deneyleri ve İlgili Standartlar (TS90, TS1398, ISO1184, TS985, ISO178, TS1005, ISO180, TS1096, ISO604, TS1326, TS1181, ISO868, TS1323, TS1675, ISO1133, TS1066, TS1850, ISO1220, TS702, ISO62, TS1310)
- [91] Titreşimler ile İlgili Standartlar (TS3945, TS2782, ISO2372)

# **EKLER**



## **EK A. FİZİKSEL, MEKANİK VE ISIL STANDART PLASTİK DENEYLERİ VE TİTREŞİM STANDARTLARI**

Polimer malzemelerle ilgili standart deneyler, genellikle dinamik bir yapıdadır, yıllarca uygulanıp kullanıcılar tarafından benimsenmiş olsalar bile değiştirilmeye, geliştirilmeye ve eklemeler yapılmaya açıktır. Yaygın olarak kullanılan fiziksel ve mekanik plastik deney yöntemleri; değişik ülkelere ait ilgili standart, numaraları ile elde edilen deney sonuçları, bu bölümde açıklanmaktadır.

Plastikleri tanımlamada bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler kullanılır. Bunların belirlenmesi için çok sayıda standart deney vardır. Bu deneylerin yardımı ile üretici-işleyici ve kullanıcılar, bu malzemelerin özelliklerini ortak bir dille anlamakta ve aralarındaki ilişkileri düzenlemektedirler. Bu deneylerin hemen hepsi, ulusal ve uluslar arası deney standartları olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır. Bu standartların en yaygın olarak kullanılanları arasında, kısaltılmış şekilleri ile birlikte: Türk -TS-, Amerikan-ASTM-, Alman-DIN, İngiliz-BS- ve Uluslararası-ISO bulunmaktadır [90].

### **A. 1. BAZI MEKANİK DENEYLER VE STANDART DENEY YÖNTEMLERİ**

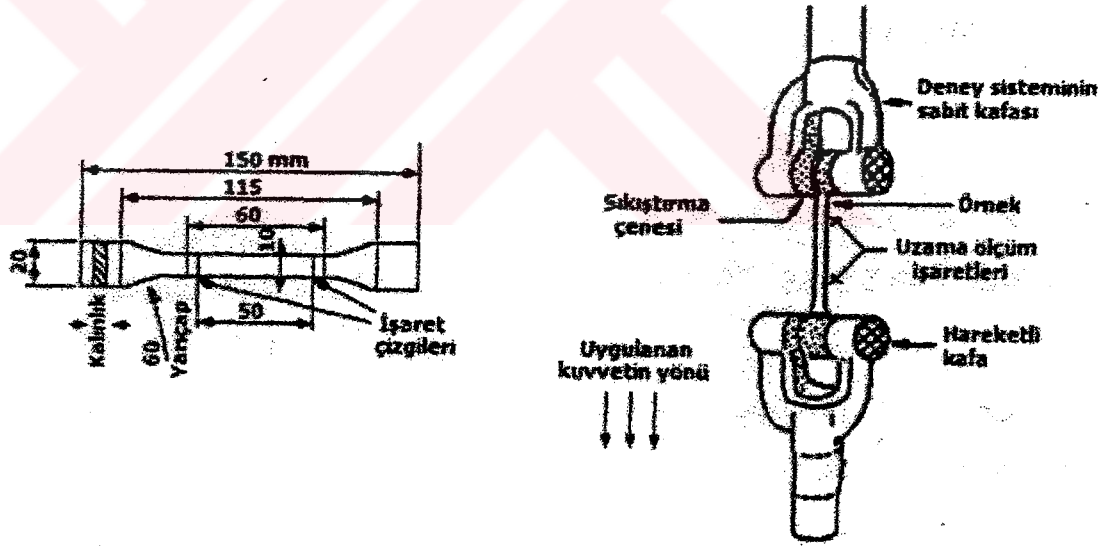
#### **A.1. 1. Gerilme (Çekme) Deneyi (Tensile Test)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS.90 ve 1398, ISO.1184, ASTM D638-84, BS.2782 (kısım 10.1003), DIN.53455.(TS.3860: takviyeli,TS.1972: köpük plastik)

**Örnekler :** Deney örnekleri genelde enjeksiyonla "doğrudan" veya "basınçla kalıplanan plakalardan" kesilip hazırlanır. Örneklerin şekil ve boyutları, kopma anında oldukça "yüksek" uzama gösteren ve göstermeyen plastik malzemeye bağlı

olarak iki farklı ölçüde; bunların dışındakiler için ise, (tip 1); Şekil de verilen genel ölçülerdedir (uzaması büyük olan malzemelerde daha kısa ve küçük boyutlu örnekler kullanılır). Ayrıca deney sisteminde kullanılacak çeneler de, örneğin uzama özelliklerine göre farklıdır. Örnekleri hazırlama yöntemi, TS 1148/1149/3780 ve 3861 (termoset için 1408)'da verilir ve TS 720 uyarınca örneklerde kondüsyonlama yapılır.

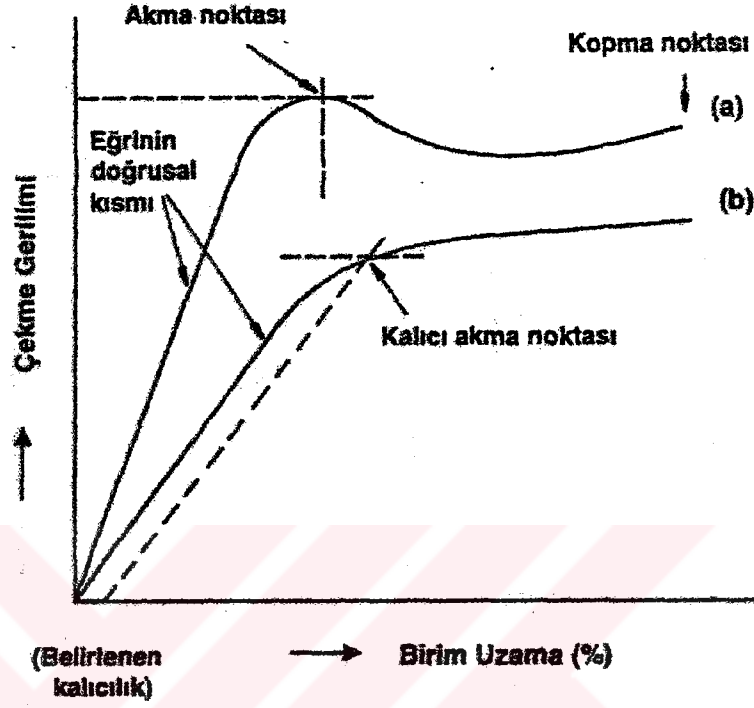
**Deney :** Örneğin iki ucu, standart deney sisteminde (tensile tester) çeneler arasına sıkıştırılır ve çeneler birbirinden, seçilen belirli, sabit, bir hızla uzaklaştırılırken örnek iki ucundan bu belirli hızla gerdirilir. Gerdirme hızları, denenen malzemenin türüne göre, (az uzayandan çok uzayana doğru anacak şekilde); 1, 5, 50, 100 ve 500 mm/dakika olarak seçilir, (TS.1398). Bu esnada, çekme gerilimi (veya çekmede gerilme miktarı: örneğin ilk kesitindeki birim alanına herhangi bir anda (kgf/cm<sup>2</sup> olarak) düşen yük miktarıdır, "stress" olarak da tanımlanır) uzama yüzdesi (yüzde uzama, "strain" olarak da tanımlanır) ile birlikte kayıt edilir (veya çekme hızları ve ilk uzunluk dikkate alınarak, denel veriler kullanılıp grafiğe geçirilir).



Şekil A.1. Gerilme (Çekme) Deneyi, Kullanılan Örnek ve Aletin Çenelerine Yerleştirilmesi

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Gerilme (çekme) deneyleri, plastik malzemenin mekanik dayanımını gösterir. Bu yolla örneğin iki ucundan kafalara tutturup (mümkün ise, kopma noktasına kadar) uzatmak için gerekli mekanik güç miktarları belirlenebilmekte, uzama miktarları ve uygulanan güç göz önünde bulundurularak esneklik ve/veya kırılabilirlik hakkında yargıya varılabilmektedir. Deneyde, elastik

yapıdaki plastiklerin fazla; sert ve kırılğan olanların ise az birim uzama miktarları olduğu dikkate alınmalıdır. Uzama miktarlarının darbe dayanımının bir göstergesi olduğu da bilinmektedir.



Şekil A.2. Gerilme (Çekme) Deneylerinden Elde Edilen Yük/Uzama Eğrileri

Birim uzamaya karşı çizilen gerilim eğrilerinin altında kalan alan "darbe dayanımı ile" orantılıdır. Bu alan ne kadar büyük ise, malzeme, mekanik açıdan o kadar darbe dayanımlı ve güçlü olmaktadır. Bu nedenle, kopma anında uygulanan mekanik güç miktarının (kopma dayanımı) yüksek olması şüphesiz istenilen bir özellik olmasına karşın; kopma anına kadar olan kısımda eğriler altında kalan alan (kopma anına kadar gerekli mekanik enerji ile orantılıdır), en az o kadar önemlidir ve bu değer de yüksek olması istenir. Örneğin, kopma anında uygulanan mekanik gerilim değeri yüksek olan bir plastik türünde; gerilim-uzama eğrilerinin kopmaya kadar olan kısmında eğrinin altında kalan alan küçükse, söz konusu malzeme kırılğan olacaktır. Şekilden görüldüğü gibi, gerilim/uzama eğrilerinde, ayrıca; yükte herhangi bir artış olmadan uzamanın olduğu ilk nokta olan "akma noktası" bulunmaktadır, (TS.1982). Çekme gerilmesi/uzama oranının sabit olduğu bölgede bu orana, "E : Esneklik (Young) modülü " adı verilir ve birim yine (kg/cm<sup>2</sup>) dir. Dolayısı ile çekme deneyinde, örneğin çekme gerilmesi-akma noktasındaki uzama-kopmada dayanılan

en yüksek gerilim ve modül değerleri saptanmaktadır. Her örnek için en az 5 deney yapıp ortalaması alınmalıdır.

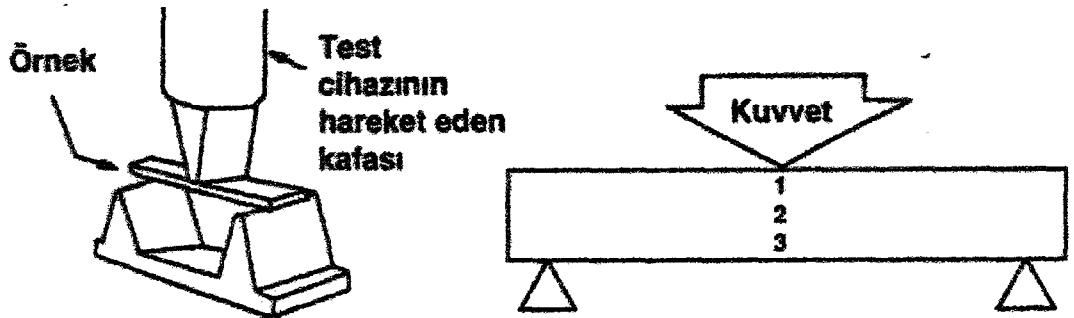
#### A.1.2. Esneme (Eğilme) Özellikleri Deneyi (Flexure Test)

**İlgili Temel Standartlar :** TS.985, ISO. 178, ASTM.D-790.84, BS.2782(kısım 3.335A), DIN.53452 (TS.1722: sert köpük; TS.3783: takviyeli plastikler)

**Örnek :** Örnekler, genellikle 80x10x4mm boyutlarında "çubuklar" halindedir. Genellikle enjeksiyonla kalıplanarak hazırlanırlar. Deneyde, daha ince (1.5 mm. kadar) plaka ve levhalar da en ve boyları, kalınlıklarına göre belirlenmek kaydı ile, kullanılabilir. Örneklerin standart yöntemle (TS.720) kondüsyonlanması gerekir.

**Deney :** Örnek, aralarında 100 mm. açıklık olan, iki destek ortasına yerleştirilir. Daha sonra örneğin ortasına, standart bir başlıkla ve belirli bir hızla; örnek kırılana kadar, yük uygulanır. Çubuğun kırılmasına neden olan güç, örneğin en yüksek esneme (eğilme) gücü olarak kayıt edilir. Eğer örnek kırılmıyor ise, %5 esnemede kaydedilen güç esneme (eğilme) gücü olarak kabul edilir.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Deney sırasında kullanılan örnekler, hem "gerilme" hem de "basma'ya maruz kalmaktadır (Altta ki şekilde sırasıyla 3 ve 1 noktalan). Termoplastiklerin çoğu bu deney sırasında kırılmaz ve -örnek dış yüzeyinin (3 no.lu nokta) %5 gerdirildiği an olan- %5 esnemedeki güç dikkate alınır. Her örnek için en az 5 deney yapıp ortalaması alınmalıdır.



Şekil A.3. Esneme (Eğilme) Özellikleri Deneyi Test Sistemi ve Çalışma Prensipleri

### **A.1.3. Izod Darbe Dayanımı Deneyi (Izod Impact Strength Test)**

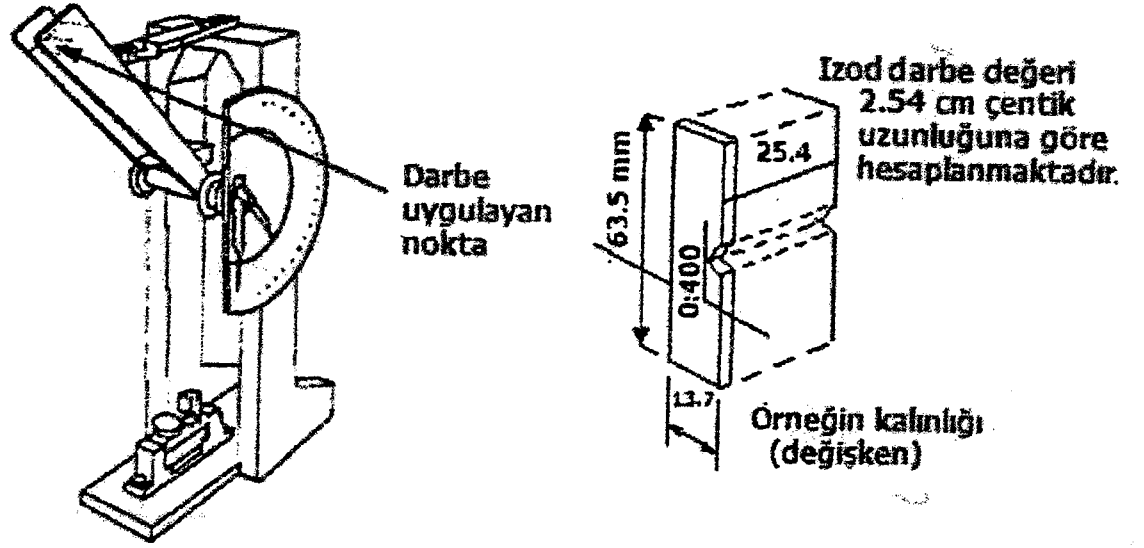
**İlgili Temel Standartlar :** TS. 1005, ISO. 180, ASTM.2782 (kısım.3,350), ASTM.D256, DIN.53447

**Örnek :** Şekil 'de verilen boyutlarda, genellikle enjeksiyonla hazırlanan örnekler kullanılır. Bazı hallerde 1.27 cm'ye kadar olan kalın örnekler kullanılırsa da, özellikle kalıplama amacı ile kullanılan plastikler için 0.32 cm kalınlık tercih edilmektedir. Örneğin ince yüzüne standart boyarda bir "çentik" ( standart aletler ve hızlar kullanılarak ) açılır. Çentik örneğin enjeksiyonla kalıplanması sırasında da açılabilir.

**Deney :** Örnek, çentiği kendisine çarpacak olan sarkaç koluna dönük olarak, sistemin alt kısmındaki yuvasına "dikine" yerleştirilip sıkıştırılır. Üst tarafta hareketsiz bekletilen sarkaç kolu serbest bırakılır. Sarkaç örneğe çarparak çentiğin olduğu yerden kırılmasına neden olur ve sarkaç, çarpmadan sonra malzemenin darbe dayanım değerine bağlı olarak -darbe yönünün ters tarafında- belirli bir yere kadar yükselir. Bu yükseklikten, malzemenin darbe dayanımı hesap edilir.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Bu deneyle, çentikli standart bir örneğin standart koşullarda kırılması için gerekli olan güç miktarı belirlenir.

Deney sonuçları, (kgf-cm/cm) veya (N-m/cm) cinsinden; çentik uzunluğu başına ifade edilir.



Şekil A.4. İzod Darbe Dayanımı Test Aleti ve Kullanılan Örnek

Şekilde görüldüğü gibi, çentik derinliği genellikle 2.54 cm.den küçük olsa da; sonuçlar 2.54 cm. çentik boyuna çevrilerek verilir.

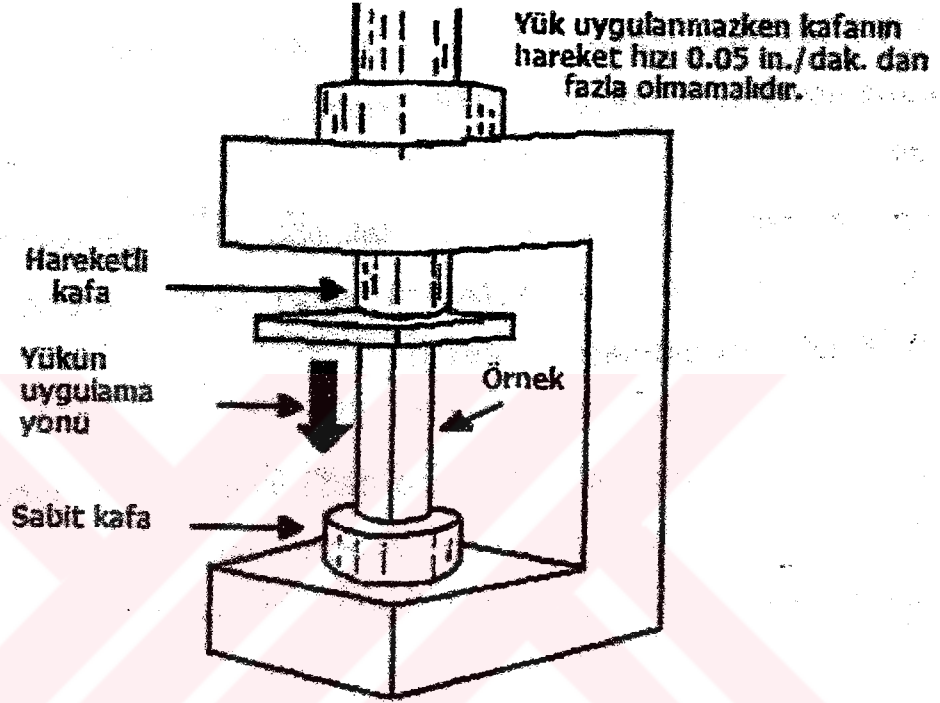
Bu deney, özellikle bir plastiğin farklı türlerinin birbiri ile kıyaslanmasında çok yararlıdır. Farklı plastiklerin kıyaslamasında ise (açılan çentik ve çentik etrafında oluşabilecek farklı gerilimler nedeni ile) çeşitli yanlış sonuçlar alınabilmektedir. Örneğin, naylon ve asetal türü plastikler çentik açma işleminden olumsuz olarak etkilenir ve aslında darbeye dayanımları yüksek malzemeler olmalarına karşın, düşük izod darbe dayanım sonuçları verebilirler.

#### A.1.4. Sert Plastiklerde Sıkıştırma (Basma) Deneyi (Compressive Properties of Rigid Plastics)

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1096, ISO.604. ASTM.D-695.85, DIN.53454, BS.2782 (kısım.3, 345)

**Örnek :** Enjeksiyonla kalıplanmış olan 13x13x25.4 mm boyutlarında dikdörtgen prizma şeklinde veya 13 mm. çap ve 25.4 mm. yüksekliğinde silindirik örnekler kullanılır. Örneklerin standart koşullarda kondüsyonlanması gerekir.

**Deney :** Örnekler, standart bir sıkıştırma (basma) sisteminin kafaları arasına “dikine” yerleştirilir ve belirli bir hızla sıkıştırılır. Örneğin sıkıştırma sırasında kırıldığı an uygulanmakta olan kuvvet,  $\text{kgf/cm}^2$  veya MPa olarak; basınç cinsinden ifade edilir. (Plastikler bu deneyde genellikle kırılmazlar-bu durumda, örnek boyutlarında belirli bir yüzde değerinde kısıalma sağlandığı andaki kuvvet hesaplanarak, sıkıştırılma dayanımı olarak belirlenir.



**Şekil A.5. Sert Plastiklerde Sıkıştırma (Basma) Deneyi Örneğinin Alete Yerleştirilmesi**

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Köpük plastik türleri hariç, plastik malzemenin hemen hepsi, sıkıştırma işleminden önemli ölçülerde etkilenmez, bu nedenle de aslında sıkıştırma (basma) deneylerinin, plastik malzeme tasarımında gereksinimi bulunmamaktadır. Ancak bir plastikte değişik türler arasındaki farkların belirlenmesinde; diğer deney sonuçları ile birlikte basma deney sonuçları, malzemenin genel dayanımı hakkında daha fazla fikir edinme yolunu da açacaktır.

## **A.2.BAZI FİZİKSEL DENEYLER VE STANDART DENEY YÖNTEMLERİ**

### **A.2.1. Sertlik (Hardness)**

#### **A.2.1.1. Rockwell Sertliği (Rockwell Hardness)**

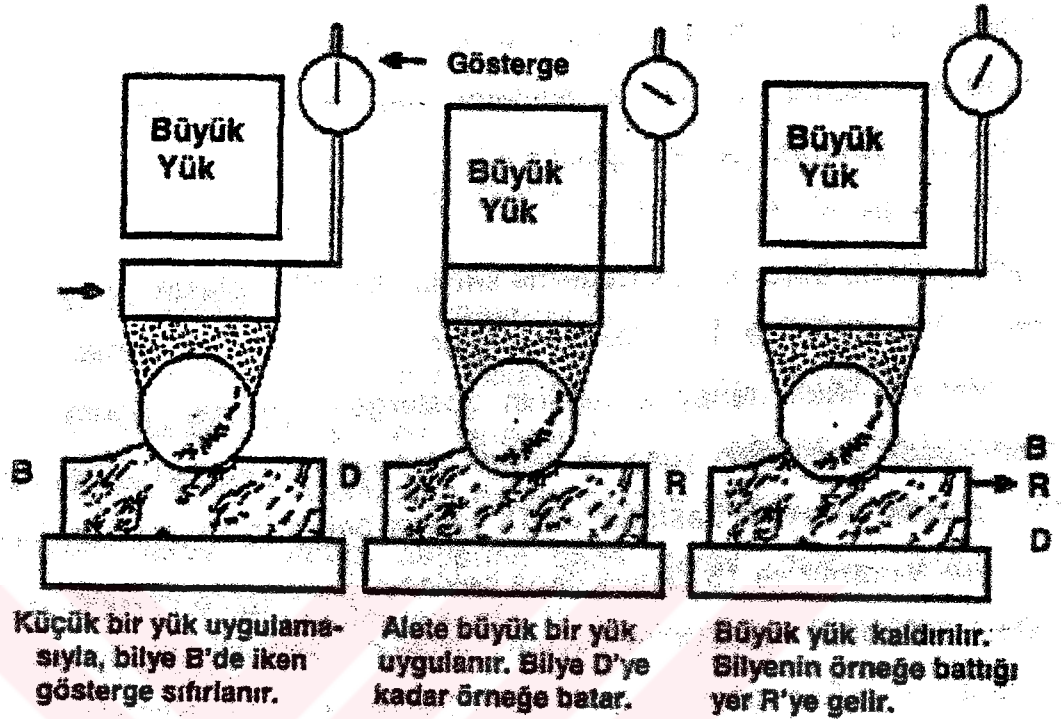
**İlgili Temel Standartlar . TS.1326, ASTM.785-86, BS.2782 (365.C)**

**Örnek :** En az 6 mm kalınlığında levha veya plakalar kullanılır. Daha ince levha veya plaka kullanımı halinde, bunlar üst üste konularak en az 6mm kalınlığa getirilerek ölçme yapılır. Örneklerin her durumda standart koşullarda kondüsyonlanması gerekir.

**Deney :** Deneyde çelik bir bilye, küçük değerlerde seçilen bir yükte plastik levha yüzeyine bastırılır; çelik bilye ile plastik yüzeyinin iyice temas etmesi sağlanır. Bu konumda iken deney sisteminin göstergesi sıfırlanır. Sonra bilye, kullanılan küçük değerdeki yüke ek olarak deneyde belirlenen daha büyük bir yükte plastik yüzeyine bastırılır ve 15 saniye beklenir. Bu sürenin sonunda büyük yük kaldırılır ve 15 saniye daha beklenir. Süre sonunda çelik bilyenin plastik malzeme yüzeyinde açtığı oyukun derinliği ölçülür. Deneylerde, plastiğin türüne göre, değişik bilye büyüklükleri ve ağırlıklar kullanılabilmekte; bir plastik için belirlenen bir bilye ve ağırlık kombinasyonu ile elde edilen sonuçlar, başka bir bilye ve ağırlıkla elde edilen sonuçlarla -genellikle- bağlantılı olmamaktadır.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Rockwell sertliği, bir plastik türünün değişik tipleri için, kıyaslama amacı ile ve sağlıklı olarak uygulanabilen bir deney yöntemidir. Çelik bilyeye yük uygulayarak plastik malzeme meydana getirilen oyuk boyutlarında, 15 sn. beklemede; örnek elastik ise şeklin geriye dönme olasılığı bulunduğundan bu tür örneklerde, sertlik yanında elastiklik de etkili olmaktadır. Bu nedenle de Rockwell sertliği, farklı türde plastikler için sağlıklı olarak uygulanamaz. Bu sertlik türü kendisine özgü olup, malzemenin sürtünme ile aşınma veya çizilme özellikleri hakkında da genellikle bir fikir verememektedir

(örneğin, polistirende Rockwell sertlik değeri oldukça yüksek elmasına karşın bu malzemenin sürtünme ile aşınma veya çizilmeye olan dayanımı oldukça kötüdür).



Şekil A.6. Rockwell Sertliği Ölçümü (Göstergeden Doğrudan Okunması RB Mesafesi Rockwell Sertliği Olarak Hesap Edilir)

#### A.2.1.2. Durometre Sertliği (Indentation Hardness, Durometer)

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1181, ISO.868, ASTM.D-1706 ( son yıllarda programdan çıkarılmıştır), DIN.53456, BS.2782 (kısım.3, 365 B)

**Örnek :** Sonuçların aynı olması koşulu ile, 3 mm kalınlığa kadar örneklerde kullanılmakla birlikte; 6 mm.lik örnek kullanımı tercih edilir. Örneklerin standart koşullarda kondüsyonlanması zorunludur.

**Deney :** Durometre'nin basınç uygulanan kısmına bağlı ince uçlu bir ayağı bulunmaktadır. Bu ayak, temeli tamamen yüzeye değecek şekilde bastırıldığında göstergede okunan değer, sertlik olarak alınmaktadır.

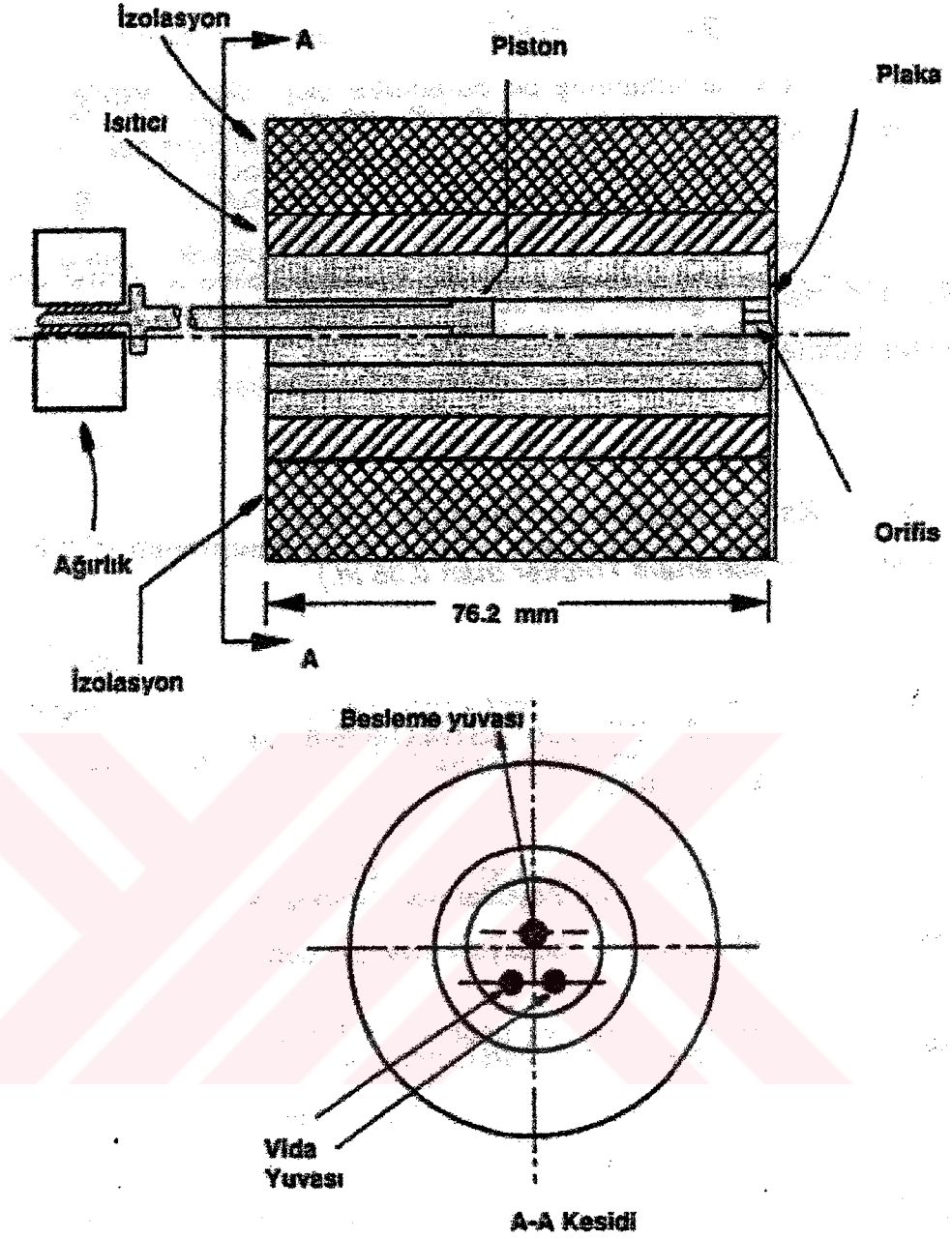
**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Deney sonuçları, 0'dan 100'e kadar bölümlenmiş bir göstergeden okunur ve elde edilen değerler, "birimsiz" dir. Durometreye basınç uygulanır uygulanmaz okunan değerler deney tekrarlandığında, (plastik malzemenin soğuk akması-sünme, creep- özelliği nedeni ile) farklı olabilmektedir . Nitekim "soğuk akma" değerinin çok fazla olması nedeni ile Rockwell deneyi, PE için anlamını yitirdiğinden; daha çok diğer tür polimer örneklerine uygulanmaktadır.

**A.2.2. Erime Akış İndisi (Ekstrüzyonla Akma Hızı, Erime Akış Hızı) (Melt Flow Index: MFI; Flow Rate Melt Index by Extrusion Plastometer)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1323 (TS.1675), ISO.1133, ASTM.D-1238.86, DIN.53735, BS.2782 (7.kısım,720 A)

**Örnek :** Silindir besleme hunisinden cihaza beslenebilecek olan toz, granül şerit, film parçaları vs. gibi çeşitli şekillerde örnekler kullanılır. Plastik türüne göre kondüsyonlama koşulları ayrıca belirtilmektedir.

**Deney :** Şekil 'de gösterilen ve esas olarak sabit sıcaklıkta işleyen bir ekstrüzyon plastometresinden ibaret olan sistem, kullanılacak plastiğin cinsine göre değişik ve sabit tutulan sıcaklıklara ısıtılır (örneğin, PE için bu sıcaklık değeri 190°C dir). Metalik, düşey, yalıtılmış bir silindirde ısıtılan termoplastik madde; üzerinde yaklaşık 0.3 MPa basınç yaratacak şekilde ağırlık taşıyan piston silindire sürülür. Beş dakika sonra silindirin sonundaki kapilerden ekstrüde edilmekte olan ilk örnek kesilip atılır. Aynı şekilde bunu takip eden 1. dakikadaki örnek de atılır. Daha sonra, örneğin akma hızına (ekstrüde olma hızına) göre 1/4,1/2,1,2 ve 4. dakikalarda kapilerden çıkmış olan örnekler kesilerek tartılır ve "erime akış indeksi" (MFI), g/10 dakika olarak hesaplanır.



**Şekil A.7. Sabit Sıcaklıkta Çalışan Bir Ekstrüzyon Plastometresinin Görünümü ve Aletin A-A Kesiti**

**Deneyin yorumu ve Notlar :** Özellikle plastik hammaddesi üreten ve işleyen firmaların, üretimlerinin aynı kalitede olmasını kontrol edebilmeleri açısından çok yararlıdır. Deneyde elde edilen sonuçla plastiğin işlenmesi sırasındaki akışkanlık derecesi arasında doğrudan bir bağıntı bulunmamaktadır. Ancak, işleme sırasında hangi tür veya tip plastiğin daha kolaylıkla akışkan olacağı konusunda bir kıyaslama yapmak mümkündür.

Deneyde, aslında, plastiğin ergimiş haldeki viskozitesi ölçülmektedir. Genel bir kural olarak, akmaya direnci daha fazla olan plastik örneğinin (küçük MFI) molekül ağırlığı; direnci daha küçük olan (yüksek MFI değerli) bir diğerine kıyasla daha fazladır. Ekstrüzyon plastometresi olarak adlandırılan deney sisteminden elde edilen "akış hızları", temel polimer özelliklerinden değildir. Bu denenecek tanımlanmış bir parametre olup, deneyi yapılan polimerin çeşitli özelliklerinden geniş ölçüde etkilenmektedir. Ergimiş haldeki polimerlerde "reolojik özellikler"; çok sayıda değişkene bağlıdır. Bu deneydeki değişkenlerin sayısı ve değerleri, gerçek plastik işleme koşullarından farklı olabileceğinden; elde edilen sonuçların da gerçek işleme koşulları ile kıyaslanması doğru olmayacaktır.

### **A.2.3. 0.13 cm'den Kalın Plastiklerde Yanabilirlik Deneyi (Flammability for Materials Thicker than 0.05 in.)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1066 (TS.1850). ISO.1220, ASTM.D-635-81 ve BS.2782(1. kısım, 140D)

**Örnekler :** 1.3 x 12.7 x 0.13 - 0.06 cm. boyutlarında örnekler kullanılır. Aksi belirtilmedikçe, örnekler oldukları gibi, işlem görmeden; deneye alınır.

**Deney :** Örnek, uzun kenarı yatay; bunun karşısındaki kenarı ise yatayla 45 derecelik bir açı oluşturacak şekilde, halka biçimindeki bir desteğe yerleştirilir. Daha sonra örneğin yatay kenarından 1 cm. kadar aşağıya, üzerine bunzen beki konulacak bir levha yerleştirilip sıkıştırılır. Bu levhanın üzerine, alevi örneğin alt kenarına değecek şekilde yanmakta olan bir bunzen beki yerleştirilerek, alevin örneğin alt kenarı ile 30 saniye temas etmesi sağlanır ve bu sürenin sonunda bek uzaklaştırılır. Eğer örnek yanmaya başlamaz ise, bek alevi tekrar 30 saniye sürede aynı şekilde, örneğin alt kenarına temas ettirilir.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Eğer örnek yanmaya başlamaz ise, plastik madde bu deneye göre "yanmaz" olarak nitelendirilir. Yanmaya başlar ise, alt yüzeyden 10 cm. yukarıya çizilmiş olan işarete kadar yanmanın devam edip etmediği gözlenir. Eğer yanma bu işaretten önce durur ise, plastik madde " kendi kendine sönen - self extinguishing " olarak tanımlanır ve yanmanın ilerlediği uzunluk, "yanma derecesi"

olarak rapor edilir. Eğer yanma 10 cm. işaretine erişir veya geçerse, plastik madde "yanabilir" dir. Ayrıca, yanmanın ulaştığı mesafe ve geçen zaman belirlenerek "cm/min" cinsinden "yanma hızı" da hesaplanabilir.

#### **A.2.4. Su Soğurma – Őiřme (Water Absorption)**

**İgili Temel Standartlar :** TS.702 , ISO.62, ASTM.D-570.81, DIN.53495, BS.2782(4.kısım, 430.A-430.D)

**Örnek :** Kalıplamada kullanılan plastikler için 3.2 mm. kalınlığında ve 50 mm. apında disk Şeklinde örnekler, levha halinde olan malzeme için ise kalınlığı değişebilen ve belli boyutlarda örnekler tercih edilir.

**Deney :** Tartılan örnekler, belli sıcaklıkta (22.7 °C) tutulan su içine daldırılarak 24 saat (veya daha fazla) bekletilir. Sudan ıkarılan örnekler, temiz bez parçası ile kurulanıp tekrar tartılır. Ağırlıkta kaydedilen artış, "yüzde su soğurma" miktarı olarak hesaplanır. Suyu daldırıldığında içerdikleri suda çözünür maddeler nedeni ile kısmen ağırlık da kaybedilebilen selülozik tür plastiklerde; örnek sudan çıkartılıp kurulandıktan sonra, tekrar kurutulur, tartılır, ilk ve kurutulmuş ağırlıklar arasındaki farktan suda çözünebilen maddeler belirlenir.

Yüzde olarak "suda kazanılan ağırlık" + yüzde olarak "özünebilen maddeler"= yüzde "su soğurma miktarı" olarak rapor edilir.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** eşitli plastikler, değişik miktarlarda su soğurabilir. Soğurulmuş olan su ise, plastiklerin özelliklerini değişik açılardan (örneğin, elektriksel özellikler), soğurulan su miktarı ile önemli ölçülerde olmak üzere, etkiler. Benzer Şekilde, su soğurduka boyutları değişen bir plastikte de bu özellik önemlidir. Bu nedenle, belirli uygulamalarda kullanılacak plastik türü belirlenirken, su soğurma deneyi de sıklıkla yapılır.

### A.2.5. Özgül Ağırlık ve Yoğunluk (Specific Gravity and Density)

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1310, ISO.R.1183, ASTM.D-792.86, BS.2782 (620.A-620.D)

**Örnek :** İki ayrı yönteme göre yapılır:

(Yöntem A) kullanıldığında, levha-çubuk-tüp v.s gibi çeşitli şekillerdeki plastikler, (Yöntem B) kullanıldığında ise kalıplama tozları-pelletler-granüller kullanılabilir. Ancak, gerçekte; ekstrüde edilmiş ve kalıplanmış örnekler, tercihen kullanılmaktadır. Kalıplanmış örnekler, 24 saat bekletildikten sonra kullanılır.

**Deney :**

Yöntem A'da önce ince bir tel ile bağlanmış olan örnek, tartılır. Daha sonra bu örnek suya daldırılarak su içinde iken tekrar tartılır. Havada ve sudaki ağırlık farkından "yoğunluk" hesaplanır.

Yöntem B uygulandığında, toz veya pellet halindeki 5 g örnek, hacmi bilinen bir piknometreye daldırılır ve belli sıcaklıkta belirlenen hacim-ağırlık değişikliğinden yoğunluk hesaplanır. Bu yöntem uygulanırken, piknometre içinde hiç hava kalmamasına özen gösterilir. Film halindeki örneklerin kullanılması halinde ise yöntemin, kalabilecek hava kabarcıklarından kaynaklanan bazı dar boğazlan bulunmaktadır.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Yoğunluk ve özgül ağırlık, plastiklerde fiyatların ağırlık veya hacim bazında verilmesine göre; ayrı bir öneme sahiptir ve bu özellikler, işlenmiş madde üretiminde önemli bir kontrol parametresi olarak kullanılır. Örneğin kalıplanması sırasında uygulanan koşullara, ekstrüzyon sonrasındaki ani soğutma işleminin hızına ve sıcaklığa bağlı olarak, PE ve benzeri polimer malzemenin yoğunluğunda önemli farklılıklar olabilmektedir. Yoğunluk ve özgül ağırlık, sıklıkla birbirinin yerine kullanılmaktadır. Ancak bu iki özellik arasında, az da olsa, şu farklılık bulunmaktadır: "yoğunluk, 23°C'de birim hacim plastiğin ağırlığı" iken, "özgül ağırlık, belirli hacimdeki plastik ağırlığının aynı hacimdeki su ağırlığına oranı" dır. Bu nedenle özgül ağırlık, 23°C/23°C olarak ifade edilir. Yoğunluk ile özgül ağırlık arasındaki fark; 23°C'de su yoğunluğunun 1 değil, 1 'den biraz küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Yoğunluk ile özgül ağırlık,

(Yoğunluk<sub>23°C</sub>; g/cm<sup>3</sup>) = (özgül ağırlık, 23°C/23°C) x 0.99756 eşitliği ile birbirine bağlıdır.

## **A.2.6. Elektriksel Özellikler**

### **A.2.6.1. Elektriksel Direnç (Test for Electrical Resistivity)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1403, ASTM.D-257.83, ISO. 1325, DIN.53482

**Örnek :** Deney sistemine uygun levha, düz plaka veya tüp şeklindeki örnekler kullanılabilir.

**Deney :** Deneyde, örnek yüzeyine yerleştirilen (veya batırılan) elektrotlara belirli bir gerilim uygulanır. Örnekten geçen akım miktarına göre de çeşitli özellikler hesaplanır. Bunlar “izolasyon direnci/hacimsel rezistivite/yüzeysel rezistivite/hacimsel direnç ve yüzeysel direnç” tir.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Yalıtım amacı ile kullanılan plastiklerde mümkün olduğunca yüksek izolasyon direnci değerleri istenir. Yüzeysel ve hacimsel rezistivite (bir malzemenin, tümünden veya yüzeyinden, elektrik akımı geçişine karşı gösterdiği direnç) değerlerinin bilinmesi, belirli uygulamalar için yalıtkan tasarımına olanak verir. Aynı şekilde bir plastik malzemenin hacimsel ve yüzeysel rezistivite değerleri ne kadar yüksek ise, bir iletken maddeyi yalıtım amacı ile kullanıldığında o ölçüde az akım kaçakları olacak demektir.

### **A.2.6.2. Dielektrik Sabiti ve Dağıtma Faktörü (Dielectric Constant and Dissipation Factor)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS.1224, ASTM.D-150.81, ISO.1325, BS.903 (kısım, C4 ve C3), DIN.53483

**Örnek :** Deney sistemine uygun boyutlarda levha şeklindeki örnekler kullanılır. Bu örneklerde kalınlığın, yüksek toleranslarla tüm noktalarda aynı olması gerekmektedir. Deney, sıcaklık ve bağıl nem oranı tarif edilmiş standart laboratuvar koşullarında yapılır. Zaman zaman isteğe göre belirlenen özel koşullar ne olursa

olsun, örneklerin; deneyin yapıldığı koşullarda daha önceden kondüsyonlanması gerekir.

**Deney :** Örneğin karşılıklı iki yüzeyine, elektrotlar yerleştirilir. Deney sisteminde yer alan dielektrik köprü devresinde, kıyaslama veya çıkarma yöntemleri uygulanarak; kapasitans ve dielektrik kayıp değerleri ölçülür. Bu ölçümler ve deney örneğinin boyutları kullanılarak, dielektrik sabiti ve dağıtma faktörü değerleri hesaplanır.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Dağıtma faktörü, çeşitli şekillerde tarif edilmekle birlikte; genelde, görülen (fazda aynı yönde olan) gücün, gerçek güce oranı olarak hesaplanmaktadır. Dielektrik sabiti belirli bir dielektrik madde ile oluşturulan bir kondansatör kapasitesinin (örnek), dielektrik madde olarak hava kullanımı halinde elde edilen kapasite değerine oranıdır. Elektrik aletlerinin parçalarını birbirinden (veya topraktan) yalıtımda kullanılan malzemelerde dielektrik sabitinin "mümkün olduğunca" küçük olması arzu edilir. Diğer taraftan dielektrik malzeme veya kapasitör olarak kullanılmak istenilen malzemelerde ise, dielektrik sabiti değerinin büyük olması istenir.

#### **A.2.6.3. Dielektrik Dayanım (Dielectric Strength)**

**İlgili Temel Standartlar :** TS. 1397, ASTM.D-495.84, ISO. 1325, BS.2782 (2.kısım, 220-221) BS.903 (kısım, C4 v3 C3)

**Örnek :** Örneklerin alt ve üst yüzeyleri paralel ince tabaka veya levhalar şeklindedir. Dielektrik dayanım, kullanılan örneklerin kalınlıklarına bağlı olarak değişir bu nedenle deney sonuçları ile birlikte örnek kalınlıkları da verilir. Sıcaklık ve nem deney sonuçlarını etkiler; bu nedenle her plastik türünün deneyden önce spesifikasyonlarında belirlenen koşullarda kondüsyonlanması gereklidir. Ayrıca deneyin, doğrudan özel kondüsyonlama kabinlerinde yapılması veya örnekler kondüsyonlamadan alınır alınmaz beklemeden gerçekleştirilmesi gerekir.

**Deney :** Örnekler, elektrik akımının iletilmesini sağlayan, kalın, silindirik-pirinç elektrotlar arasına yerleştirilir. Uygulamada, şu iki yöntemden biri kullanılır:

1) Kısa süreli deney: Bu deneyde uygulanan voltaj, sıfır'dan başlanarak ; 0.5 ile 1.0 kV/sn arasında seçilen sabit bir hızla arttırılır. Seçilecek hız, deneyi yapılan malzemenin spesifikasyonunda verilmiş olmalıdır. Belirli hızda voltaj artımına, malzemenin "kendini bıraktığı" zamana kadar devam edilir. Bu ise, deney sisteminde yer alan göstergelerde izlenen; "malzemedan ani olarak büyük miktarlarda akımın geçtiği" veya " gözle görülen ölçülerde malzemede hasarın meydana geldiği" andır.

2) Adım-adım uygulanan deney: Malzemeye ilk uygulanan voltaj, kısa süreli deneyde belirlenen; malzemenin "kendini bıraktığı" gerilimin %50'sidir. Daha sonra voltaj, malzemenin spesifikasyonunda belirtilen belirli bir hızla arttırılarak; malzemenin " kendini bıraktığı" voltaj saptanır.

Genelde bu deneyin, malzemenin gerçek kullanılacağı ortamda yapılması tercih edilir. Eğer malzemenin gerçek kullanım ortamı belli değilse, deney havada yapılabilir veya varsa plastik cinsine göre ilgili standartta belirtilen ortam ve koşullar kullanılır. Malzemenin kendini bıraktığı voltaj değeri çok yüksek olan örneklerde deneyin bir yağ içinde yapılması uygun olmaktadır. Bu taktirde, kaliteli ve temiz bir "transformatör" yağının kullanıldığı uygun ölçülerdeki bir yağ banyosuna gerek duyulur.

**Deneyin Yorumu ve Notlar :** Sonuçlar, deneyi yapılan plastik malzemenin yalıtkan bir malzeme olarak dielektrik gücünü gösterir. Elektriksel açıdan, belirlenen bu özelliğin; bir bakıma, mekanik özelliklerden, gerilme dayanımına karşı geldiği söylenebilir. Bu deney sonuçları, yapıldığı belirlenen koşullarda geçerli olup; uygulama ile doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Bu nedenle sonuçlar mutlak olmaktan çok, kıyaslama yapılabilmesine olanak sağlaması açısından önem taşımaktadır.

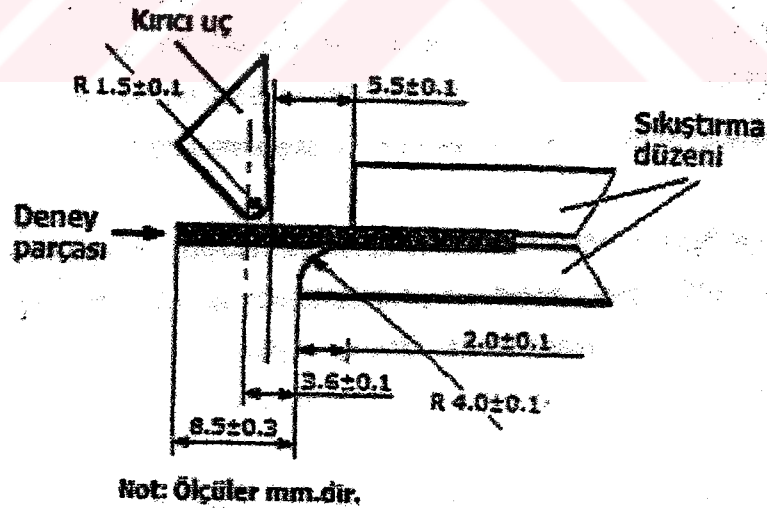
## A.3.ISIL (TERMAL) ÖZELLİKLERLE İLGİLİ DENEYLER

### A.3.1. Kırılma Sıcaklığı ( Brittleness Temperature )

İlgili Temel Standartlar : TS.1166, ISO.974, ASTM.D-746.79, BS.2782 (1.kısım, 150.D)

Örnek : Enjeksiyonla kalıplanmış, 6.35 x 1.9 x 31.75 mm. Boyutlarında örnekler kullanılır. Örneklerin, kondüsyonlanması gerekir.

Deney : Örnek taşıyıcısına yerleştirilen örnekler, kırılma sıcaklığına neden olacağı düşünülen sıcaklığa soğutulmuş deney sistemine yerleştirilir. Örnekler 3 dakika bekletilir ve örneklerin hepsine aynı anda darbe uygulanır. Örnekler dışarı alınır, darbe etkisi incelenir. Kırılan, kısmen kırılan ve gözle çatlak içerdiği saptanan örneklerin kırıldığı kabul edilir ve toplam örneklere göre kırılanların yüzdesi hesaplanır. Deney, çeşitli yüzdelerde kırılma sonuçlarını veren değişik sıcaklıklarda tekrar edilir. Elde edilen bu sonuçlardan, grafik veya doğrudan hesaplama yöntemi ile; örneklerin %50'sinin kırıldığı sıcaklık, "kırılma sıcaklığı" olarak rapor edilir.



Şekil A.8. Kırılma Sıcaklığı Deneyinde Çentiksiz Örneğin Yerleştirilmesi

Deneyin Yorumu ve Notlar : Bu deneyin, çeşitli plastiklerin düşük sıcaklıklarda gösterecekleri darbe dayanımı değerleri ile ilgili sınırlı bir anlamı olabilmektedir. Deney sonuçları, kullanılan örneklerin şekline ve uygulanan deney

koşullarına bağlı olduğundan; bu sonuçlar söz konusu şekil ve koşullar çerçevesinde geçerlidir ve başka şekildeki örnekler ve farklı koşullar için herhangi bir korelasyon yapılması söz konusu değildir.

Bu deneyle elde edilen kırılma sıcak değerlerinin, gerçekte denenen plastik malzemenin uygulamadaki en düşük kullanım sıcaklığını da belirleyemediğini ifade etmek gerekir. Buna karşın deney, zaman zaman spesifikasyon deneyleri arasında yer alabilmektedir [90].

#### **A. 4. TİTREŞİMLERLE İLGİLİ STANDARTLAR**

Genel olarak titreşim standartları, makinelerin tip ve güçlerine göre değişim gösterir. Bir titreşim standardı ölçmelerin nasıl ve ne tip aletlerle, hangi şartlarda yapılacağını ve bu şekilde elde edilecek datanın ne şekilde analiz edileceğini belirtmelidir.

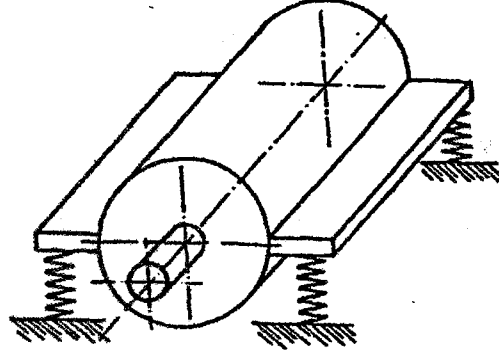
Genelde, titreşim standartları üç ana ilke için geliştirilirler:

- Tüketicinin korunması, tüketici v" üretici arasında meydana gelecek anlaşmazlıklarda yardımcı olunması,
- Özel ihtiyaçlar için uygun makine veya malzemeyi seçmeye yardımcı olunması,
- Makinelerin performanslarının izlenip, analiz edilerek hata ve arıza teşhisinde yardımcı olunması [91].

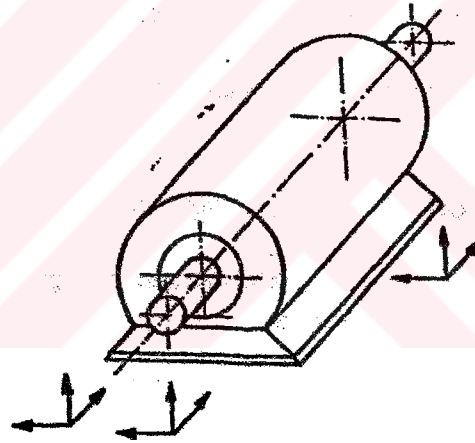
#### **ISO 2372 - TS 2782**

Titreşimin deplasman, hız veya ivmesinin ölçülmesi makine titreşim standartlarında esas alınır. Bu, standardın tipine, frekans aralığına ve diğer bazı faktörlere de bağlıdır. 10-1000 Hz frekans aralığında hız genliği ölçülür. Standarttan geliştiren araştırmalar arasında genliğin maksimum değeri mi, yoksa RMS değerinin mi esas alınacağı konusunda kesin bir anlaşma sağlanamamıştı. Basit harmonik hareket de ikisinin de kullanılabilmesine rağmen, karmaşık makine titreşimlerinde büyük fark gösteriler. U.S.A. ve Kanada'da genliğin maksimum değeri kullanılması yanında, Avrupa ülkelerinde RMS değerleri kullanılır. ISO ve TSE' nin standartlarında da genliğin RMS değerleri esas alınmıştır.

ISO 2372 (veya TS 2782) nolu titreşim standardında, titreşim şiddeti aralıkları değişik güçteki makineler için iyi, kabul edilebilir, sınırdaki kabul edilebilir ve kabul edilemez şeklinde sınırlandırılmışlardır. Titreşim şiddeti aralıkları 4 dB basamak veren 1/1.6 oranında verilmiştir.



Şekil A. 9. Makinenin deneyde yumuşak taşınmasının şematik yerleştirme şekli



Şekil A. 10. Ufak bir makinede mümkün olabilen biçme noktaları  
(Yataklarda, taşıyıcılarda ve flanjlarda ölçme yönleri)

## ISO 3945

Elektrik motorlarında, magnetik veya mekanik dengesizlikler titreşime sebep olurlar. Bu titreşimlerin kabul edilebilir sınır değerler arasında kalması istenir, özel bir kriter verilmediği takdirde kullanılan standartlar ISO3945'tir. Genellikle ölçmeler yataklar üzerinden alınır. Bazı özel hallerde mil titreşimleri de ölçülebilir, Ölçmeler, standartlarda belirtilen mesnetleme şekline göre yapılır.

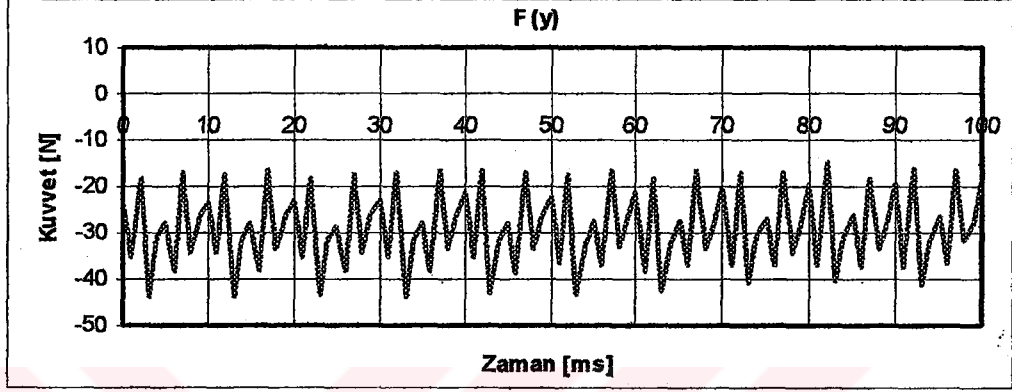
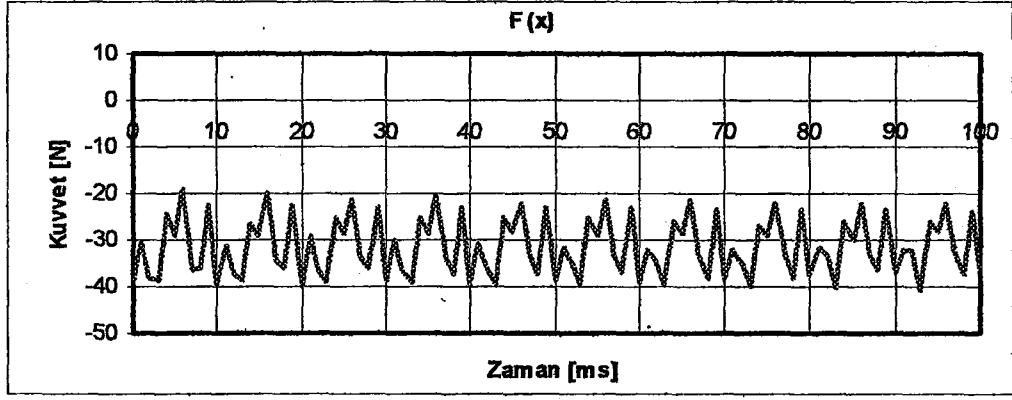
<u>Kabul edilebilir titreşim genliği [mm/s]</u>	<u>Mil Ekseni</u>	<u>Mesnet Şekli</u>
1.8	Yatay	Rijit
2.6	Yatay/Düsey	Esnek

Orta güçte elektrik motorlarının titreşim standardında (ISO-3945), mil titreşimleri, ya milin motor gövdesine göre relatif (izafi) hareketleri olarak veya milin direkt mutlak hareketleri olarak ölçülür. Ölçülen karakteristik değer mil yörüngesinin en büyük genliğidir. Mil titreşimleri ile yatak titreşimleri arasında bilinen belirli bir bağıntı yoktur. Mil titreşimleri için henüz bir Standard belirtilmemiştir. Yalnız aşağıdaki tabloda görülen ve BBC (Brown Boverly Co.) tarafından geliştirilen sınır değerler birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Elektrik makinelerinin titreşim standartları mil yüksekliğine göre de ayrıca değerlendirilir[91].

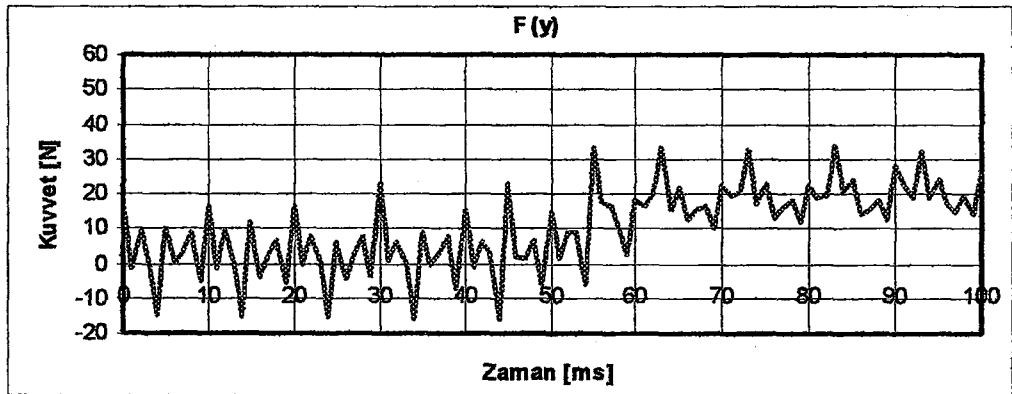
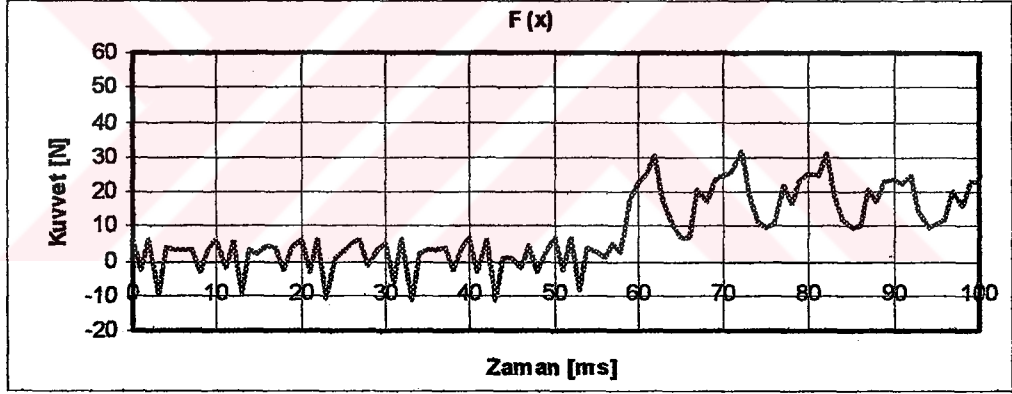
## **EK B. ÖLÇÜLEN KUVVET, SICAKLIK VE TİTREŞİM DEĞERLERİ**

CNC freze tezgahında, döküm poliamid ve MKE normlarına uygun Ç1040 çeliğinin, seçilen 10 mm çaplı parmek freze takımı ile kesme parametrelerinin etkilerini daha iyi anlayabilmek için, kesiciye verilen doğrusal ve dairesel takım yollarındaki ilerlemelerin, kesme esnasında iş parçasına gelen kesme kuvvetleri (x, y ve z eksenlerindeki), titreşim değerleri ve sıcaklık değişimleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

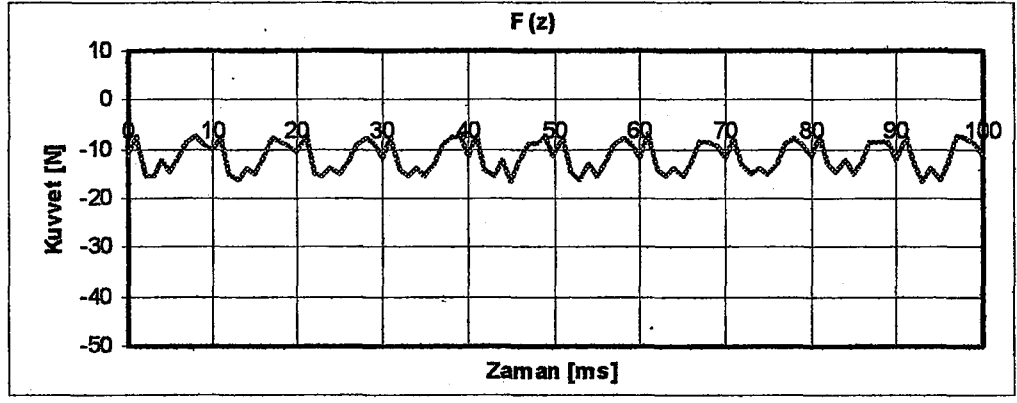




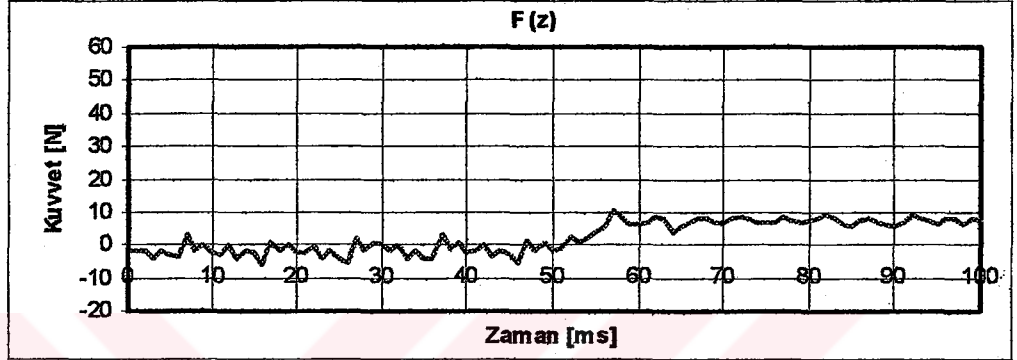
Şekil B. 1. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:100$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



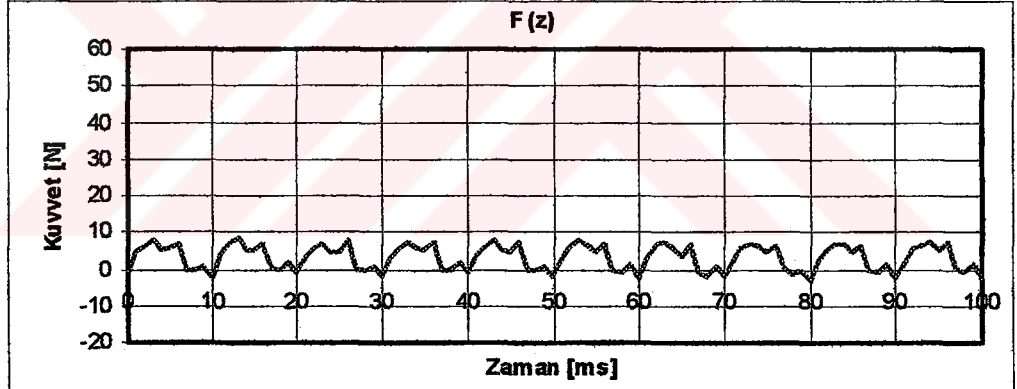
Şekil B. 2. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:100$  m/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



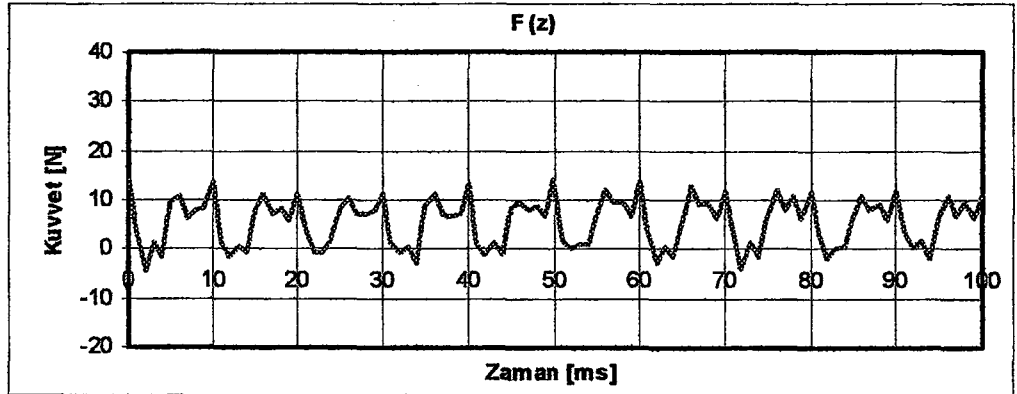
Şekil B. 3. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:100$  mm/min, $d:2$  mm Z eksenindeki kuvvet grafiği



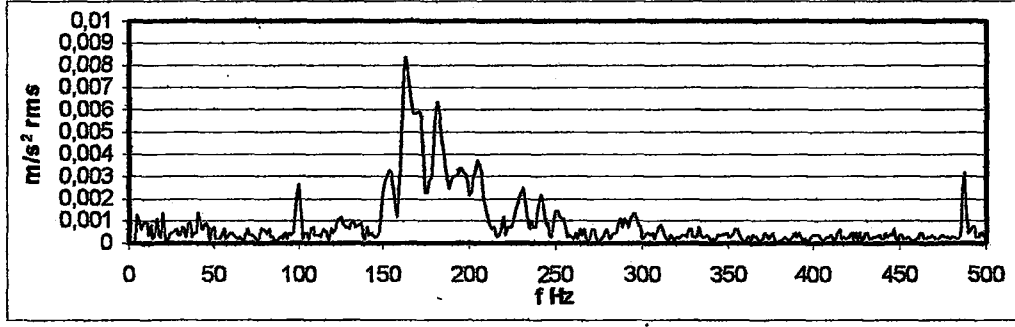
Şekil B. 4. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:100$  mm/min, $d:2$ mm Z eksenindeki kuvvet grafiği



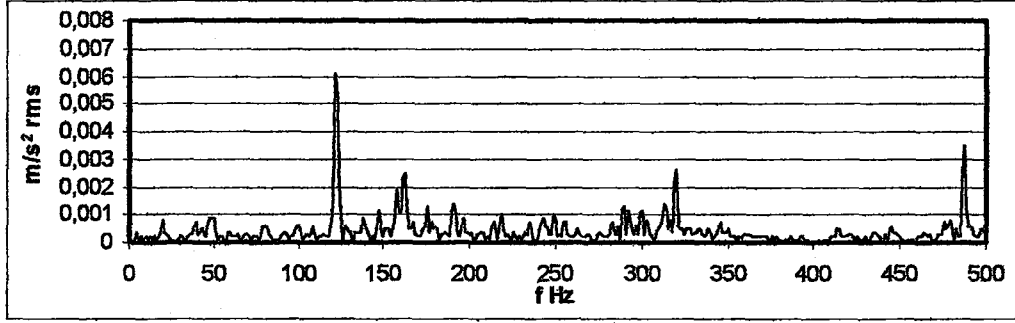
Şekil B. 5. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:200$  mm/min, $d:2$  mm Z eksenindeki kuvvet grafiği



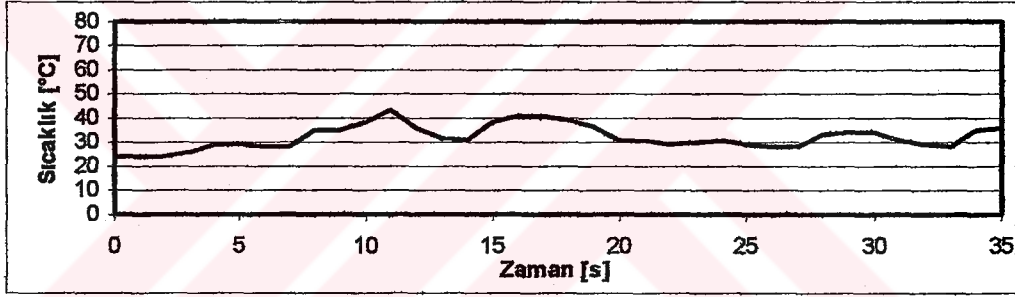
Şekil B. 6. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:200$ mm/min, $d:2$ mm Z eksenindeki kuvvet grafiği



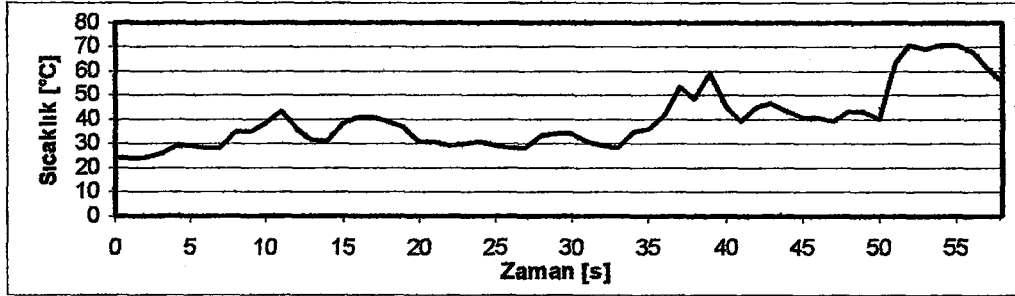
Şekil B. 7. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



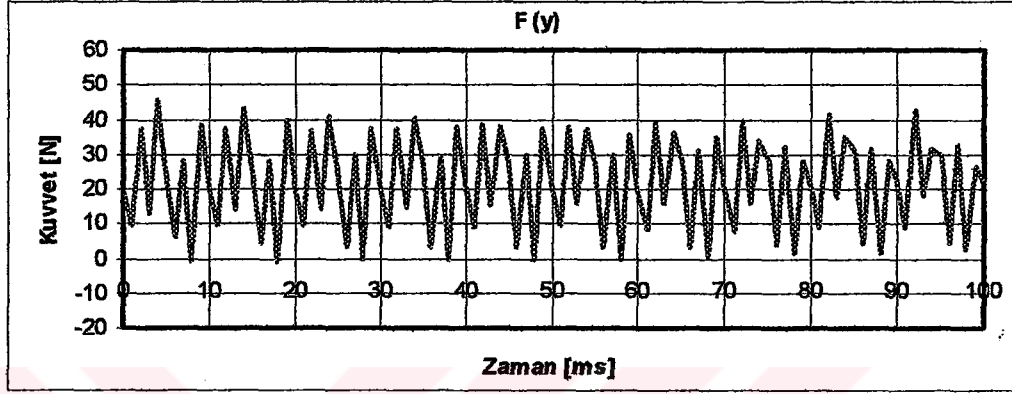
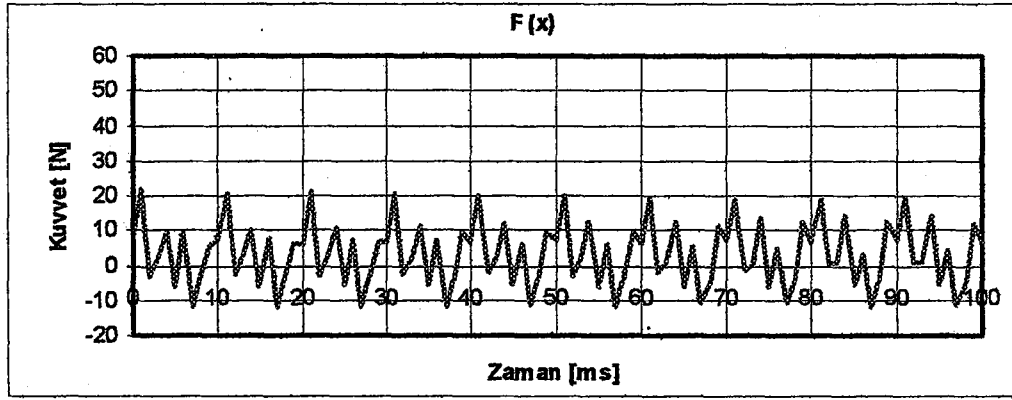
Şekil B. 8. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm titreşim grafiği



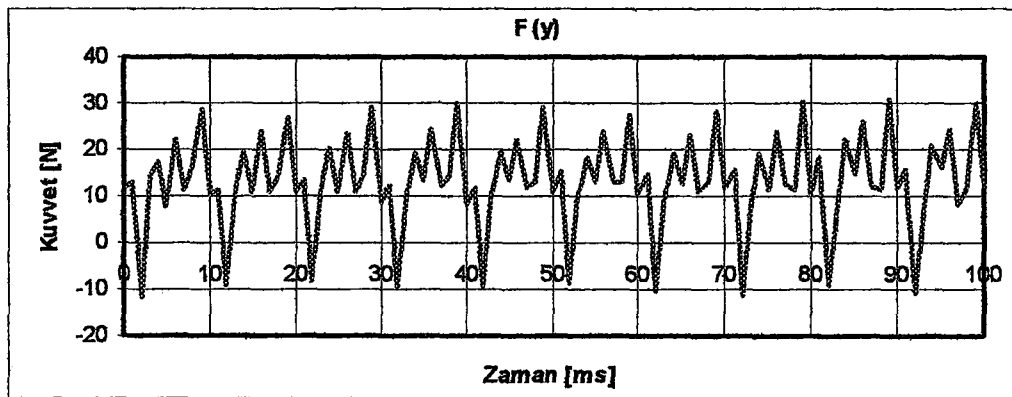
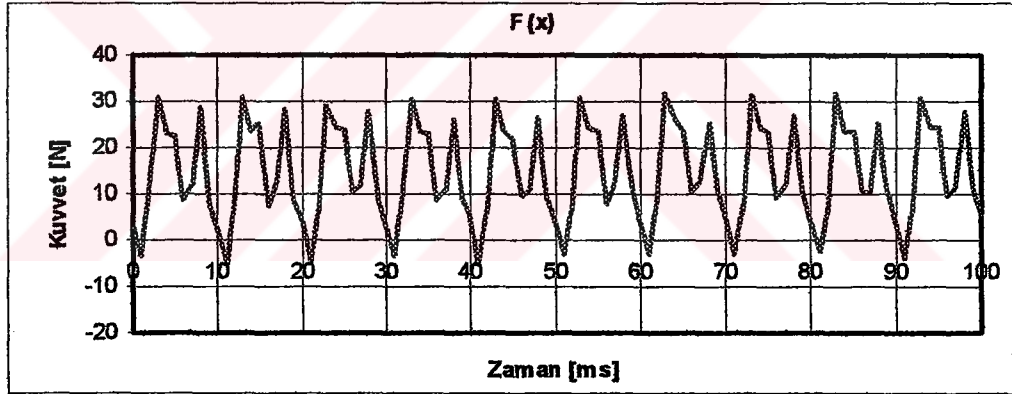
Şekil B. 9. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



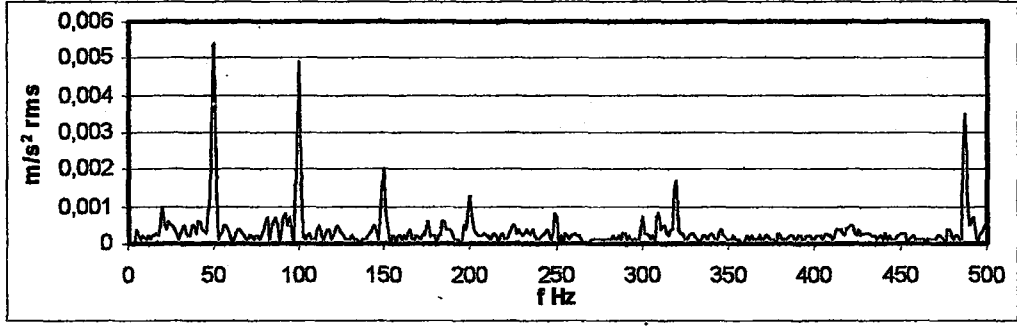
Şekil B. 10. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 m/min, d:2mm sıcaklık grafiği



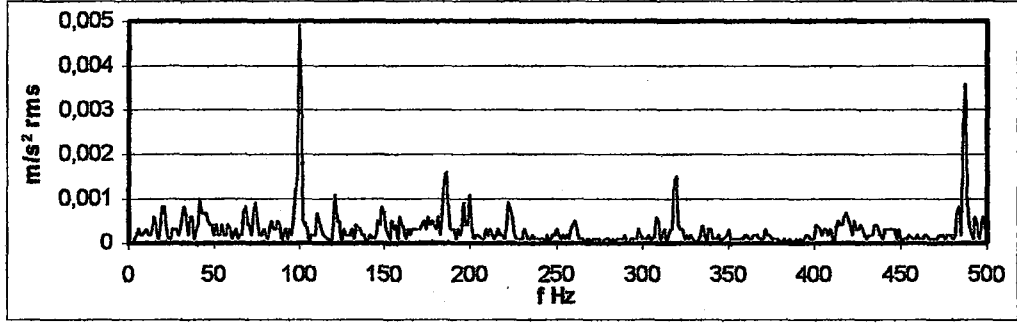
Şekil B. 11. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



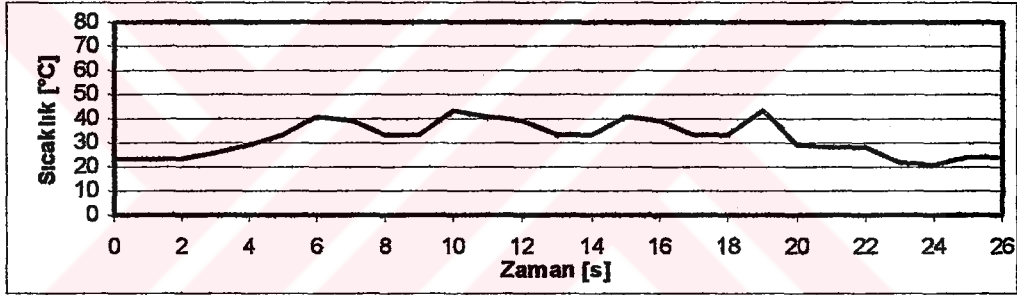
Şekil B. 12. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  m/min, $d:2$ mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



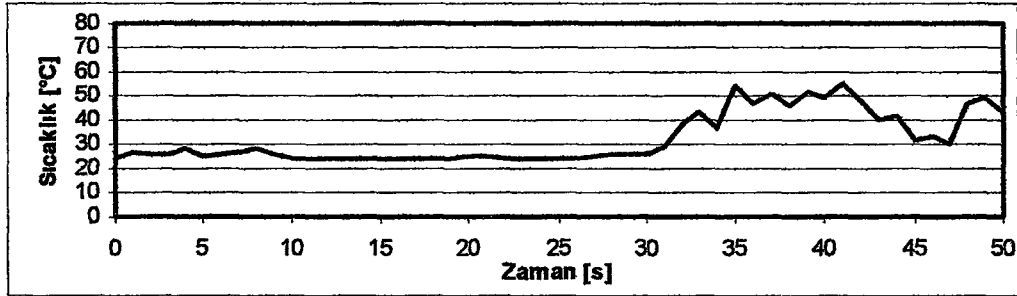
Şekil B. 13. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



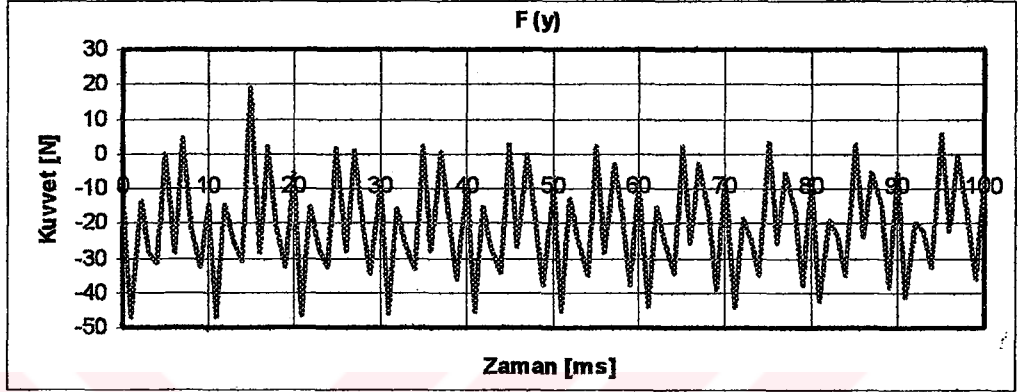
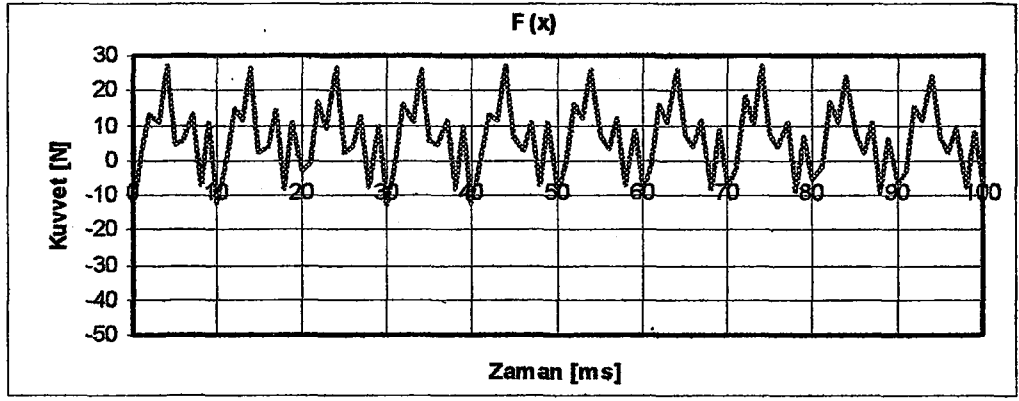
Şekil B. 14. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm titreşim grafiği



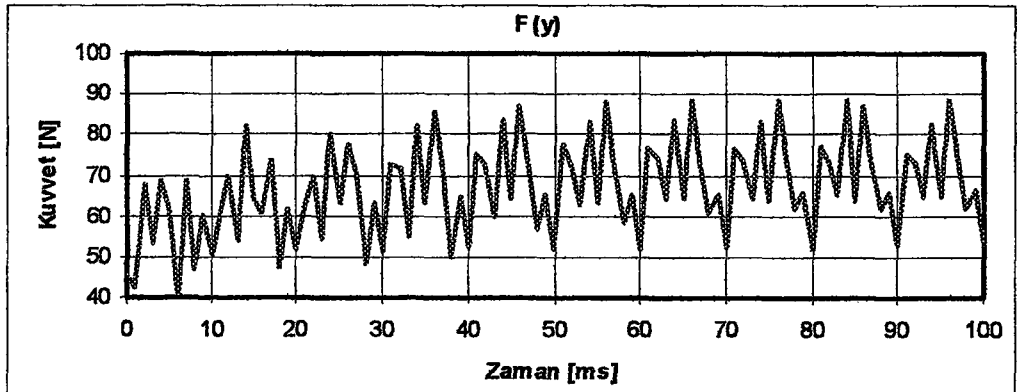
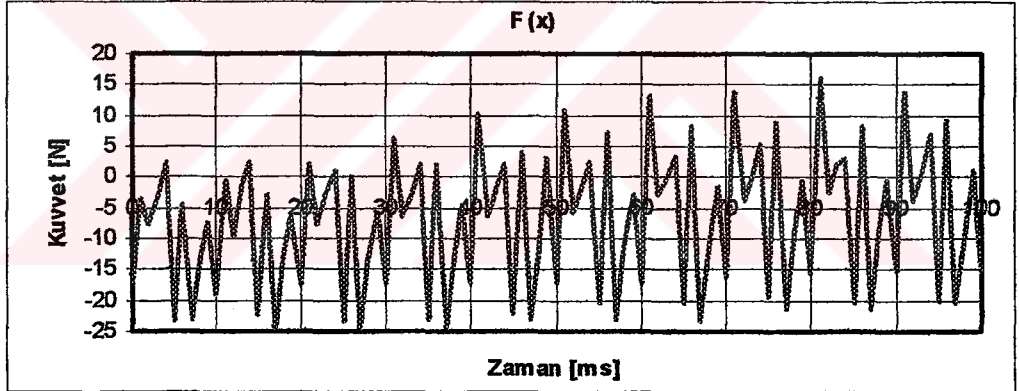
Şekil B. 15. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



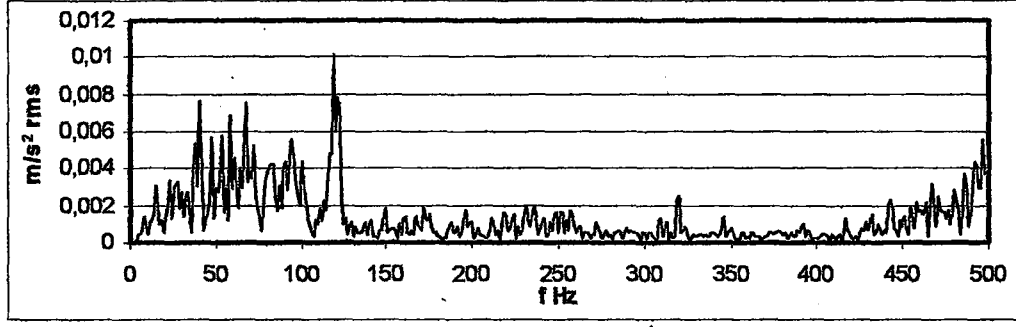
Şekil B. 16. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 m/min, d:2mm sıcaklık grafiği



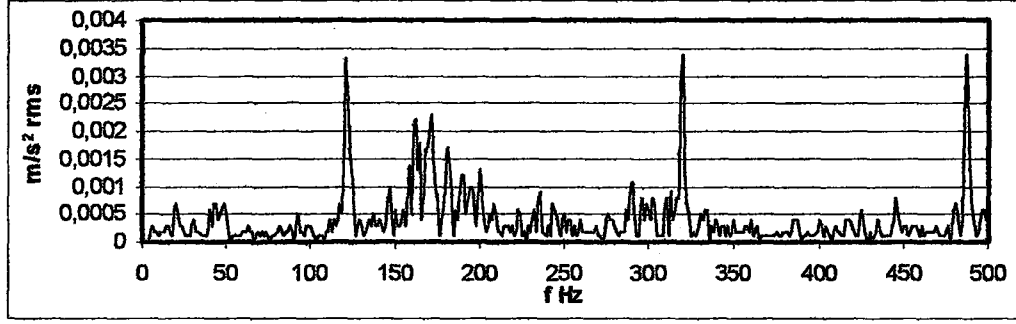
Şekil B. 17. Poliamid'in doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:200$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



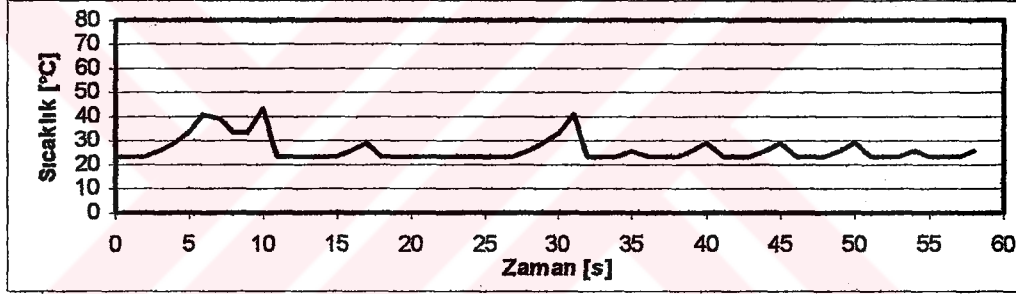
Şekil B. 18. Poliamid'in  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:200$ mm/min,  $d:2$ mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



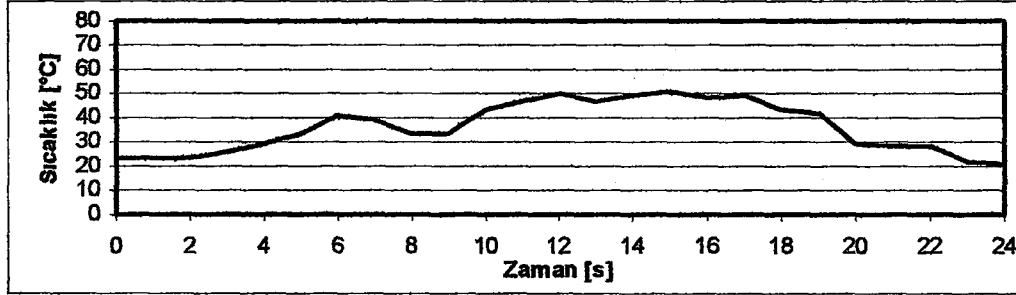
Şekil B. 19. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



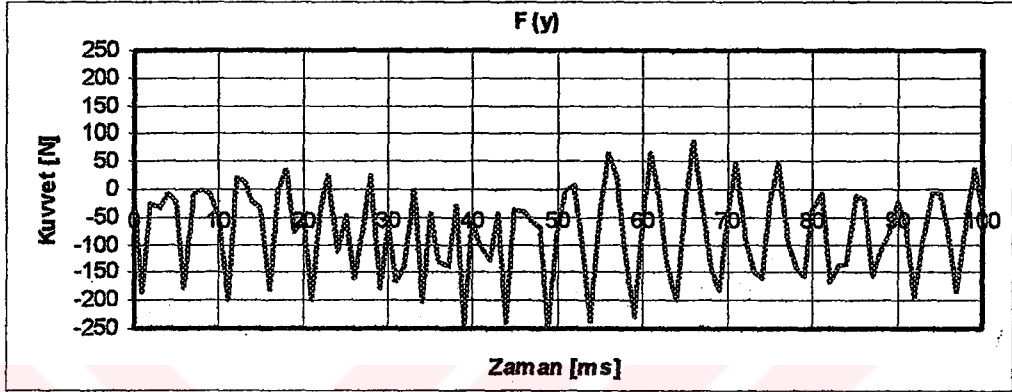
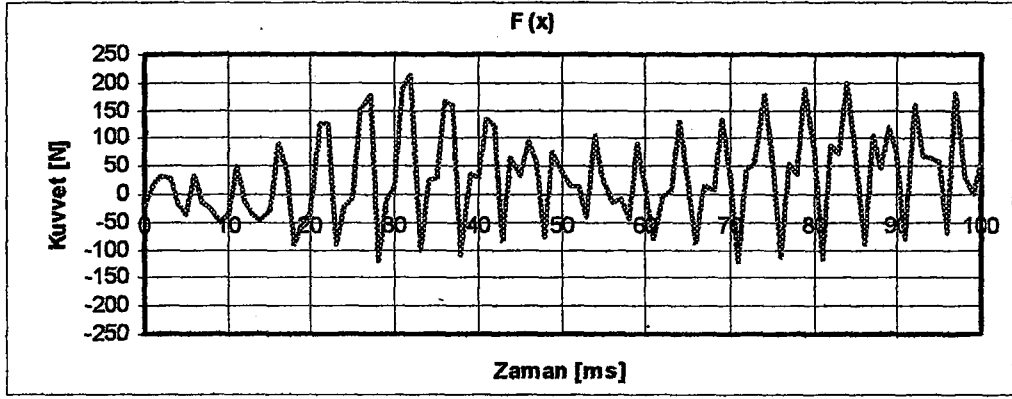
Şekil B. 20. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm titreşim grafiği



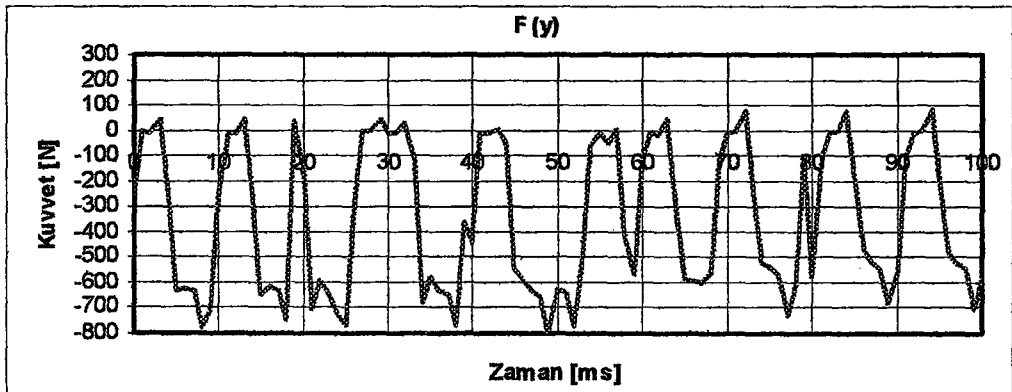
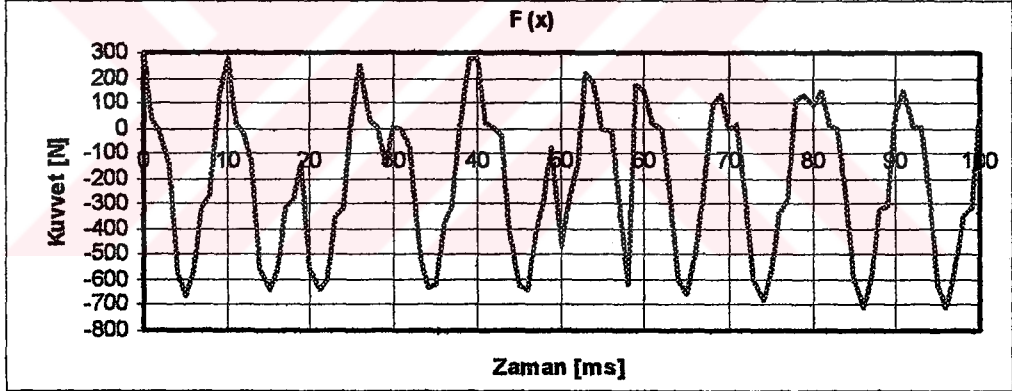
Şekil B. 21. Poliamid'in doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



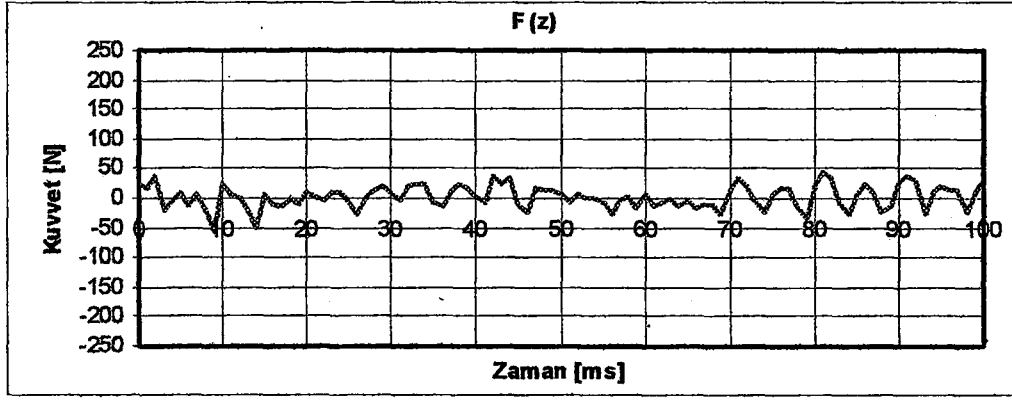
Şekil B. 22. Poliamid'in r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm titreşim grafiği



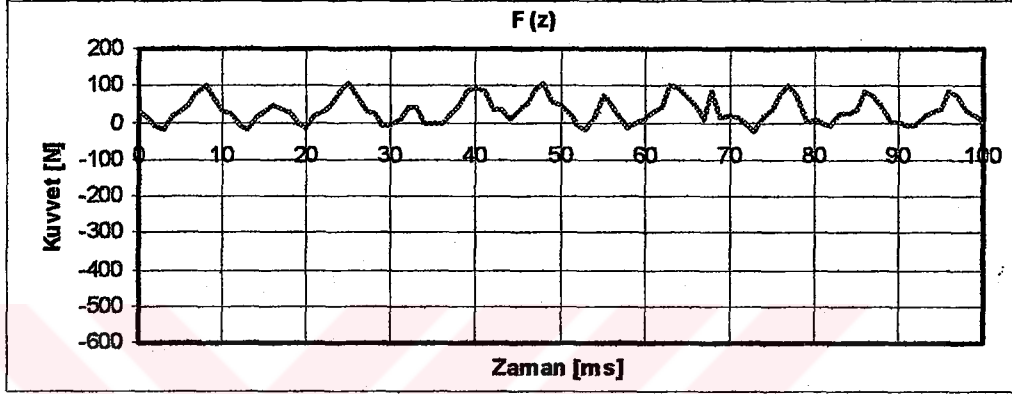
Şekil B. 23. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:100$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



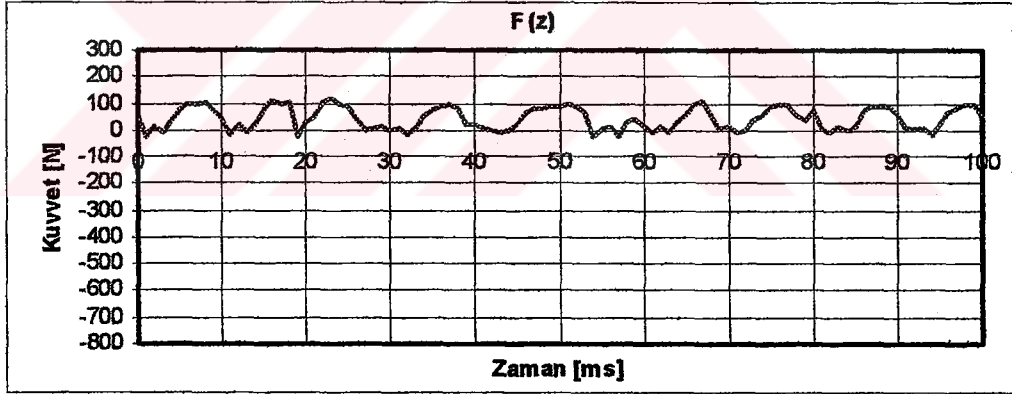
Şekil B. 24. Ç1040 Çeliğinin  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:100$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



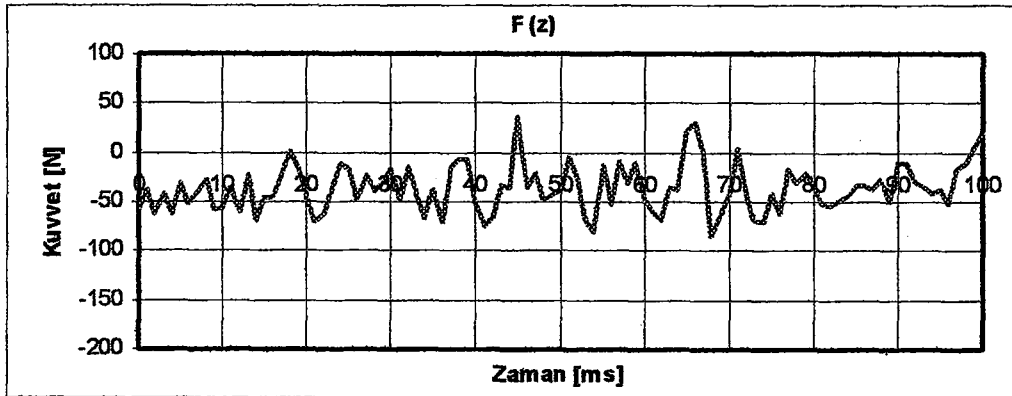
**Şekil B. 25. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:100 mm/min,d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği**



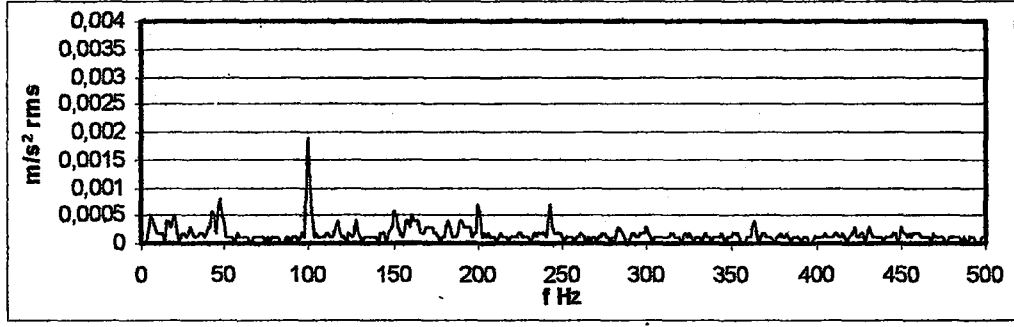
**Şekil B. 26. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100mm/min, d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği**



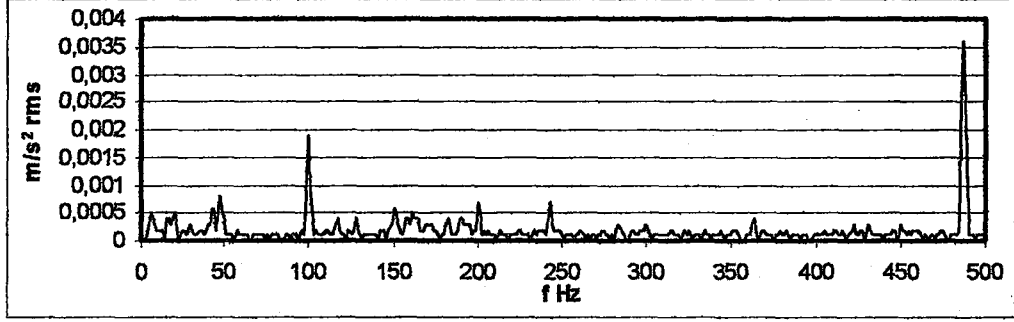
**Şekil B. 27. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min,f:200 mm/min,d:2 mm Z eksenindeki kuvvet grafiği**



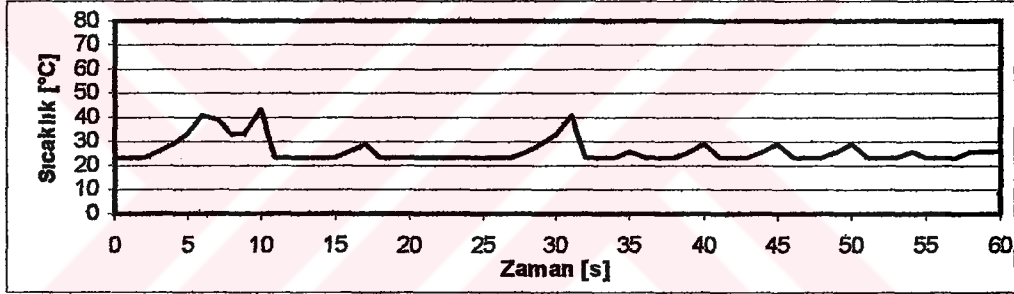
**Şekil B. 28. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000dev/min, f:200mm/min,d:2mm Z eksenindeki kuvvet grafiği**



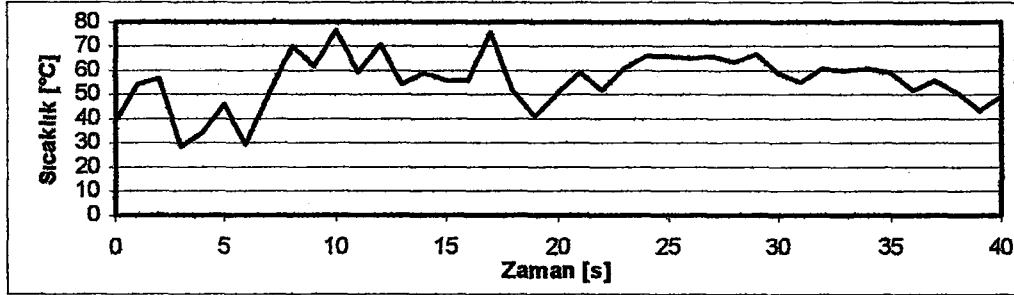
Şekil B. 29. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



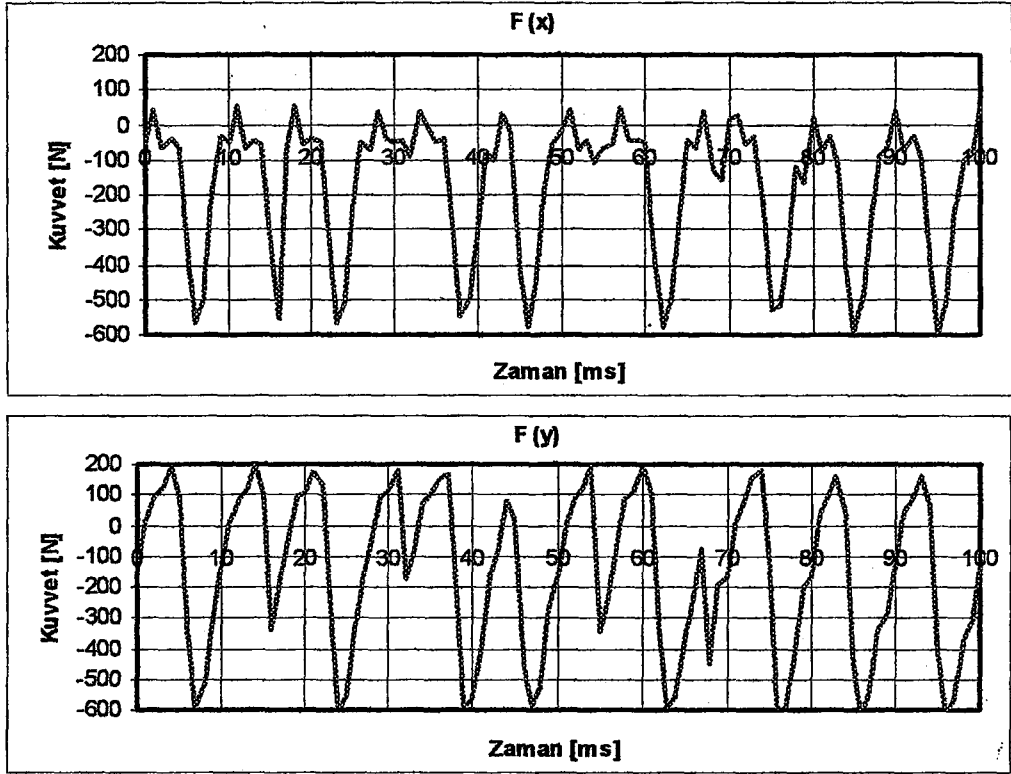
Şekil B. 30. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm titreşim grafiği



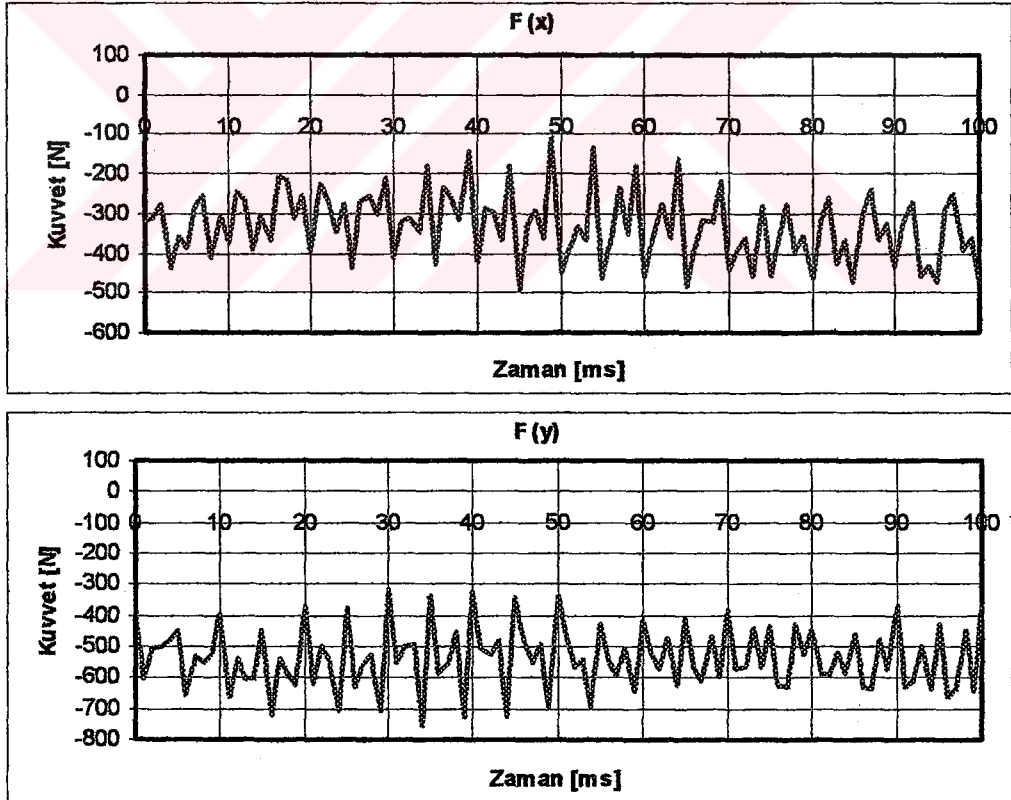
Şekil B. 31. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



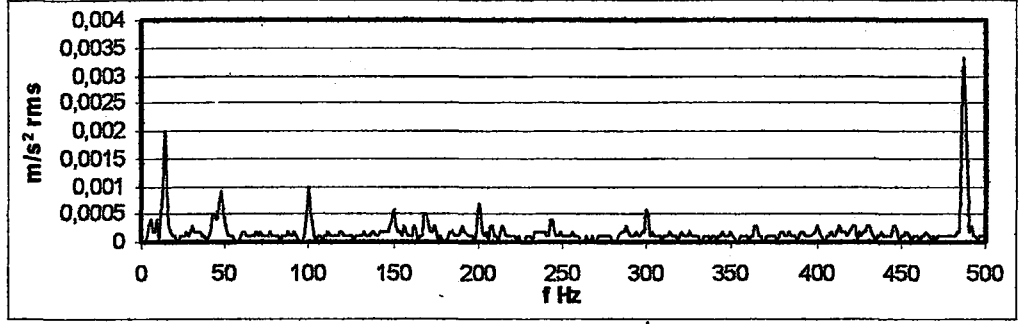
Şekil B. 32. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:100 mm/min, d:2mm sıcaklık grafiği



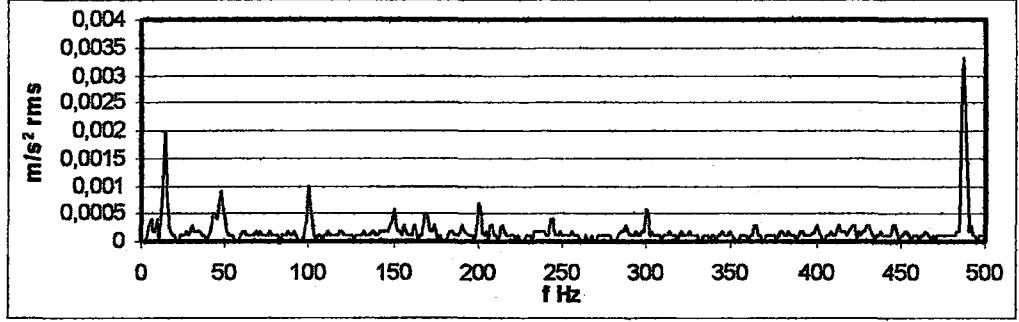
Şekil B. 33. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



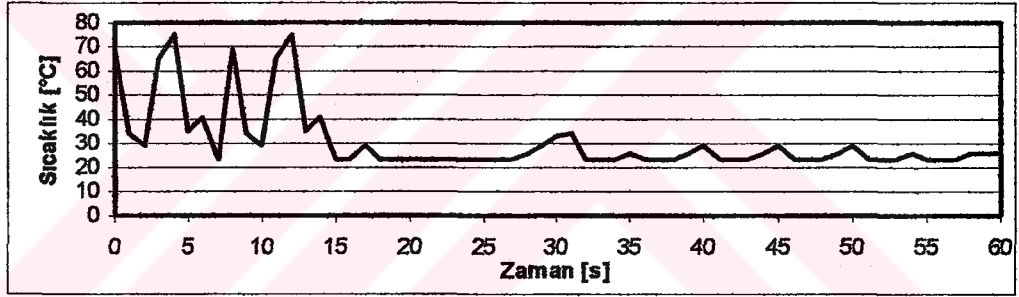
Şekil B. 34. Ç1040 Çeliğinin  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min, $f:150$  mm/min, $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



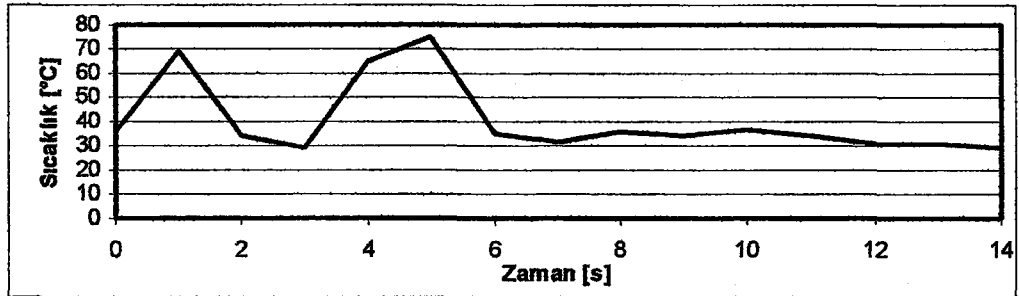
Şekil B. 35. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



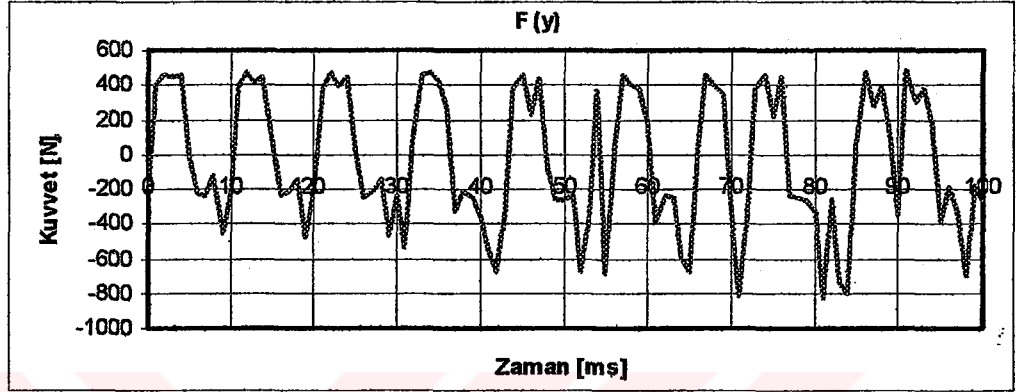
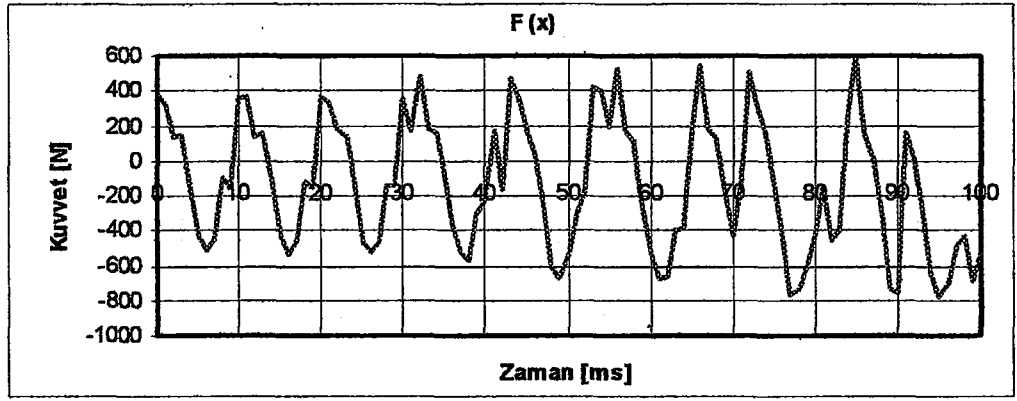
Şekil B. 36. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm titreşim grafiği



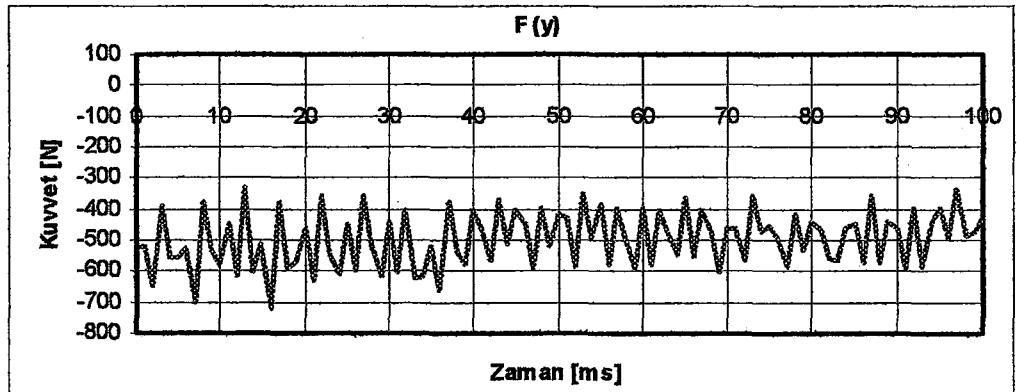
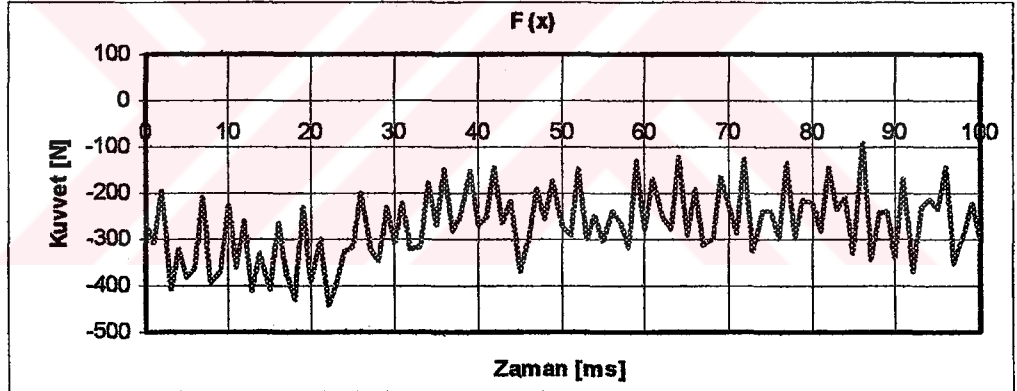
Şekil B. 37. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



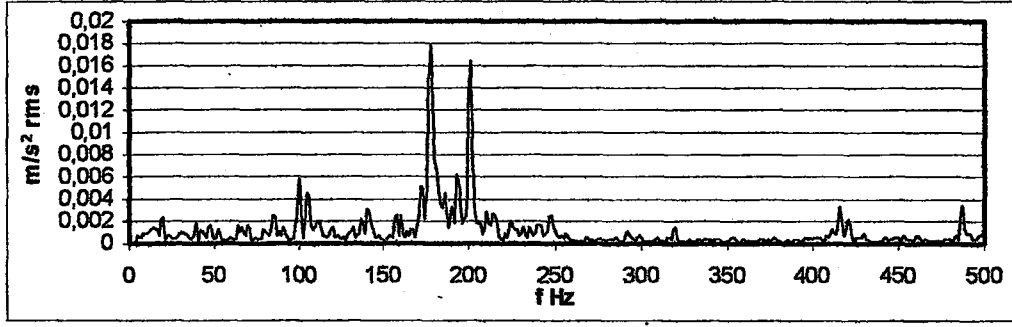
Şekil B. 38. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:150 mm/min, d:2mm sıcaklık grafiği



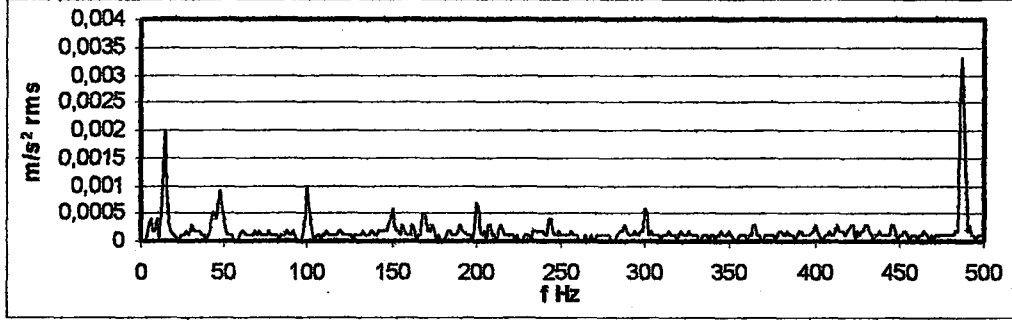
Şekil B. 39. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:200$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



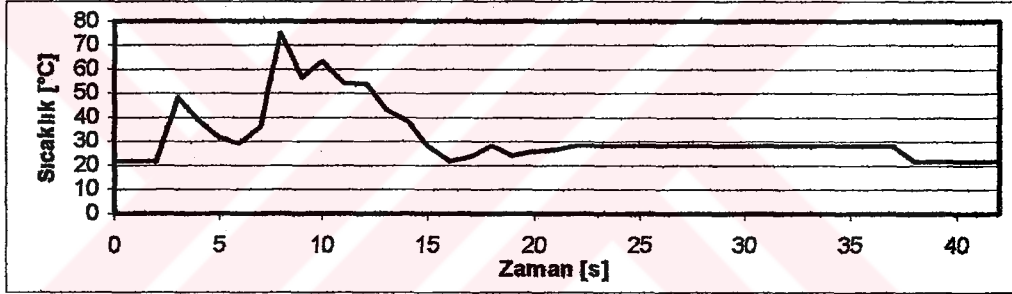
Şekil B. 40. Ç1040 Çeliğinin  $r:10$  mm'lik dairesel takım yolunda  $n:1000$  dev/min,  $f:200$  mm/min,  $d:2$  mm X ve Y eksenindeki kuvvet grafiği



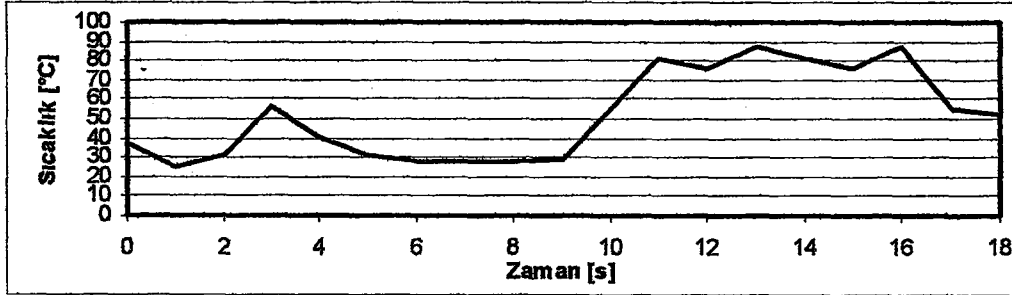
Şekil B. 41. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min, d:2 mm titreşim grafiği



Şekil B. 42. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min, d:2mm titreşim grafiği



Şekil B. 37. Ç1040 Çeliğinin doğrusal takım yolunda n:1000 dev/min, f:200 mm/min, d:2 mm sıcaklık grafiği



Şekil B. 44. Ç1040 Çeliğinin r:10 mm'lik dairesel takım yolunda n:1000 dev/min, f:200mm/min, d:2mm sıcaklık grafiği

# ÖZGEÇMİŞ

## GÜRCAN ATAKÖK

**E-mail** : gatakok@hotmail.com, gatakok@marmara.edu.tr  
**Web** : http://gurcanatakok.tr.cx, http://turkiye2000.cjb.net

### KİMLİK BİLGİLERİ

**Doğum Yeri** : İstanbul  
**Doğum Tarihi** : 10.05.1978  
**Yabancı Dili** : İngilizce, Almanca  
**Uzmanlık Alanları** : CAD / CAM sistemleri, bilgisayar programlama

### AKADEMİK ÜNVANLARI (Üniversitesi ve Tarihi)

**Lisans** : Marmara Ü, Teknik Eğitim F, Makine Eğt. Bölümü, Enerji Eğt. Ana Bilim Dalı, 18.06.2001  
**Yüksek Lisans** : Marmara Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğt. Programı  
**Halen** : Marmara Ü, Teknik Eğitim F, Makine Eğt. Bölümü, Araştırma Görevlisi