

14710

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BALIKESİR MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HALATLI KALDIRMA DÜZENEKLERİNDE
POLİAMİD ESASLI MALZEMEDEN YAPILMIŞ MAKARALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ ORAL

Balıkesir, Haziran 1991

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BALIKESİR MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HALATLI KALDIRMA DÜZENEKLERİNDE
POLİAMİD ESASLI MALZEMEDEN YAPILMIŞ MAKARALARIN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ ORAL

Sınav Günü : 19.6.1991

Jüri Üyeleri : Yard.Doç.Dr.Nedim GERGER
(DANIŞMAN)
Prof.Sabri SAVAŞ
Yard.Doç.Dr.İrfan AY

Balıkesir, Haziran 1991

ÖZET

Bu çalışmada, halatlı kaldırma düzeneklerinde plastik malzemelerden (poliamid) yapılmış makara kullanıldığında elde edilen avantajlar ve dayanım açısından poliamid makaraların kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışma teorik ve deneysel olarak iki bölümden oluşmaktadır.

Teorik bölümde, makaralı kaldırma düzeneklerinin genel yapısı, halatların işletme ömrüne etki eden faktörler, makara malzemesi olarak plastikler ve poliamidler incelenmiştir.

Deneysel çalışmaların yer aldığı bölümde; deneyin amacı, bilinen deney prensipleri ve deney cihazının modellenmesinden sonra, çelik ve poliamidden yapılan makaralar, önceden belirlenen deney koşulları altında ayrı ayrı denenmiştir.

Bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre; çelik makaralar yerine plastik makaralar kullanıldığında halat işletme ömrünün arttığı ve poliamid makaranın boyutları çelik makaralara benzer şekilde tasarlandığında mukavemet açısından önemli farklılıklar gözlenmemiştir.

ABSTRACT

In this study, the main advantages of the usage of plastic (poliamides) pulleys for the wire rope equipments and their applications in view their strengths are searched.

This study consists of theoretical parts and experimental parts.

In the theoretical part, the general structure of pulley equipments, the factors affecting the economic lives of wire ropes and properties of plastic materials especially poliamides have been examined.

In the experimental part, firstly, the objectives and kinds of experiments and experimental principles to be follow are determined. Secondly, the pattern of experimental equipments is decided. And then, steel and poliamid pulleys are tested under the predetermined conditions.

As a result, It is found that the usage of poliamid pulleys instead of steel ones increases the economic lives of wire ropes. On the other hand, if the dimentions of the poliamid pulleys are designed similar to the steel pulleys, important differences between the pulleys from the strength point of view are not observed.

ÖNSÖZ

Son yıllarda plastik malzemelerin makina sanayiinde kullanımının hızla arttığı görülmektedir.

Plastik malzemelere; hafif oluşu, korozyona dayanıklılığı, çalışma gürültüsünün azlığı, yağlama olmaksızın kullanılabilirliği gibi özellikleri ile geleceğin yapım malzemesi olarak bakılmaktadır.

Ülkemiz, Avrupa ülkeleri arasında en az plastik üreten ve tüketen ülke durumundadır. Üretimin düşük oluşu bu malzemelere talebin azlığından kaynaklanmaktadır. Bu malzemelere olan talebin azlığı; proje mühendisinin konstrüksiyonlarda ilk olarak metalik malzemeleri düşürmesinin yanısıra bu konuda yeterli bilgi birikiminin olmayışından kaynaklanmaktadır.

Bu konudaki bilgi birikimi eksikliğini giderilmesine az da olsa katkıda bulunmak amacıyla, tez çalışması olarak bu konuyu seçtim.

Çalışmamın yürütülmesinde değerli fikirlerini esirgemeyen ve her türlü desteği sağlayan saygıdeğer hocam Yrd.Doç.Dr.M.Nedim GERGER'e şükranlarımı sunarım.

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere makara numuneleri için poliamid malzeme yardımında bulunan Polikim A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı Sinan ARAL'a, halat numunesi sağlayan ve yaptığımız deneyler sonunda bu numunelerin kopma yüklerinin tayininde yardımcı olan Çelik Halat A.Ş. 'nden Met.Yük.Müh.İlhan GÜMÜŞ'e, poliamid makaraların normal yüklemelerde denenmesine olanak sağlayan Balıkesir T.S.K.1012. Ana Tamir Fabrikası Teknik Müdürü Yarbay Fevzi AKKURT'a, çalışmalarımnda değerli yardımlarını esirgemeyen öğretim üyesi ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma, deneylerimin yapımında emeği geçen Fakültemiz teknisyenlerine ve tezimin yazımında emeği geçen Fakültemiz elemanlarına teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, yaşantım boyunca olanaklarını aşan ölçülerde maddi ve manevi yardımını esirgemeyen aileme de şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
BÖLÜM-1 GİRİŞ	1
BÖLÜM-2 MAKARALI KALDIRMA DÜZENEKLERİNİN GENEL YAPISI	4
2.1 Çelik Esaslı Makaraların Zorlanma Şekilleri ve Boyutlandırma Esasları	7
2.1.1 Zorlanma Şekilleri	7
2.1.2 Boyutlandırma Esasları ve Hesap Yöntemi	9
2.2 Makara Ömrüne Etki Eden Faktörler	11
2.2.1 Yorulma ve Yorulma Aşınması	12
2.2.1.1 Yorulma	12
2.2.1.2 Yorulma Aşınması	12
BÖLÜM-3 HALATLARIN İŞLETME ÖMRÜ VE ÖMRE ETKİ EDEN FAKTÖRLER ..	14
3.1 Kaldırma Ekipmanlarının Halat Ömrüne Etkisi	15
3.1.1 Makara ve Tambur Boyutları	15
3.1.2 Yiv Şekli	17
3.1.3 Makara Hataları	17
3.1.4 Makara Malzemesi	19
3.2 İşletme Koşulları ve Ortamın Etkisi	19
3.2.1 Yağlamanın Etkisi	20
3.2.2 Temiz ve Tozlu Ortamın Etkisi	20
3.3 Hertz Gerilmeleri	21
3.4 Emniyet Katsayısı ve Seçimi	22
BÖLÜM-4 MAKARA MALZEMESİ OLARAK PLASTİKLER VE POLİAMİDLER ...	24
4.1 Tanımlar ve Plastiklerin Genel Sınıflandırılması	24
4.2 Plastik Malzemelerin Yapıları	25
4.3 Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri	28
4.3.1 Gerilim - % Uzama Eğrileri	28
4.3.2 Mekanik Özelliklerin Sıcaklıkla Değişimi	31
4.4 Plastik Malzemelerde Yorulma	33
4.5 Poliamid Esaslı Malzemelerin Özellikleri	34
4.5.1 Tanıtıcı Özellikleri	34

	<u>Sayfa No</u>
4.5.2 Poliamidlerin Kimyasal Özellikleri	35
4.5.3 Döküm Poliamidin Mekanik Özellikleri	36
4.6 Mukavemet Açısından Kullanılabilirliği	44
BÖLÜM-5 DENEYSEL ÇALIŞMA VE AMACI	47
5.1 Bilinen Deney Prensipleri	49
5.2 Deney Düzeneginin Modellenmesi	51
5.2.1 Tahrik Grubu	51
5.2.2 Makara Sistemi	52
5.2.3 Deney Ortamı	52
5.3 Deney Parametreleri	53
5.3.1 Sabit Parametreler	53
5.3.1.1 Yük	53
5.3.1.2 Devir Sayısı	53
5.3.1.3 Halat-Makara Çapı Oranı	54
5.3.1.4 Yiv Şekli ve Makara Boyutları	54
5.3.1.5 Eğilme Şekli	54
5.3.2 Değişken Parametreler	55
5.4 Halat Numunesi	56
5.5 Ömür Ölçütünün Belirlenmesi	57
BÖLÜM-6 DENEYLER VE SONUÇLAR	59
6.1 Çelik Makara ile Yapılan Deneyler	59
6.1.1 Çelik Makara Deney Sonuçları	60
6.1.1.1 Makaranın Durumu	63
6.1.1.2 Halatın Durumu	63
6.2 Döküm Poliamid Makara Deneyleri	66
6.2.1 Döküm Poliamid Makara ile Yapılan Deney Sonuçları ...	67
6.2.1.1 Makaranın Durumu	68
6.2.1.2 Halatın Durumu	68
6.3 Döküm Poliamid Makaranın Normal Kren İşletmelerinde Denenmesi	71
6.4 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	73
6.4.1 Halat Ömrü	73
6.4.2 Aşınma Kontrolü	74
6.4.2.1 Makara Yiv Profillerinin Karşılaştırılması	75
BÖLÜM-7 SONUÇ	78

TABLO LİSTESİ

- Tablo-1 Halatlı Tahrik Grubu Düzenekleri ve Uygulama Örnekleri
- Tablo-2 Makaralar İçin c Katsayısı
- Tablo-3 Kaldırma İletme Makinalarının Gruplandırılması
- Tablo-4 Bazı Plastiklere Ait Özellik Değerleri
- Tablo-5 Poliamidlerin Su Alma Özellikleri
- Tablo-6 Bazı Malzemelere Ait Birim Aşınma Miktarları
- Tablo-7 Döküm Poliamidin Teknik Özellikleri
- Tablo-8 Yüzey Basınçlarına Bağlı Olarak X Düzeltme Faktörü
- Tablo-9 Çelik Makara Deneylerinde Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Halat Tellerinde Meydana Gelen Dış Tel Kırılma Sayıları
- Tablo-10 Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Tel Kırılma Sayıları
- Tablo-11 Döküm Poliamid Makara Deneylerinde Yük Tekrarına Bağlı Olarak Meydana Gelen Dış Tel Kırık Sayıları
- Tablo-12 Deneyler Sonunda Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Halatların Kopma Yükleri
- Tablo-13 Yük Tekrarına Bağlı Olarak Döküm Poliamid Makarada Meydana Gelen Ağırlık Kaybı

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa No</u>
(Şekil-1) Kren İşletmelerinde İkiz Makaralı Kaldırma Düzeneği	4
(Şekil-2) Çeşitli Asansör Sistemleri	4
(Şekil-3) Açık Ocak İşletmelerinde Kullanılan Makaralı Düzenekler	5
(Şekil-4) Teleferik İşletmelerinde Halat-Makara Düzeneği ...	5
(Şekil-5) Halat ve Makara Yivi Temas Şekli	7
(Şekil-6) Çelik Makara Boyutları	10
(Şekil-7) Çapraz Sarımlı Halatlar İçin D/S 'nin Tel Halat Ömrüne Etkisi	16
(Şekil-8) Yiv Şeklinin Halat Ömrüne Etkisi	17
(Şekil-9) Makara Hataları	19
(Şekil-10) Temiz Ortamda Kuru ve Yağlanmış Halatların Dayanım Ömrü	20
(Şekil-11) Temiz ve Tozlu Ortamda Halatların Dayanım Ömrü ...	21
(Şekil-12) Halatın İşletme Ömrüne Etki Eden Faktörler	23
(Şekil-13) Polimer Zincirleri Arasındaki Çekim Kuvvetleri ...	26
(Şekil-14) Kristallenebilen Polimerlerde Hacim Sıcaklık Eğrileri	27
(Şekil-15) Amorf Polimerlerde Zincirlerin Düzeni	27
(Şekil-16) Kristalitik Polimerlerde Zincirlerin Düzeni	27
(Şekil-17) Teknolojik Plastik Malzemelere Örnek Gerilim - % Uzama Eğrisi	29
(Şekil-18) Değişik Polimerlere Ait Gerilim - % Uzama Eğrileri	30
(Şekil-19) Elastisite Modülünün Sıcaklıkla Değişimi	31
(Şekil-20) Örnek Yorulma Eğrileri	34
(Şekil-21) Sıcaklığın ve Hava Nemliliğinin Elastisite Modülü Üzerine Etkisi	39
(Şekil-22) Sıcaklığın % ϵ Üzerine Etkisi	40
(Şekil-23) Yüzey Pürüzlülüğü İle Sürtünme Katsayısının Değişimi	40
(Şekil-24) Yüzey Basıncı İle Sürtünme Katsayısının Değişimi ..	41
(Şekil-25) Yükleme Zamanına Bağlı Olarak Uzamadaki Değişim ..	41
(Şekil-26) % Nem İle Darbe Mukavemetinin Değişimi	42
(Şekil-27) Sıcaklık İle Darbe Mukavemetinin Değişimi	42

	<u>Sayfa No</u>
(Şekil-26) 3 Nem ile Çekme Mukavemetinin Değişimi	43
(Şekil-28) Sıcaklık ile Çekme Mukavemetinin Değişimi	43
(Şekil-30) 3 0,5 Nem İçeren Döküm Poliamid Makaralar İçin Dönme Hızı ve Sıcaklığa Bağlı Olarak İzin Verilen Yüzey Basıncı Değerleri	46
(Şekil-31) Eğilme Yorulma Deneyi İçin Farklı Test Prensiplerinin Taslağı	50
(Şekil-32) Bir Makaralı Tel Halat Yorulma Düzenegi	52
(Şekil-33) Makara Yiv Şekli ve Boyutları	54
(Şekil-34) Halatın Eğilme Durumu	55
(Şekil-35) Deneyde Kullanılan Çelik Makara	55
(Şekil-36) Deneylerde Kullanılan Poliamid Makara	56
(Şekil-37) 6x12 Lif Özlü Halatın Kesidi	57
(Şekil-38) Çelik Makara - Halat Deneyi	60
(Şekil-39) Yük Tekrar Sayısı ile Tel Kırılma Sayısı Arasındaki İlişki	62
(Şekil-40) 188.500 Yük Tekrarından Sonra Çelik Makara Yivi Üzerinde Oluşan İzler	63
(Şekil-41) Deney Öncesinde Halatın Görünümü	64
(Şekil-42) İlk Tel Kırığının Oluşumu	64
(Şekil-43) Deney Sonunda Halatın Görünümü	64
(Şekil-44) Kullanılmamış Halat Tellerinin Metalografi Mikroskobunda Görünümü	65
(Şekil-45) Deneyden Alınan Halat Telinin Metalografi Mikros- kobundaki Görünümü	65
(Şekil-46) Yorulma Sonucu Kırılmış Halat Telinin Metalografi Mikroskobunda Çekilen Fotoğrafı	66
(Şekil-47) Döküm Poliamid Makara - Halat Deneyleri	67
(Şekil-48) Döküm Poliamid Makara Yivinde Oluşan İzler	68
(Şekil-49) Döküm Poliamid Makara Yivinde Çalışan Halat Telinin Yüzeyi	69
(Şekil-50) Tellerin Birbirine Sürtmesi Sonucu Tellerde Kırılmaya Neden Olan Aşınma	70
(Şekil-51) Döküm Poliamid Makarada Çalışan Halat Telinin Kırılma Yüzeyi	70
(Şekil-52) Maksimum 1 ton Kapasiteli Krende Denenen Döküm Poliamid Makaranın İşletme Sonrası Görünümü	71
(Şekil-53) 1 ton Kapasiteli Döküm Poliamid Makara Yivinin İşletme Öncesi ve Sonrasındaki Görüntüsü	72

(Şekil-54)	Döküm Poliamid Makarada Yük Tekrar Sayısı ile Aşınma Miktarı Arasındaki İlişki	75
(Şekil-55)	$N_T = 0$ ve $N_T = 250.000$ Yük Tekrarından Sonra Çelik Makara Yiv Profilinin, Profil Kontrol Cihazında 10 Kat Büyütülmüş Durumu	76
(Şekil-56)	$N_T = J$ ve $N_T = 250.000$ Yük Tekrarından Sonra Döküm Poliamid Makara Yiv Profilinin, Profil Kontrol Cihazında 10 Kat Büyütülmüş Durumu	77



SEMBOLLER

a	: Basınç yüzeyi yarıçapı	(mm)
c	: İşletme şartlarına bağlı katsayı	
d	: Halat çapı	(mm)
d ₁	: Demet çapı	(mm)
d ₂	: Aks çapı	(mm)
f	: Yük ve eşdeğer yarıçapa bağlı değişken	
D	: Makara çapı	(mm)
E _{1,2}	: Elastisite modülü	(daN/mm ²)
E'	: Eşdeğer elastisite modülü	(daN/mm ²)
F _H	: Halat yükü	(daN)
λ _H	: Toplam halat uzunluğu	(mm)
λ _{He}	: Halatın eğilen kısmının uzunluğu	(mm)
λ _L	: Taşıyıcı yatak uzunluğu	(mm)
L	: Halat ömründe sağlanan artış	
N _T	: Yük tekrar sayısı	
r	: Makara yiv yarıçapı	(mm)
p'	: İşletmedeki yüzey basıncı	(N/mm ²)
Pe'	: Çalışma şartlarına bağlı yüzey basıncı	(N/mm ²)
P _R	: Radyal basınç	(N/mm ²)
P _O	: Hertz gerilimi - Yüzey basıncı	(daN/mm ² - N/mm ²)
R	: Eşdeğer yarıçap	(mm)
Z	: Halattaki demet sayısı	
X	: Düzeltme faktörü	
σ _e	: Eğilme gerilmesi	(daN/mm ²)
F _{ort}	: Ağırlıklı ortalama kopma yükü	(N)
F _{kçort}	: Çelik makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama kopma yükü	(N)
F _{pçort}	: Poliamid makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama kopma yükü	(N)
m	: Ağırlıklı ortalama kopma yüklerinin oranı	
N _{ort}	: Ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı	
N _{pçort}	: Poliamid makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı	
N _{kçort}	: Çelik makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı.	

BÖLÜM - 1

1. GİRİŞ

Yeni bir ürünün, yeni bir makinanın veya mevcut bir makinanın belirli bir kısmının şimdiye kadar kullanılmamış bilgilerin uygulanması suretiyle geliştirilmesi, bilmin, pazarın ve üretimi belirleyen tüm etkilerin değerlendirilmesi ve bunların koordinasyonu işlemlerini kapsar.

Teknik gelişmeler belirlenen hedefe göre üç türlü olabilir;

- 1- Yeni bir makinanın geliştirilmesi (yeni gelişim)
- 2- Gelişimin devamı
- 3- İyileştirme gelişimi.

Yeni gelişim tamamen yeni bir teknik sistemin konstrüksiyon esasının yaratılması, diğer bir ifade ile şimdiye kadar uygulanmamış şekil değişikliğinin uygulanması ile yeni makinelerin geliştirilmesi demektir.

Yeni gelişimde genellikle bir makinanın tümü veya bir makinanın karmaşık parça grupları ele alınır.

Gelişimin devamında, mevcut bir makinada ilave taleplerin yerine getirilmesi doğrultusunda hareket edilir. Bu gelişimde genellikle, bilinen fiziksel prensiplerin uygulanması ile kısmen yeni bir konstrüksiyon esasının yaratılması ve mevcut makinanın kapasitesinin arttırılması amaçlanır.

İyileştirme gelişiminde ise bilinen fiziksel prensiplerin uygulanması ile, mevcut karmaşık ünitelerde veya kısmi sistemlerde münferit parçalara ait yeni konstrüksiyon esaslarınının yaratılması olarak düşünülebilir. Bu tür gelişimlerde makinanın kısmi olarak iyileştirilmesi istekleri yerine getirilir.

Teknik sistemlerin gelişiminde yeni taleplerin karşılanması yanında, kullanılmakta olan teknik yapıtların ekonomik ömürlerinin iyileştirilmesi ve kapasitelerinin iyileştirilmesi arzusu da yatar. Özellikle 20.yüzyılın ilk yarısında başlayan ve son yarısında çok hızlı bir gelişme gösteren teknik yapıtlar, artık ekonomik ömürlerini doldurması nedeniyle değil, daha verimli, daha güvenli ve daha sağlıklı teknik yapıtların ortaya çıkışı ile yerini daha üstün özelliklere sahip olan yapıta bırakmaktadır.

İşletme içi, ambar-ışletme arası ve ışletme stok alanları arası çeşitli malzeme, parça ve insan naklinde kullanılan pek çok iletim araçlarının verimliliği direk olarak imalat verimliliğini etkilemektedir.

Günümüz teknolojisinde, üretim kapasitesi ve verimliliğin arttırılması doğrultusunda yapılan mühendislik çalışmalarının büyük bir kısmı, üretime endirek katkısı olan çeşitli makinaların geliştirilmesi doğrultusundadır.

Palanga, kren, asansörler, havai hatlı taşıyıcılar vb. gibi nakil araçlarının artan kapasite talebini karşılamak için, bu makinaların geliştirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Alışıl gelmiş yapı malzemelerinin -çelik, dökme demir- kullanılması ile artan kapasite, beraberinde ağır ve pahalı konstrüksiyonları getirmektedir. Son yıllarda, özellikle otomobil sanayiinde, tarımsal makinalarda ve büro makinalarında kullanılması gittikçe artan plastik malzemelerin iletim araçlarında da kullanılabilirliğinin araştırılması için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları oldukça ümit vericidir.

Özellikle kaldırma düzeneklerinden makara gruplarının plastik malzemelerden yapılması, konstrüksiyonların hafif olmasından çok bu mekanizmalarda kullanılan halatların plastik malzemelerle çalışmasında artan ömrünün sağladığı avantaj ön plana çıkmaktadır.

Halatların çelik makara ve tamburlar üzerinde sürekli sarılıp boşalmaları sonucunda gerek tekrarlı eğilme, gerekse makara ve tambur yiv yüzeyleri arasında meydana gelen yüksek basma gerilmeleri ve yer yer oluşan Hertz gerilmeleri, elemanların kısa sürede bozulmasına neden olmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda, bu elemanların beklenen süreden çok önce kullanılmaz hale geldikleri görülmüştür. Türkiye'de çimento fabrikalarında halen klinker istiflemeye kullanılan kepçeli kren mekanizmalarındaki halatların ortalama 90 iş günü sonunda, teleferik, maden ve termik santrallerde kullanılan havai hatlı taşıma araçları halatlarının kullanım sürelerinin 1 ile 2 ışletme yılı civarında olduğu görülmüştür. Atölye krenlerinde ise yine beklenen süreden önce bozulduğu görülmüştür. Bu erken bozulmaya neden olan pek çok faktörün etkisinin azaltılması ve ömrün arttırılması doğrultusunda yapılan çalışmalarda, bu elemanların çabuk yıpranmasında, birlikte çalıştığı elemanların etkisi olduğu belirlenmiştir.

Halen kullanılmakta olan makara ve tamburlara uygun yivler açarak, uygun yağlama ile daha uzun bir ışletme ömrüne ulaşmak mümkün olmaktadır.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarla elde edilen bilgilere ve önerilere uyulması halinde mutlaka yararlı sonuçlar elde edilecektir.

Bazen binlerce metre halatın kullanıldığı taşıma sistemlerinde halatın statik yük nedeniyle değil de birlikte çalıştığı tambur ve makara üzerinde tekrarlı eğilme ve yüksek temas basınçlarından bozulduğu ve koptuğu görülmektedir. Kısmi olarak hasara uğrayan halatın bir bütün olarak işletmeden alınması ise büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Tekrarlı eğilmelerin şiddetini makara veya halat çaplarını arttırmak azaltmak mümkün olabilirse de boyutların büyümesi ile hantal ve ağır bir konstrüksiyon elde edilecektir. Dolayısıyla bu iyi bir çözüm olmayacaktır.

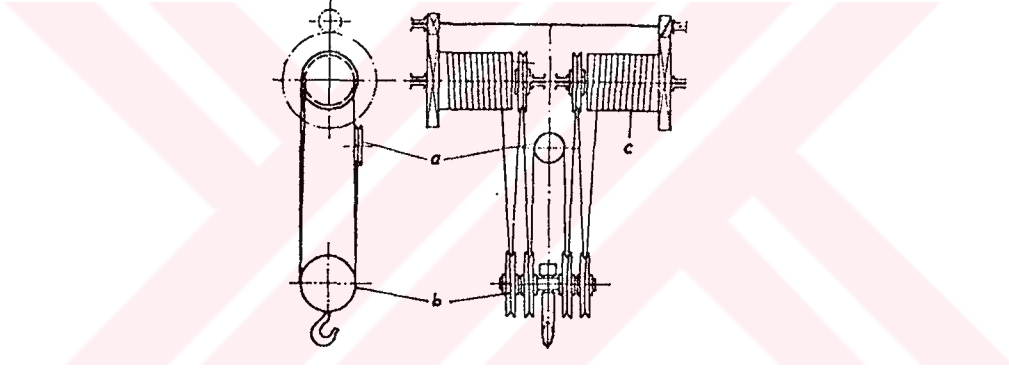
Uygun olabilecek çözümlerden biri makara malzemesinin plastik malzemeden yapılması ile hem temas gerilmelerini azaltmak, hem de hafif konstrüksiyonlar elde etmektir.



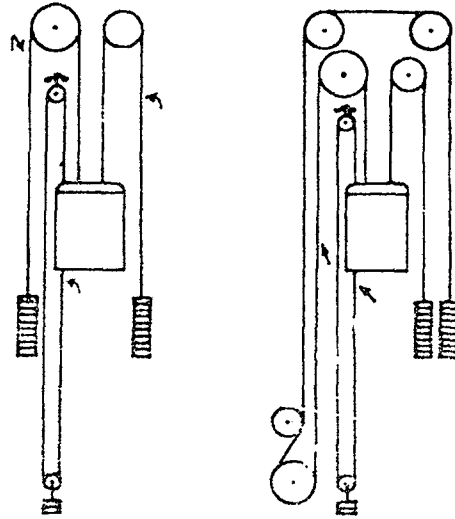
BÖLÜM - 2

2. MAKARALI KALDIRMA DÜZENEKLERİNİN GENEL YAPISI

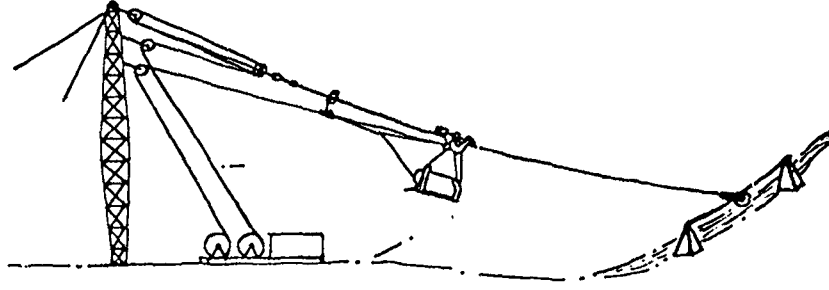
Günümüz teknolojisinde makina sanayiinde geniş kullanım alanına sahip olan ve üretime endirek katkısı olan kren, asansör, liman vinci, inşaat makinaları, teleferikler gibi kaldırma iletme makinalarında, halat ve halat makaraları ana taşıyıcı elemanlardır. Her işletmede farklı işlevleri yerine getiren bu elemanlara ait değişik konstrüksiyonların şematik resimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



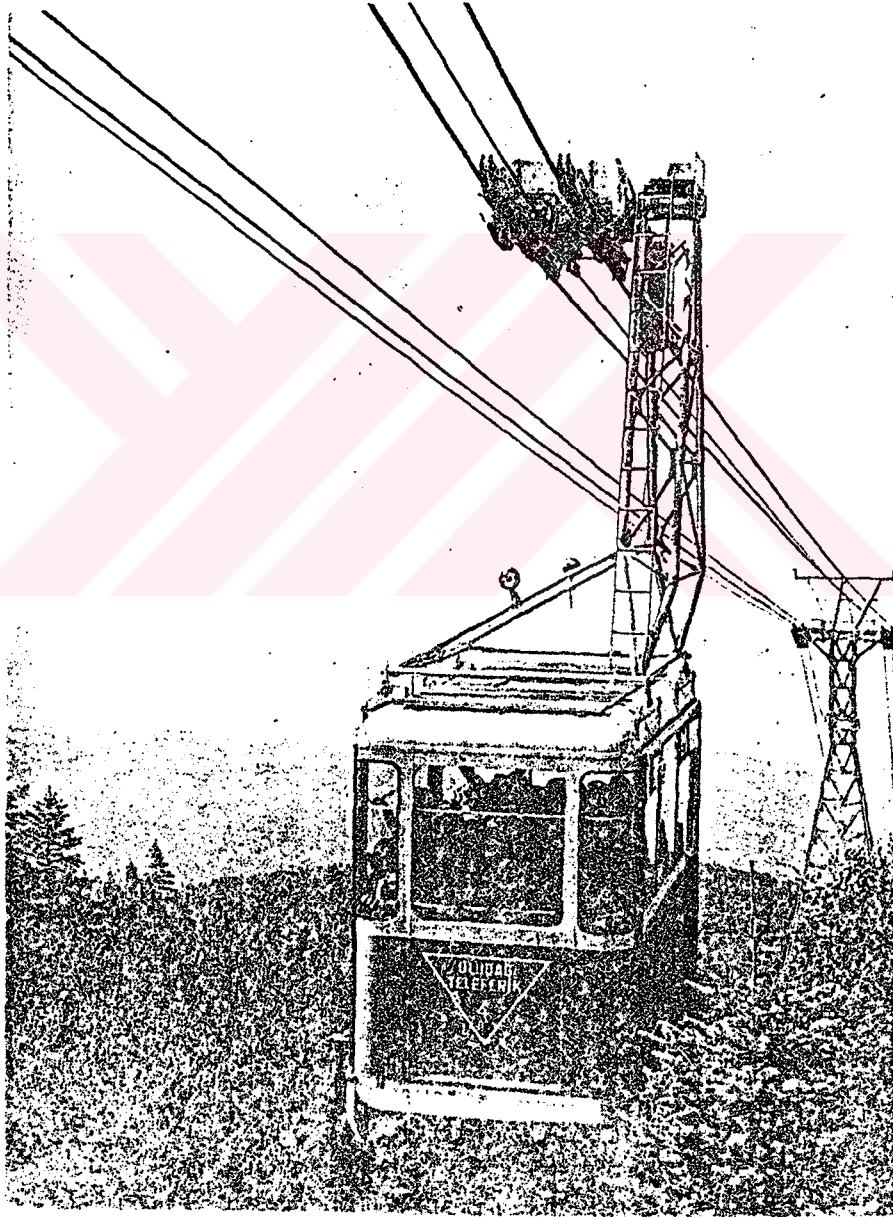
Şekil-1 Kren işletmelerinde ikiz Makaralı Kaldırma Düzeneği (1)
a- Dengeleme Makarası, b- Taşıyıcı Makaralar, c- Tambur



Şekil-2 Çeşitli Asansör Sistemleri (2)



Şekil-3 Açık Ocak İşletmelerinde Kullanılan Makaralı Düzenekler (2)



Şekil-4 Teleferik İşletmelerinde Halat-Makara Düzenegi (2)

Kaldırma düzeneklerinde halatlar, yükü kaldırma ve iletme sırasında makaralar üzerinden geçerken veya tambura sarılırken, aynı yönde veya ters yönde eğilme hareketleri yapmaktadırlar. Bu hareketler işletmedeki halatların kullanım süresini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Tablo-1 'de halatlı tahrik grubu düzenekleri ve çeşitli uygulama örnekleri şematik olarak verilmiştir (3).

Tablo-1 Halatlı Tahrik Grubu Düzenekleri ve Uygulama Örnekleri

Açıklamalar	Halat Tahrik Gruplarının Düzeni Uygulama Örnekleri (Tamburlar çift çizgi ile gösterilmiştir)
Tel halat tambura en fazla - aynı eğilme yönünde 2 makara veya - ters eğilme yönünde 1 makara üzerinden sarılmaktadır.	
Tel halat tambura en fazla - aynı eğilme yönünde 4 makara veya - aynı eğilme yönünde 2 makara ve ters eğilme yönünde 1 makara veya - ters eğilme yönünde 2 makara üzerinden sarılmaktadır.	
Tel halat tambura en azından - Aynı eğilme yönünde 5 makara veya - Aynı eğilme yönünde 3 makara ve ters eğilme yönünde 1 makara veya - Aynı eğilme yönünde 1 makara ve ters eğilme yönünde 2 makara veya - Ters eğilme yönünde 3 makara üzerinden sarılmaktadır.	

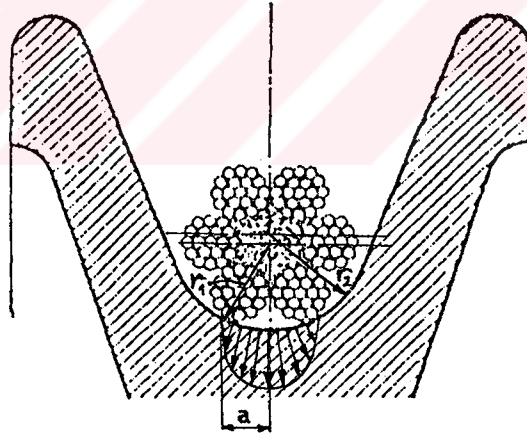
2.1 Çelik Esaslı Makaraların Zorlanma Şekilleri ve Boyutlandırma Esasları

2.1.1 Zorlanma Şekilleri

Kaldırma iletme makinalarında tüm işletme süresince özellikle halat-makara arasındaki noktasal temas sonucu Hertz Gerilimleri ve ilk hareket sırasında genellikle büyüklüğü ihmal edilebilir burulma gerilmeleri meydana gelmektedir.

Makaraların ve dolayısıyla halatın bozulmasında (aşınma, ezilme, kopma vb.) etken olan bu gerilmelerin yanında, makaraların düşey eksenleri arasındaki sapma nedeniyle halat-makara yivi yan yüzeyleri arasındaki sürtünmelerin meydana getirdiği aşınmalar da halat ve makaranın bozulmasında rol oynayan faktörlerdir.

Hertz Gerilimlerinin büyüklüğü halatın dolu silindirik çubuk olarak kabul edilmesiyle çelik halat ve makara çifti için aşağıda verilen genel Hertz denklemleri ile yaklaşık olarak hesaplanabilir (4).



Şekil-5 Halat ve Makara Yivi Temas Şekli (4)

$$P_0 = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi \cdot a^2} \quad (2.1)$$

$$a = 1.145 \sqrt[3]{\frac{P \cdot R'}{E'}} \quad (2.2)$$

(2.2) denklemi (2.1) de yerine yazılırsa;

$$P_o = 0,365 \sqrt[3]{\frac{PE'^2}{R^2}} \quad N/mm^2 \quad (2.3)$$

yazılır.

$$P_o \leq P_{em} \quad (2.4)$$

olmalıdır. Burada :

P : Makara yükü (N)

R : Eşdeğer yarıçap (mm)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \quad (2.5)$$

E' : Eşdeğer elastisite modülü

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \quad (2.6)$$

E₁ : Halat malzemesi elastisite modülü

E₂ : Makara malzemesi elastisite modülü

a : Basınç yüzeyi yarıçapı

Oluşan yüzey basınçlarının E ile doğru orantılı, R(yiv ve halat) yarıçapları ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Eşdeğer elastisite modülünün düşürülmesi, yani yumuşak malzemelerin kullanılması durumunda Hertz gerilimleri düşerek gerek halat gerekse makaranın bozulması gecikecektir.

Halat malzemesinin daha düşük elastisite modülüne sahip malzemelerden yapılması mümkün değildir.

Eşdeğer elastisite modülünün düşürülmesi amacıyla makara yiv yüzeyleri kösele, ağaç, fiber, naylon gibi elastisite modülü düşük malzemeler ile kaplanmıştır (5). Ancak bu uygulamalarda zamanla bazı aksaklıklar ortaya çıkmaktadır. İki sert malzeme arasına sıkışan yumuşak malzeme zamanla yıpranmaktadır. Bununla birlikte 18 ve daha yukarı sayıda makara bulunan kaldırma düzeneklerinde kanca bloku üzerindeki makara ağırlığı yaklaşık 1 ton civarındadır. Bu tür uygulamalarda gerek halat ömrü gerekse makara ömrü açısından çok başarılı sonuçlar alınmadığı gibi makara aksı üzerindeki ağırlığı fazla oranda düşürmek de mümkün olmamaktadır.

Halat makaralarının plastik malzemelerden bir bütün olarak yapılması halinde Hertz gerilimleri makara malzemesi ve halat malzemesinin

elastisite modülleri arasındaki ilişkiye bağımlı olarak bir kaç kat düşecektir. Ayrıca makara malzemesi olarak kullanılacak plastik malzemelerin özgül ağırlıkları 1.05 - 1.2 gr/cm³ arasındadır ve çeliğin özgül ağırlığının yaklaşık 1/7 'si kadardır. Bu özelliği ise konstrüksiyonda hafiflik sağlaması açısından önemlidir. Hafif konstrüksiyonlar ise enerji tasarrufunu beraberinde getirmektedir. Makara yiv yarıçapının büyütülmesi yüzey basıncını azaltacaktır. Ancak yiv yarıçapının fazla büyütülmesi halinde noktasal temaslar sözkonusu olacağından bu boyutun sınırlı tutulması gerekmektedir. Daha önce yapılan deney sonuçlarına göre yiv yarıçapı $r = 0.53 d$ olması tavsiye edilmektedir.

2.1.2 Boyutlandırma Esasları ve Hesap Yöntemi

Halat makaralarının boyutlandırılmasında kullanılan pratik hesap yöntemleri, yaklaşık yarım asır önce başlayan uzun araştırma ve deneysel çalışmaların ışığında elde edilen ampirik bağıntılara dayanmaktadır.

Bu boyutlandırma esasları yalnızca makaranın zorlanma şekline ve malzemesine bağlı olmayıp daha çok işletme süresince ekonomik bir halat ömrünün sağlanmasına dayanmaktadır.

Pratikte halat makaraları (2.7) bağıntısına göre yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Buradan elde edilen makara çapının standartlarda bir üst çapa arttırılması uygundur (6).

$$D = c \cdot \sqrt{F_H} \quad (2.7)$$

Burada ;

D : Makara çapı (mm)

F_H : Halat yükü (daN)

c : İşletme şartlarına bağlı katsayı

c katsayısı çeşitli işletmeler için Tablo-2 'de verilmiştir.

Tablo-2 Makaralar İçin c Katsayısı

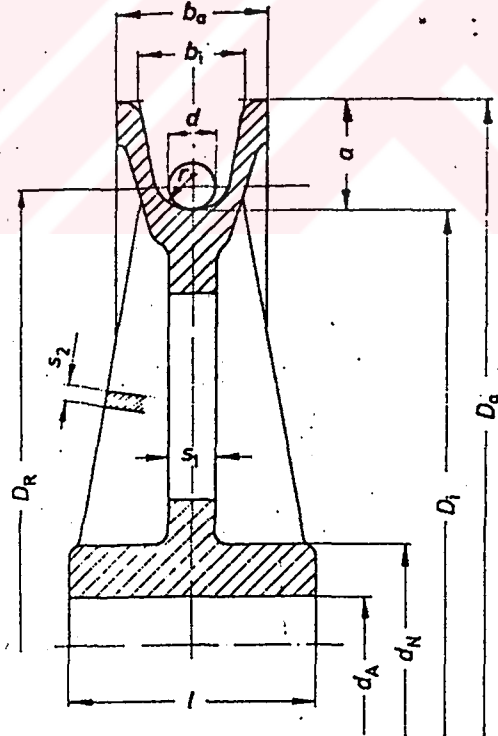
Grup	c
1	5 - 6
2	6 - 7
3	7 - 8
4	8 - 9
5	8 - 9

Tablo-3 Kaldırma İletme Makinalarının Gruplandırılması

Grup	Hareket Şekli	Yükün Şekli
1	Ayarlanmış Hareket	Her yükleme şekli
2	Az tekrarlanan hareket	Yarı yükte
3	Çok tekrarlanan hareket	Yarı yükte
	Az tekrarlanan hareket	Tam yükte
4	Çok tekrarlanan hareket	Tam yükte
5	Çok tekrarlanan hareket	Demirhane Koşulları

(2.7) eşitliğinden elde edilen makara çapı uygulamalarda yeterli olmaktadır.

Makaranın diğer boyutları halat çapına bağlı olarak Şekil-6 'da verilmiştir (1).



Şekil-6 Çelik Makara Boyutları

$$a = (2 - 2,5)d \quad (2.8)$$

$$b_i = (2,5 - 3)d \quad (2.9)$$

$$b_a = (3,5 - 4)d \quad (2.10)$$

$$B = b_a - (10-20) \quad (2.11)$$

$$r = (0,53-0,55)d \quad (2.12)$$

$$s_1 = D/100-10 \quad (2.13)$$

Makaranın kaymalı yataklı olarak kullanılması durumunda L genişliği yüzey basıncına göre (2.14) denkleminde hesaplanır.

$$P = \frac{F}{\ell_L d_2} \leq P_{em} \quad (2.14)$$

Burada :

P : Yataktaki yüzey basıncı (N/mm²)

F : Makara yükü (N)

ℓ_L : Taşıyıcı yatak uzunluğu (mm)

d_2 : Aks çapı (mm)

P_{em} : Emniyetli yüzey basıncı değeri (N/mm²)
(Burç malzemesi için)

2.2 Makara Ömrüne Etki Eden Faktörler

Halatlı donanımlarda makaralar çok değişik işletme koşullarında çalışmaktadır. Her işletme koşullarında makara ömrü farklılıklar göstermektedir. Örneğin, temiz ve yağlamalı ortamda çalışan makaranın ömrü, tozlu, yağlamasız ve korozif ortamda çalışan makara ömrüne göre daha uzun bir işletme ömrüne sahip olacaktır.

Bir çok işletmede makaralar tesis ömrüne eşdeğer ömre sahip kabul edilmekle birlikte, bu makaranın tesis ömrü sonuna kadar güvenilir bir şekilde kullanılabileceği anlamına gelmemelidir. Bölüm 2.1.1 'de anlatılan Hertz gerilimlerinin büyüklüğü ile orantılı olarak, halat zamanla makara yiv boyutlarını kendi boyutlarına kadar aşındıracaktır. Bu durumda yıpranan halatın işletmeden alınıp yeni bir halatın işletmeye sokulması halinde boyutları değişen makara yivi yeni halatı aşırı bir miktar aşındırarak halatın kullanım ömrünün düşmesine neden olacaktır. Bunun yanı sıra makaraların işletmelerde yükü kaldırma indirme sırasında tekrarlı gerilimlere maruz kaldıkları bilinmektedir. Tekrarlı gerilimler makara yiv yüzeylerinde zamanla çizikler ve kırıntılar meydana getirmektedir. Bu oluşum yorulma olarak tanımlanmaktadır.

2.2.1 Yorulma ve Yorulma Aşınması

2.2.1.1 Yorulma

Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda gerilmeler, parçanın statik dayanımından küçük olmasına rağmen, belirli bir yük tekrar sayısı sonunda yüzeyde çatlama ve bunu takip eden kopma olayına neden olurlar (5).

Yorulma adı verilen bu olayın mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Çünkü dinamik zorlanmalara maruz kalan makina elemanlarında görülen mekanik hasarların yaklaşık %90 'ı yorulma sonucunda oluşmaktadır (5).

2.2.1.2 Yorulma Aşınması

Bu aşınma tipi, yüzeylerin tekrarlı gerilmelere maruz kalması sonucu ortaya çıkar. Tribolojik zorlanmalar, mekanik gerilimleri de beraberinde getirdiği için zamana ve yüzey bölgesine göre tekrarlı bir sürtünme olayı önce submikroskopik çatlakların oluşmasına, bunların zamanla büyümesine ve sonuçta aşınma partikülü olarak malzeme kopmasına neden olur. Bu özelliği ile yorulma aşınması hemen hemen bütün aşınma mekanizmalarında bulunan bir olaydır (7).

Yorulma aşınmasının oluşumu, özellikle yuvarlanma hareketi yapan elemanlarda, yuvarlanma hareketi sırasında tekrarlı yükleme etkisiyle malzemenin sürekli mukavemet sınırı aşılsa, pul kalkması suretiyle yüzeyde çok küçük çukurcuklar (pitting) meydana gelir. Bu tür aşınmada ilk parçacığın yüzeyden ayrılmasını takiben parçanın ömrü zamanla son bulur.

Yorulma olayında söz konusu olan pitting ve pitting oluşumu konusunda araştırmacılar şu fikirleri ortaya koymuşlardır:

Faires (1965, Fuchs, Stephens 1980, Colangela 1974). Birbirine karşı yüksek temas basınçları altında çalışan, yuvarlanma veya hem yuvarlanma hem de kayma hareketi yapan elemanlarda bir çok yük tekrarından sonra yüzeyde çukurcukların oluşması ile karakterize edilen bir bozulma olayı meydana gelir. Bu bozulmaya pitting adı verilmektedir. Diğer bir deyişle pitting, malzemenin sürekli mukavemet sınırını aşan sayıdaki tekrarlı yüzey veya yüzeyaltı gerilmeler nedeniyle meydana gelen yüzey yorulmasıdır (8).

Fink (1962), pitting olayını esas itibariyle sürtünme oksidasyonuna bağlamaktadır. Buna göre çok küçük temas yüzeylerinde meydana gelen Hertz Gerilimleri ve özellikle malzeme yüzeyi altındaki maksimum kayma gerilmesi,

orada plastik bir şekil değiştirme meydana getirerek o bölgeyi kimyasal olarak oksitleştirmekte ve difüzyon yolu ile içeriye nüfuz eden oksijenle oksit oluşturmaktadır. Olay, oksitin büyük çentik etkisi ile ilerlemekte ve mevcut hacmin büyümesi sonunda üstündeki zarı patlatarak çukurcuk meydana gelmektedir (7).

Cameron (1961) ve Dudley, maksimum Hertz Gerilmeleri ve yüzeydeki kayma şekline bağlı olarak meydana gelen açma kuvvetleri sonunda dıştan içe doğru çatlakların oluştuğunu, yüzeylerin yağlanması durumunda yağın çatlaktan içeriye girip hidrostatik basınçla çatlağı yürütmesi ve yüzeyden pulcuk kopmasına neden olmaktadır şeklinde bir açıklama getirmiştir.

Yüzeylerdeki çukurcuk oluşumu maksimum kayma gerilmesinin bulunduğu yerde malzemenin yorulması ile açıklandığı gibi, yüzey tabakasında malzemenin plastik akması ile de açıklanmaktadır. Ayrıca malzemeler işletme süresince pekleşme tahribatına uğramakta ve bu ise yüzeyden pulun kalkıp kopmasına neden olmaktadır.

BÖLÜM - 3

3. HALATLARIN İŞLETME ÖMRÜ VE ÖMRE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Günümüzde yük ve insan taşıyan kaldırma iletme makinalarında kullanılan halatlı donanımlarda yapılacak ana işin emniyetli olarak yerine getirilmesi, tel halatların emniyetli oluşuna bağlıdır. Kullanıldıkları sistemlerde insan yaşamını etkileyen bu kaldırma ve iletme ekipmanının imalinde üreticiler ve kullanıcılar bunların ekonomikliğini düşünmesi yanı sıra daha çok düzeneğin emniyetli oluşunu düşünmek zorundadırlar.

Tel halatları, diğer makina elemanlarıyla karşılaştırdığımızda, periyodik muayeneler sonucu gözlemlenen bir hasara kadar güvenilir bir makina elemanı olarak görülmesine karşın, meydana gelen ferdi tel kırıklarının üzerinde özenle durulmalıdır. Halatın hasarına neden olan faktörlerin başında halatın mukavemet sınırını aşan yüklemeler ve diğer işletme şartları gelmektedir.

Halattan beklenen ömrü sağlamak için, işletme şartlarına en uygun halatın seçilmesi gerekir. Yine feci kazalardan kaçınmak için de periyodik olarak muayenelerinin yapılması ve bir bütün olarak kopmadan önce değiştirilmesi için gerekli olan kıstasların tam olarak bilinmesi gerekir (5).

Günümüze kadar yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, halatlar konusunda bir çok bilginin varlığına karşın halatın işletme ömrü ve emniyetinin doğru ve kesin hesabını veren bir bağıntının varolmadığı görülmektedir.

Halat ömrünü etkileyen bir çok faktörün varolması ve bunların kesin bir doğrulukla tespit edilemeyişinedeniyle deneylere ve bazı kabullere dayanan hesaplamalar kullanılmaktadır.

Tel halatın ömrü, işletmedeki halatın emniyet sınırını aşmadan değiştirilmesi gereken zaman olarak tanımlanabilir (5).

Farklı uygulama alanlarında kaldırma ve taşıyıcı eleman olarak kullanılan halatların kısa sürede bozulmasına ve kullanılmaz hale gelmesine neden olan etkenlerin başında, işletme süresince uygulanan kuvvet ve meydana gelen

gerilmelerdir. Bunlar kısaca, sürtünme, eğilme ve çekme gerilmeleri, eksenel dönme kuvvetleri, yorulma ve Hertz gerilmeleridir.

Halatlar bu gerilmelere tek tek veya aynı anda hepsine birden maruz kalabilirler. Özellikle hareketli halatlarda bu gerilmelerin halat kesidine tekrarlı olarak etkimesi, dinamik zorlamalara neden olmakta ve bu da halat ömrünü oldukça azaltmaktadır.

Halat işletme ömrü üzerinde etkili olan faktörlerden biri de malzeme ve imalat kalitesidir.

Halat imalat malzemesinin uygun bir biçimde seçilmesi ile maksimum bir ömüre ulaşmak mümkündür. Malzeme bilimindeki gelişmeleri halat malzemesine yansıtmakla bu sağlanabilir. Ancak, günümüz teknolojisi ve kullanılan malzemelerin sınırlı oluşu ile mükemmel bir halat malzemesinin varlığından bahsedilememektedir.

Isıl işlem, tel çekme ekipmanları, çekme hızı, redüksiyon sayısı ve oranı, kullanılan yağlayıcılar ve sonuçta halat yapım tekniğinin halat ömrüne olan etkisi ihmal edilemeyecek kadar büyüktür.

Halat imalat tekniği ve kalitesinin ömür üzerine etkisi araştırmacılar ve imalatçılar tarafından deneylerle tespit edilmiştir. Bu araştırmalar sonucu yapılan iyileştirme çalışmalarıyla daha uzun ömürlü halatlar imal edilmiştir.

3.1 Kaldırma Ekipmanlarının Halat Ömrüne Etkisi

Bugüne kadar yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, hareketli düzleklerde halatların yıpranma ve kopması büyük oranda üzerine sarıldığı tambur ve makara çapları, makara malzemesi ve yiv şekillerine bağlı olduğu görülmüştür.

3.1.1 Makara ve Tambur Boyutları

Halatta meydana gelen eğilme gerilmeleri pratik olarak (3.1) bağıntısından hesap edilir (9).

$$\sigma_e = E \cdot \frac{d}{D} \quad (3.1)$$

Burada :

E : Elastisite modülü (daN/mm²)

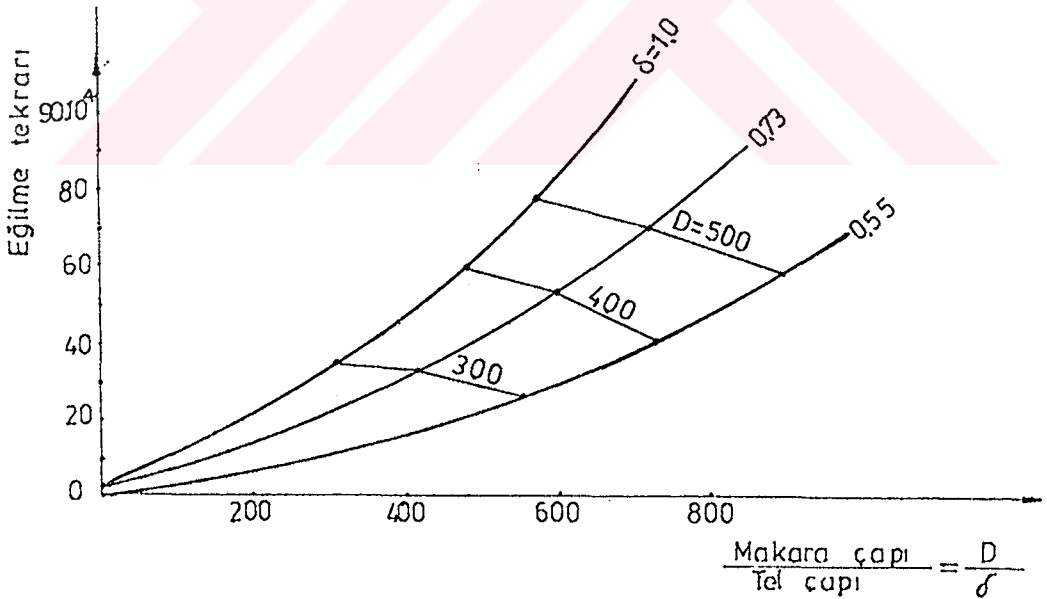
d : Halat çapı (mm)

D : Makara çapı (mm)

(3.1) bağıntısına göre makara veya tambur çapı küçüldükçe halattaki eğilme gerilmeleri artacaktır. Bu ise halat tellerinde erken kırılmalara ve dolayısıyla halatın kullanım ömrünün azalmasına neden olur. Makara boyutlarının arttırılması ile eğilme gerilmelerinin düşürülmesi ve halatın kullanım ömrünün arttırılması düşüncesi ise konstrüksiyon açısından sakıncalıdır. Eğilme gerilmelerinin azaltılması avantajı yanında maliyet artışı dezavantajı yanında ağırlık da artacağından gereksiz enerji sarfiyatı da işletme boyunca görülebilecek dezavantajlardan biri olarak görülür.

Uzun yıllardan beri yapılan laboratuvar çalışmaları optimum makara ve tambur çaplarının (veya D/δ oranının) belirlenmesinde bize yardımcı olmaktadır.

Şekil-7 'de farklı D/δ (makara çapı/tel çapı) oranlarının halat ömrüne etkisi görülmektedir (5).



Şekil-7 Çapraz Sarımlı Halatlar İçin D/δ 'nin Tel Halat Ömrüne Etkisi

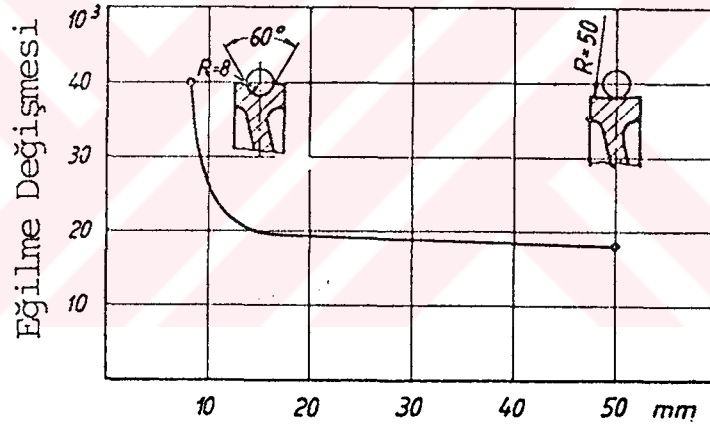
Farklı tel çapları ile yapılan deneylerde optimum D/δ oranının 500 sınırında olması tavsiye edilmektedir.

3.1.2 Yiv Şekli

Araştırmacılar makara ve tambur yüzeyine uygun yiv açılması halinde halatın ömrünün yaklaşık 3 kat artacağını ortaya koymuşlardır.

Halatın makara veya tambur yivine oturması ne kadar iyi olursa, ömür de o kadar uzun olacaktır. Yiv yarıçapı halat yarıçapından çok büyük olduğu takdirde halat daha az sayıda noktalara temas edeceğinden temas (Hertz) basınçları yüksek olur; bunun sonucunda halat ezilir ve yassılaştır. Yiv şekli yuvarlak halat kesidine ne kadar yaklaşırsa temas noktaları sayısı artar, Hertz gerilmeleri düşer ve halatın ömrü artar.

Deneyler, herhangi bir sınırlama olmaması halinde yiv yarıçapının $R = (0,53 - 0,55)d$ alınması ile yeterli bir ömür sağlanacağını göstermektedir, (Şekil-8) (9).



Şekil-8 Yiv Şeklinin Halat Ömrüne Etkisi
(d=16 mm çapraz sarımlı halatlar için)

3.1.3 Makara Hataları

Tesisatta halatın yön değiştirmesini, yükün sistemden sisteme aktarılmasını sağlayan makaraların halat ile uyumu çok önemlidir.

Halatın işletmedeki ömrü makaralara uyması ile doğrudan ilgilidir. Halat ömrünü kötü yönde etkileyen makara hataları çok çeşitli olmakla beraber en çok rastlananlar şunlardır (2).

a- İzli Makaralar

Bazen halat çok ağır yük altında makara üzerinde öyle izler açar ki, bu izlerde halat demetlerinin ve hatta demet tellerinin şekillerini görmek mümkündür. Bu şekildeki bir makara üzerine, başka konstrüksiyon şekline sahip bir halat konursa halat bu izler üzerine oturacak ve bu ise halatta hızlı bir aşınmaya neden olacaktır (Şekil 9-a) (2).

b- Kırık Makaralar

Makaranın yanağından bir parça kırılmış olması kırık kısmın sert kenarlarının halatı kesmesine veya bu noktada halatın makaradan atlamasına neden olur (Şekil 9-b) (2).

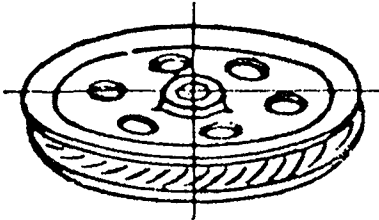
c- Bozuk Kanallı Makaralar

Halatın çok uzun süre bakımsız bir makarada neden olacağı kanallar halat üzerinde deformasyonlara ve istenmeyen titreşimlere neden olur (Şekil 9-c)

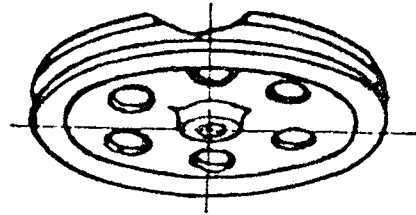
d- Geniş Kanallı Makaralar

Bir makaranın yiv alanı ile temas alanı arasında bir açı meydana geliyorsa halat hareket ettiği yöne bağlı olarak kendi ekseninde dönme-ye zorlanmış olacaktır.

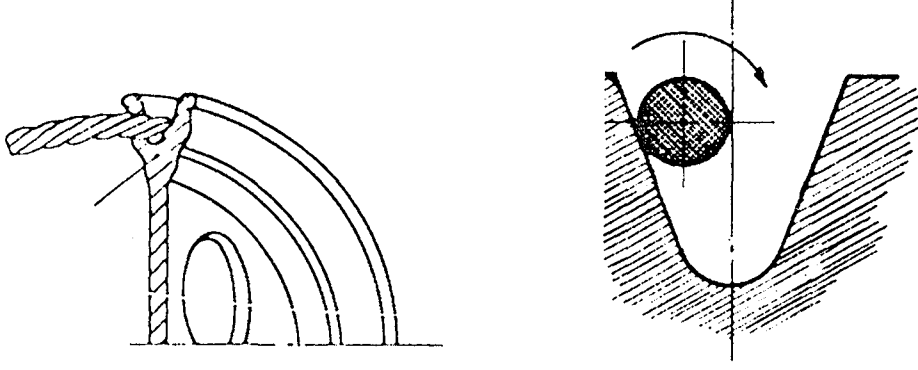
Eksenel dönme halat sarım yönü doğrultusunda ise yükün ağırlığına orantılı olarak halat açılacaktır. Aksi yönde ise halat burulacaktır. Bu ise halatın çok çabuk deforme olmasına neden olur (Şekil 9-d) (2).



a- İzli Makara



b- Kırık Makara



c- Bozuk Kanallı Makara

d- Geniş Kanallı Makara

Şekil-9 Makara Hataları

3.1.4 Makara Malzemesi

Makaralar genellikle yapı malzemesi çelik veya dökme demir gibi elastisite modülü halatın elastisite modülüne yakın malzemelerden yapılmaktadır. Çelik ve dökme demirden yapılan makaralarda oluşan Hertz Gerilmeleri halatın ezilmesine ve aşınmasına sebep olur.

Makara ve tamburlar, tel halat malzemesinin elastisite modülünden daha düşük elastisite modülüne sahip malzemelerden yapılırsa Hertz basınçları azaltılarak halatın kullanım süresi arttırılabilir.

Bu amaçla makaraları uygun bir plastik malzemeden imal etmek uygun olacaktır.

3.2 İşletme Koşulları ve Ortamın Etkisi

Endüstride, halatların her uygulamada farklı zorlanmalara maruz kaldığı gibi, çeşitli uygulamalarda farklı ortam şartları altında çalışabilmektedir; liman ve gemi tesislerinde tuzlu su, dökümhanelerde ısı ve toz, açık yerlerde su ve rutubet, farklı sıcaklık ortamları, kuru veya yağlamalı gibi değişik işletme ve ortam şartlarında çalışmaktadırlar.

Genel olarak, paslanma, aşınma ve sürtünme olaylarına neden olan ortam şartları, halat kullanım süresinin azalmasında oldukça önemli rol oynar.

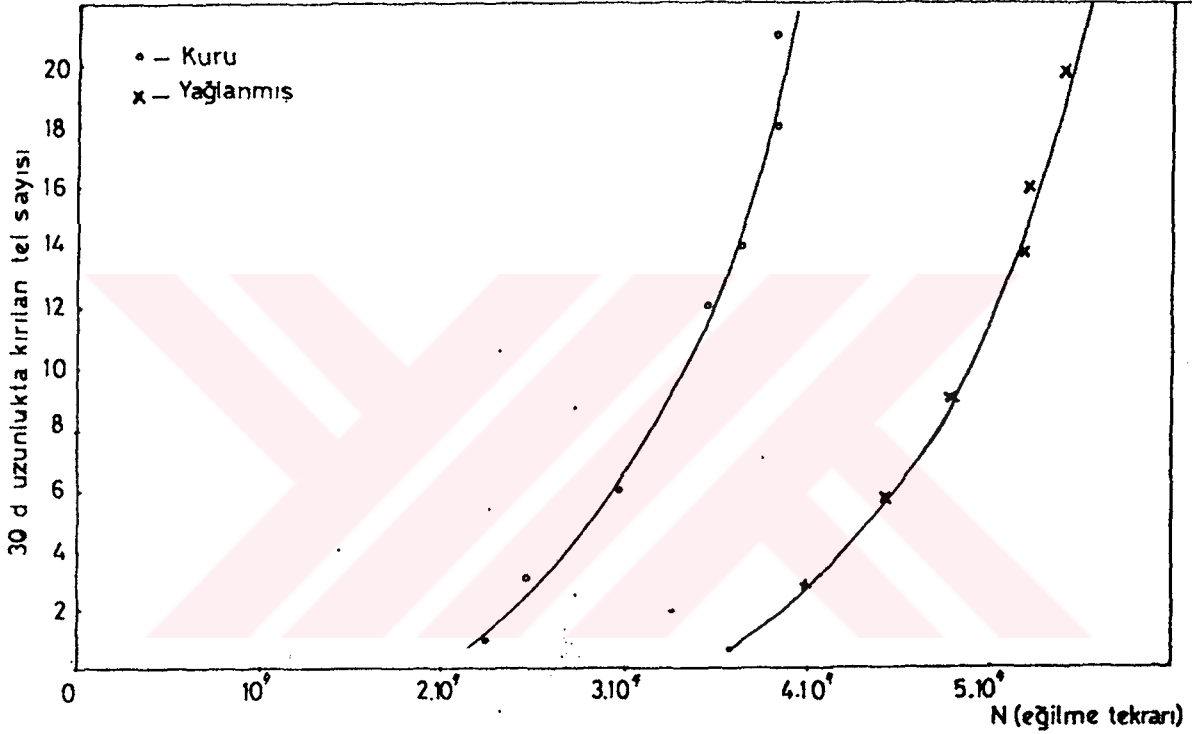
Halatların galvanizlenmesi ve yağlanması ile bu etkilerin azaltılması mümkün olmakla birlikte tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir.

Her ortamın halat kullanım süresi üzerine etkisi farklı olacaktır. Ortam şartlarına göre halatın davranışını ancak deneyler yolu ile görebiliriz. Bu şekilde her bir işletme koşulları için en uygun halat tipi ve konstrüksiyonu belirlenmiş olur.

3.2.1 Yağlamanın Etkisi

Araştırmacılar halat kullanım süresine yağlamanın etkisi olup olmadığını, bir grup deneyde halatın yağlamadan kuru olarak ve diğer bir deney grubunda da yağlama yaparak deneyler ile tespit etmişlerdir.

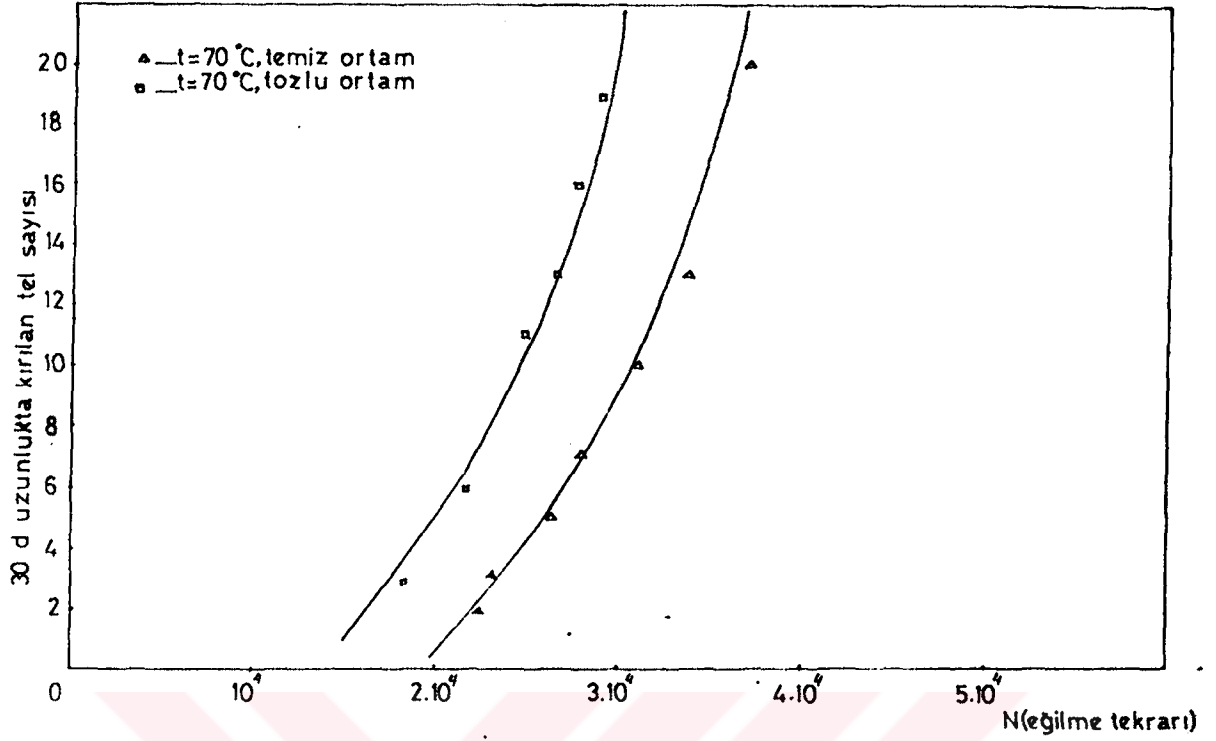
Bu sonuçlara göre halatların yağlanarak kullanılması halinde daha uzun bir işletme ömrüne sahip olacağını göstermiştir (Şekil-10) (5).



Şekil-10 Temiz Ortamda Kuru ve Yağlanmış Halatların Dayanım Ömrü

3.2.2 Temiz ve Tozlu Ortamın Etkisi

Tozlu ortam şartlarının halat kullanım süresini olumsuz yönde etkilediği araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucu ortaya konmuştur (Şekil-11) (5).



Şekil-11 Temiz ve Tozlu Ortamda Halatların Dayanım Ömrü

3.3 Hertz Gerilmeleri

Çekme yükleri etkisinde kalan halatların kordon ve telleri arasında, bu yüklerin meydana getirdiği sıkıştırma sonucu eksene dik radyal basma kuvvetleri oluşur. Bu basma kuvvetleri halatın makara ve tambura sarılması sırasında oldukça büyük değerler alırlar (10).

Meydana gelen bu basınç tellerde kesme gerilmelerine yol açar, halat yapısını bozar ve halatın kullanım ömrünün düşmesine neden olur.

Radyal basınçlar yaklaşık olarak (3.2) denkleminde gösterildiği gibi hesaplanabilir (10).

$$P_r = \frac{F_H}{D \cdot d} \quad (3.2)$$

Burada :

P_r : Radyal basınç (N/mm²)

F_H : Halat yükü (N)

D : Makara çapı (mm)

d : Halat çapı (mm)

Görülüyorki eğilme gerilmelerinde olduğu gibi makara boyutları küçüldükçe radyal kuvvetler de artmaktadır. Bu nedenle konstrüktörün halatı uygun gerilimlerde kullanılacak şekilde boyutlandırması gerekir (10).

3.4 Emniyet Katsayısı ve Seçimi

Halatların kopma yükleri standart çekme deneylerine dayanan sonuçlara göre imalatçı firma kataloglarında belirliidir. İşletmelerde kaldırılıp taşınacak yük olarak halatın kopma yükünü aldığımız takdirde halat işletmeye girdiği anda ömrünü tamamlayacaktır.

Halatlara kopma yükünün bir kaç kat küçük yükleri taşıtabilmekteyiz. Bu işletme ömrü için kesinlikle gereklidir.

Her işletmede yükleme ve gerilmelerin farklılık göstermesi, her işletme için ayrı bir emniyet katsayısı seçimini zorunlu kılmaktadır.

Salt çekiye zorlanan bir halat kesidinde, gerilimler her bir tel aracılığı ile dağıtılmış ve iletilmiş olur. Tel sarım uzunluklarının her demette farklı oluşu, teller arasındaki boşluk, teller ve kordonlar arasındaki sürtünme, halat eksenine göre tellerin farklı konumda olması nedeniyle gerilim dağılımı hesabı her zaman güvensizlik aksettirmektedir (5).

Halat tasarım hesaplarında, teller ve halatın bu karakteristik özelliklerindeki değişkenlik, emniyet katsayısının önemini arttırmaktadır (11).

Tel halatların işletmelerde emniyetli olarak kullanımını sağlayacak olan emniyet katsayısının seçiminde çeşitli laboratuvar deneyleri ve tecrübi bilgiler mühendislere yardımcı olmaktadır.

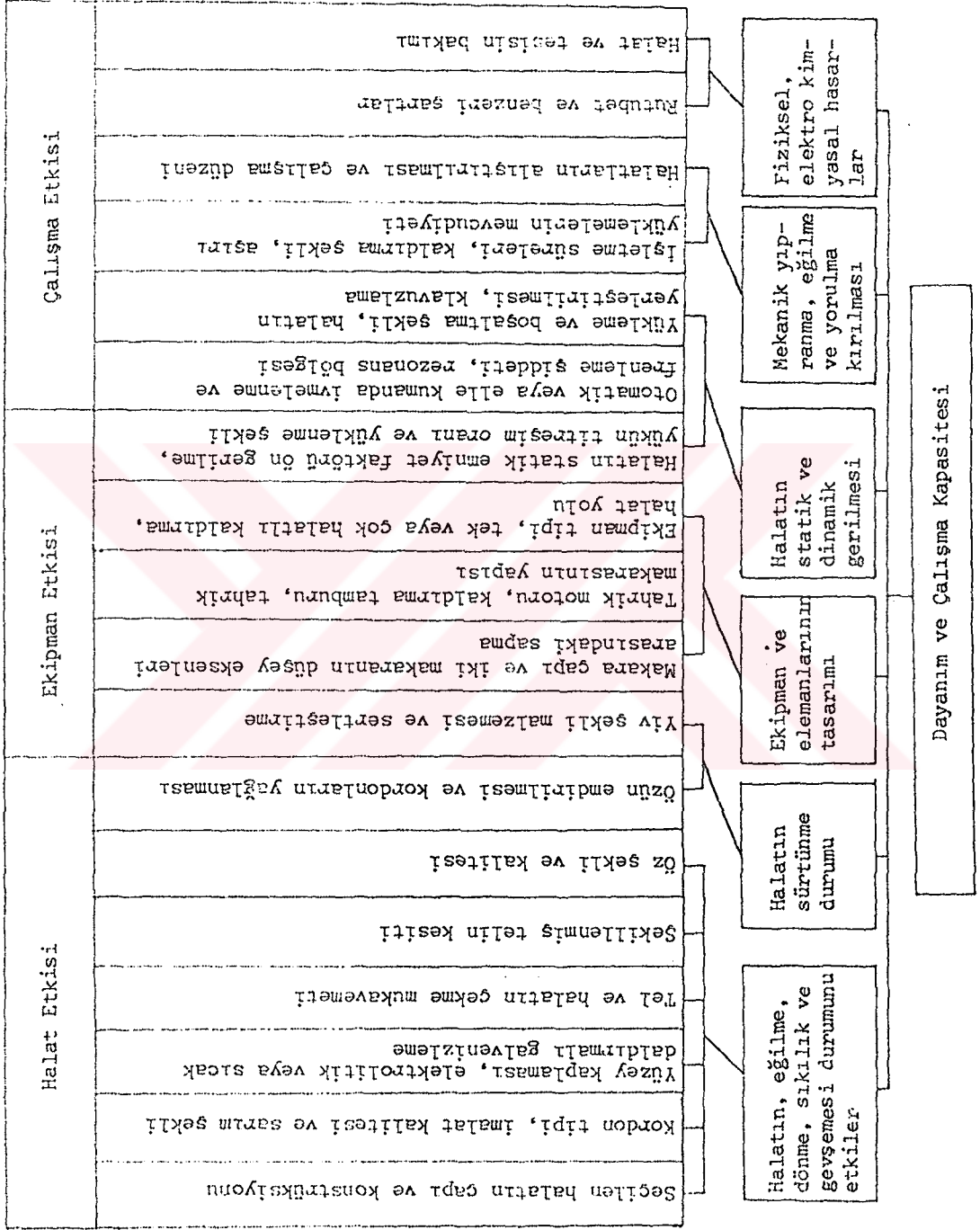
Bu bilgilerin ışığında, emniyet katsayısının seçiminde aşağıda verilen temel ilkeleri kullanabiliriz (11).

Düşük emniyet katsayısı gerektiren koşullar :

- Statik yüklerde
- Kısa işletme sürelerinde
- Halat gerilimlerinin tam olarak bilinmesi halinde

Büyük emniyet katsayısının seçimini gerektiren koşullar :

- Yüksek titreşim yüklerinin olması
- Yük tekrar sayısının fazla oluşu
- Uzun işletme zamanı
- Halat gerilmelerinin tam olarak bilinmeyişi.



Şekil-12 Halatın İşletme Ömrüne Etki Eden Faktörler

BÖLÜM - 4

4. MAKARA MALZEMESİ OLARAK PLASTİKLER VE POLİAMİDLER

4.1 Tanımlar ve Plastiklerin Genel Sınıflandırılması

Bütün malzemeler arasında plastik malzemeler, son yıllarda en büyük üretim ve tüketim artışını göstermişlerdir. Sürekli olarak geliştirilen yeni tip plastik malzemeler, iyileştirilen özellikleri ile yeni kullanma alanlarına kaymaktadırlar.

Teknolojik plastikler büyük moleküllerden oluşan sentetik maddelerdir. Polimer moleküllerini oluşturmak üzere birbirleri ile kimyasal bağ oluşturan küçük moleküllere monomer denir. Polimerin yapı birimleri monomere hemen hemen eşit veya aynıdır. Makromolekül denilen polimer molekülünde bu yapı birimlerinden yüzlerce, binlerce ve bazen daha fazlası birbirine bağlanır (12).

Plastikleri molekül yapıları bakımından termoplastikler, duroplastikler, elastoplastlar ve fluidoplastlar; hammaddeleri yönünden doğal kökenli, yapay kökenli plastikler; üretim yöntemleri bakımından da polimerizatlar, polikondansatlar ve poliadüktler olarak sınıflandırmak mümkündür (13).

Termoplastlar monomerlerin birbirine bağlanarak yaptıkları uzun, makromoleküllerden oluşurlar. Moleküller arası bağ zayıftır. Bu nedenle termoplastiklere, tekrar tekrar ısıtıp şekil vermek mümkündür. Duroplastlarda ise makromoleküller arası bağ daha kuvvetlidir. Ağlaşma söz konusudur ve bu ağlaşma işlemi sıcaklık ve basınç altında olur, tekrar çözülemez. Yapı oluştuktan sonra, ısıtıp tekrar yumuşatmak, başka bir şekil vermek mümkün değildir. Sıcak ortamda kimyasal yapıları bozulana kadar önemli ölçüde yumuşamadıkları için sıcaklığa karşı dayanımları daha fazladır. Elastoplastlar da duroplastlar gibi ağlaşmış moleküllerden oluşurlar. Elastoplastlarda ağ aralıkları duroplastlara göre daha geniştir. Bunları ağlaştırdıktan sonra geçici olarak şekillendirmek mümkündür. Ancak bu şekillendirme kalıcı değildir. Şekil değiştirmeye neden olan kuvvet ortadan kalktıktan sonra eski şekillerini alırlar. Isıtarak şeklini kalıcı olarak değiştirmek mümkün değildir. Fluidoplastlar ise 20°C da akıcı olan, viskozitesi yüksek olan sıvılardır. Yapıları termoplastlara benzer, makromolekülleri ağlaşmıştır. Termoplastlardan farkı makromoleküllerin daha kısa oluşudur (13).

4.2 Plastik Malzemelerin Yapıları

Yapay polimerik maddeler ilk kez geçen yüzyılın başlarında elde edilmişlerdir. İçinde bulunduğumuz yüzyılın başlarında, bu tür maddeler çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere endüstriyel ölçülerde yapıldı. Ancak polimerlere üstün özellikleri kazandıran temel bilimsel ilkeler 1925-1935 yılları arasında yapılan çalışmalarla sağlanabilmıştır (14).

Plastik malzemeler önemlerini kimyasal, fiziksel, elektriksel ve mekanik özelliklerine borçludurlar. Düşük yoğunluklu olduklarından, korozyondan genelde etkilenmediklerinden, ses, elektrik ve ısıyı büyük ölçüde yalıtıklarından çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanımları gittikçe önem kazanmaktadır (13).

Uygulamaların çoğunda plastik malzemelerin üstün özellikleri (birçok durumda da yetersizlikleri) bu malzemelerin hem kullanma koşullarında hem de fabrikasyon sırasındaki mekanik özelliklere dayanır (14).

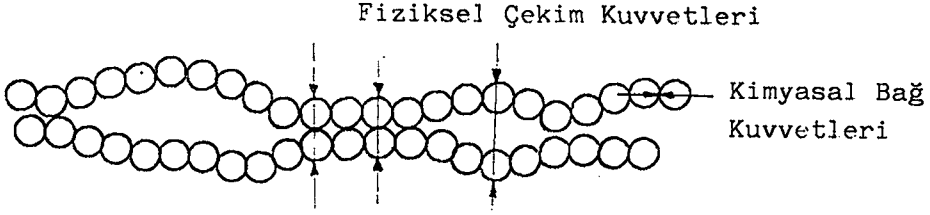
Polimerler katı, sıvı veya çözelti halinde bulunabilmektedirler. Bütün bu hallerde farklı yapı gösterirler. Yapı ile ısı, mekanik ve diğer fiziksel özellikler yakından ilgilidir. Yapıda polimerin yerel yapısını belirleyen kimyasal formülü yanısıra, makro yapısını belirleyen morfolojisi de önemlidir. Morfoloji denilince polimerin katı haldeki yapısında kristalin ve amorf bölgelerin varlığı, bunların büyüklüğü, şekli ve yerleşme düzeni ve yapı içindeki dağılımı akla gelir.

Katı haldeki polimerde üç temel farklı moleküler düzen söz konusudur (12) :

- a- Kristalin yapı
- b- Amorf yapı
- c- Yönlenmiş yapı

Doğrusal bir polimer yeterince yüksek sıcaklıklarda amorf, kauçuksu bir eriyiktir. Zincirler birbiri içersine giren yumak görünümünde olup bir konformasyondan diğerine rastgele dönme ve bükülme hareketleri yaparlar. Yeterince düşük sıcaklıklarda ise aynı polimer sert bir katıdır. Bir polimer soğutulduğu zaman birbirinden ayrı iki mekanizma ile katılaşabilir. Bunlardan biri kristallenme, diğeri camsılaşmadır. Bazı polimerlerde kristalleşme önemli olduğu halde, bazılarında camsılaşma önemlidir. Polimerik bir maddenin ne tür bir uygulamaya elverişli olduğu, başlıca T_e (kristal ergime noktası) ve T_g (camsı geçiş sıcaklığı) ile belirlenir (14).

Polimerlerin kristallenme eğilimleri pratik uygulamalar için büyük önem taşır. Çünkü kristallenme derecesi polimerin termal, mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bir polimerin kristallenme derecesi, moleküldeki yapı birimlerinin kristal düzenine kolayca girebilmesine ve polimer zincirleri arasındaki çekim kuvvetlerine bağlıdır.

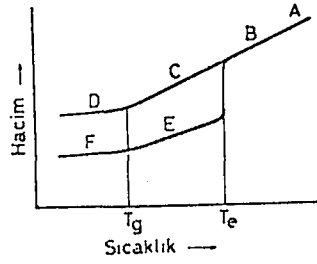


Şekil-13 Polimer Zincirleri Arasındaki Çekim Kuvvetleri

Moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin büyük oluşu polimer zincirlerinin kristalleşmesini kolaylaştırır. Şekil-13 'de monomerleri bir arada tutan kimyasal bağ kuvvetleri oluşmuş ve uzun zincir şeklindeki makromoleküller arasında fiziksel çekim kuvvetleri oluşmuştur. Makromolekül zincirlerinin birbirine yakın olduğu yerlerde fiziksel çekim kuvvetleri daha büyüktür. Bu kuvvetlerin büyük oluşu ile orantılı olarak malzeme mukavemeti de artar.

Düzenli molekül yapısı gösteren organik bir polimerin hacim sıcaklık davranışları Şekil-14 'de gösterilmiştir. Erimiş halde bulunan sıcak bir polimer soğutulursa T_g sıcaklığının biraz altındaki sıcaklıklarda kristalleşme başlar ve bir miktar amorf madde içeren polikristalin kütle elde edilir. Organik polimerler hızla soğutulursa, polimerin çoğu kristallenmeksizin T_g sıcaklığı altına inebilir. Bu durumda termodinamik açıdan metastabil (yarı kararlı) aşırı soğumuş amorf bir madde elde edilir. Moleküllerin dönüp bükülme hareketleri devam ettiği için polimer sert değildir. Sıcaklık daha da düşürülürse moleküllerin hareketleri gitgide yavaşlar ve camsı geçiş sıcaklığının altında durur. Bu durumda polimer sert, kırılkan ve camsı bir katı durumunu alır (12).

Diğer yandan T_g sıcaklığının üstünde ve altında kristalleşme gösteren bir polimerik maddenin fiziksel özellikleri de farklıdır. T_g sıcaklığının altında, polikristalin kütle camsı amorf bir ortamda dağılmış küçük kristallerden oluşur. T_g ve T_e sıcaklıkları arasında ise, kristaller yumuşak bir amorf ortam içinde bulunurlar (14).



Şekil-14 Kristallenebilen Polimerlerde Hacim-Sıcaklık Eğrileri

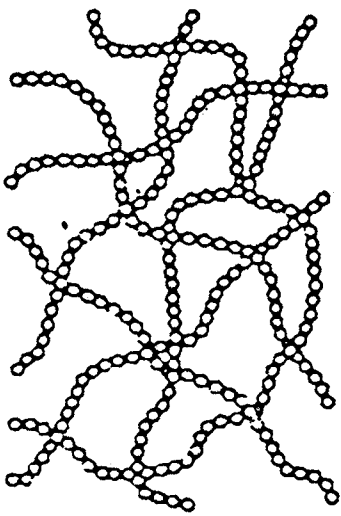
- a- Sıvı bölgesi, b- Hafif esneklik gösteren sıvı
- c- Kauçuksu bölge, d- Camsı bölge, e- Kauçuk,
- f- Camsı matris içindeki kristalsi bölge

Tümü ile amorf polimerler sadece T_g , tümü ile kristalin polimerler sadece T_e geçişi gösterirler.

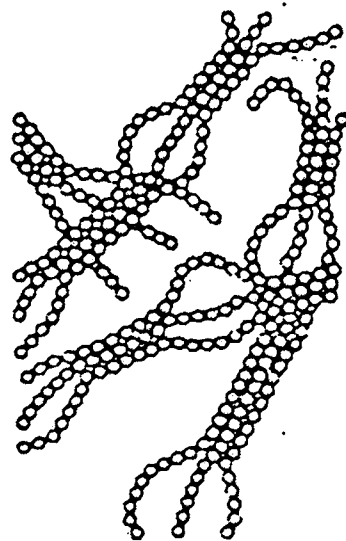
Buradan da anlaşılacağı gibi amorf polimerlerde hacim-sıcaklık davranışı Şekil-14 'deki ABCD eğrisini izler. Burada kristalleşme yoktur.

Şekil-15 'de amorf polimerlerde makromolekül denilen polimer zincirlerinin düzensizliği görülmektedir.

Şekil-16 'da kristallik gösteren polimerlerde polimer zincirlerinin düzeni görülmektedir.



Şekil-15 Amorf Polimerlerde Zincirlerin Düzeni



Şekil-16 Kristalitlik Polimerlerde Zincirlerin Düzeni

Kristalite genel olarak polimerik yapıya ısı ve mekanik dayanıklılık sağlar. Örneğin %5-10 kristalin oranına sahip polimerde hala yüksek oranda esneklik vardır. Malzeme yumuşak ve kağıuçuşumsudur. %70-90 kristallik oranında ise malzeme oldukça sert ve dayanıklı hale geçer (12).

Kristalite ile artan mekanik dayanıklılık ayrıca malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde de iyileşme sağlamaktadır.

Erimiş bir polimer soğutulduğunda gelişigüzel yönlenmede amorf veya kristalin yapı oluşmaktadır. Katılma sırasında polimerik malzeme çekilirse, polimer zincirleri çekme yönünde yönlenecektir. Yönlenmenin oluşabilmesi için yapı içindeki zincirlerin belirli bir hareketlilik içinde olması gerekir. Bu nedenle yönlenme amorf bölgeler üzerinde görülür. Kristalin yapıda yeteri kadar amorf bölge yok ise yönlenme olmaz.

Yönlendirme ile genellikle çekme yönünde ısı ve mekanik dayanıklılık ve buna bağlı özellikler artarken, dik eksen yönünde bu özellikler azalır(12).

4.3 Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Plastik malzemeler yapılarına, işletme tekniklerine ve kullanma yerlerine göre değişen mekanik özellikler gösterirler. Plastik malzemelerden istenilen özelliklerin başında, kullanılacağı yere göre belirli sertlik ve sağlamlıkta olması ve mekanik özellikleri istenilen süre koruyabilmesi gelir.

Genel olarak plastik malzemelerin mekanik özellikleri denilince, dış kuvvetlerin etkisi ile ortaya çıkan uzama, akma, kopma vb. gibi deformasyonlar akla gelir. Plastik malzemelerin en önemli özelliği bu deformasyonların sıcaklık ve zamana bağımlılığıdır.

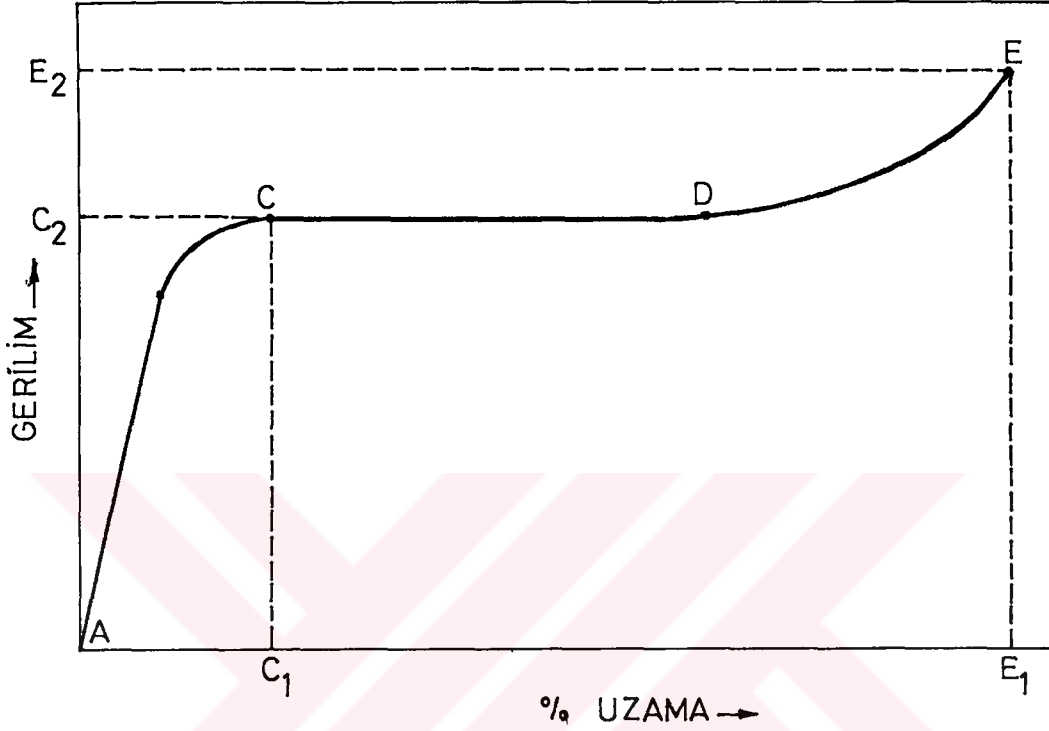
Plastik malzemelerin kısa süreli mekanik özellikleri çekme deneyi ile tayin edilmektedir.

4.3.1 Gerilim - % Uzama Eğrileri

Çekme deneyi sonucu % uzamaya karşı gerilimlerin grafiğe geçirilmesi ile elde edilen eğriler, plastik malzemelerin bir çok özellikleri ile ilgili bilgiler vermektedir. Şekil-17 incelendiğinde bu eğriden elde edilebilecek bilgiler şu şekilde özetlenebilir.

AB bölgesi doğrusaldır ve bu bölgedeki şekil değiştirmeler kalıcı değildir. Şekil değiştirmeye neden olan kuvvet ortadan kalktığında şekil

değişikliği de ortadan kalkar. AB doğrusunun eğimi plastik malzemenin elastisite modülü (E)' nü verir. Doğrunun altında kalan alan ise kalıcı şekil değiştirmeye uğramadan absorbe edebileceği enerji miktarını verir (Rezilyans).



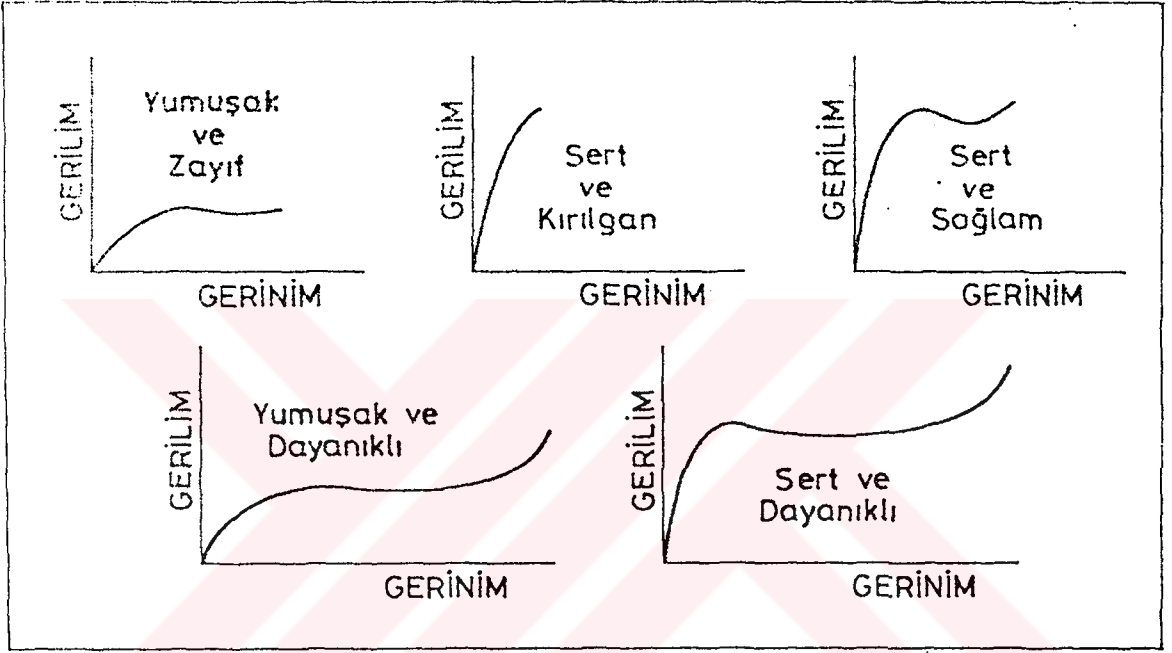
Şekil-17 Teknolojik Plastik Malzemelere Örnek Gerilim-%Uzama Eğrisi

BC bölgesinde ise malzemede az da olsa kalıcı şekil değiştirme görülür. C₂ noktasından okunan değer plastik malzemenin önemli bir kalıcı deformasyon olmaksızın taşıyabileceği yükü, C₁ noktasından okunan değer ise önemli kalıcı deformasyon olmadan uzayabileceği değeri verir. Bu değerler malzemenin elastikiyetini gösterir.

CD bölgesinde uygulanan gerilim değişmediği halde malzeme önemli bir oranda uzamaktadır. Plastik akma olarak adlandırılan bu olay bir çok plastik malzemede görülmekte ve bu olay ile polimerik yapıda grift halde bulunan polimer zincirlerinin ayrılarak birbiri üzerinden kaydığı, aktığı, dolayısıyla şiddetli kalıcı şekil değiştirmenin olduğu söylenebilir.

Gerilim - % uzama eğrisinin DE bölgesinde gerilimde önemli bir artış gözlenir. Bu artış polimer zincirlerinin yapı içinde aşırı yönlendirilmesi sonucu sertliğinin artmasını ifade eder. E noktasında kopma gözlenir.

E_1 noktasından okunan değer kopmada uzama olarak, E_2 noktasından okunan değer polimerik maddenin kopma gerilimini verir. ABCDE eğrisi altında kalan alan malzemenin tokluğunu verir ve bu değer malzemenin sağlamlığının ölçüsüdür. Şekil-18 'de polimerik malzemelere ait değişik gerilim - % uzama eğrileri görülmektedir.



Şekil-18 Değişik Polimerlere Ait Gerilim - % Uzama Eğrileri

Bu eğrileri kısaca şu şekilde açıklayabiliriz :

1- Yumuşak ve zayıf malzemeler; düşük elastisite modüllü, düşük esneme noktası ve orta derecede kopma uzaması olan malzemelerdir.

2- Sert ve kırılğan plastik malzemeler; yüksek elastisite modülü ve tam belli olmayan kopma uzaması vardır.

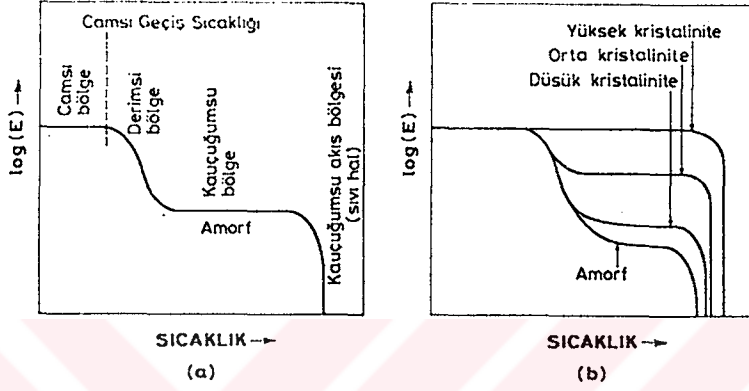
3- Sert ve sağlam plastik malzemeler; yüksek elastisite modülü, orta kopma uzaması ve yüksek kopma gerilimi vardır.

4- Yumuşak ve dayanıklı plastikler; düşük elastisite modülü ve yüksek kopma uzamasına sahiptirler.

5- Sert ve dayanıklı maddeler; yüksek elastisite modülü, yüksek kopma uzaması ve kopma gerilimine sahiptir.

4.3.2 Mekanik Özelliklerin Sıcaklıkla Değişimi

Yukarıda plastik malzemelerin mekanik özelliklerinin sıcaklık ile değiştiğini belirtmiştik. Sıcaklığın gerilim - % uzama üzerindeki etkisini açıklamak üzere sıcaklık - $\log(E)$ grafikleri kullanılabilir. Şekil 19-a 'da amorf, Şekil 19-b 'de amorf ve çeşitli kristallik oranlarına sahip plastik malzemeler için bu değişim gösterilmiştir.



Şekil-19 Elastisite Modülünün Sıcaklıkla Değişimi
a- Amorf Polimer b-Kristalitik Polimerler

Şekilde görüldüğü gibi amorf polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı T_g 'nin altında elastisite modülü daha yüksektir. Camsı geçiş sıcaklığının biraz üstünde ise elastisite modülü değerinde hızlı bir düşüş gözlenir. Kauçuğumsu bölgede hemen hemen sabit kalır. Sıcaklığın daha fazla artması ile (T_e) bu değer hızla sıfıra düşer. Yüksek kristalite gösteren plastiklerde ise elastisite modülü erime sıcaklığına kadar sabit kalır ve bu sıcaklıkta hızla azalarak sıfıra düşer. Yarı kristalin plastiklerde, camsı geçiş sıcaklığı gözleendiği durumlarda, bu sıcaklık değeri civarında elastisite modülü değerinde düşme olur, sonra sabit kalır ve erime sıcaklığına kadar gelindiğinde elastisite modülü sıfıra iner (12).

Sıcaklık ile elastisite modülünün değişimi oldukça önemlidir. Bu olay polimerik maddelerin belirli bir sıcaklığa kadar çalıştırılması gerektiğini göstermektedir. Her plastik malzeme için bu çalışma sıcaklığı belirlidir. Çeşitli plastiklere ait çalışma sıcaklıklarını ve mekanik özellikleri Tablo-4 'te verilmiştir.

Tablo-4 incelendiğinde burada belirtilen plastik malzemeler içinde en iyi mekanik özellikleri poliamid malzemeler göstermektedir.

Tablo-4 Bazı Plastiklere Ait Özellik Değerleri

ÖZELLİĞİ	Silikon Kaugu	Polister Camı Sert	Poliamid A	Epoksi Döküm Reçine	Polüretan, Sert	ND-Polietilen	Politriflorokloretilen	Polistirool	Poliakrilat	Polivinilklorid
Yoğunluk	1,3	2,1	1,2	1,3	1,2	0,94	2,1	1,1	1,2	1,4
Eğme mukavemeti	-	120	90	60..150	30..70	30	60	80	90	100
Çekme mukavemeti	2	60	85	30..80	30..60	20..35	40	40	70	60
Kopma uzaması	100	-	120	-	700	1000	30	10	4	150
Basma mukavemeti	-	150	100	90..150	30..90	28	750	100	100	75
Çentik darbe mukavemeti	-	50	10	1,3	4..15	10	8	2..10	2	3..30
20°C sıcaklıkta günde su alabilme	-	-	7	10	1	7	7	7	7	7
Miktar	-	0,2	-	0,4	2,4	0	0	0,1..2	0,2-0,7	0,03
Martens'e göre şekil dayanıklılığı	-	80..150	65	85..170	60	-	-	70..100	60..80	60..70
Uzun süre ısıya dayanıklılık sıcaklığı	230	110..120	80	50..80	120	90	190	60..90	-	60..70
Ergime sıcaklığı	-	-	200..280	270..350	-	200	300	-	-	-
Dielektrik kayıp faktörü - tgQ ve 20°C da	10	10..40	20..80	4..16	30..65	0,6	2,3	2,5	3	3..20
ve frekansta	50	1000	800	50	800	50	800	1000	800	800

4.4 Plastik Malzemelerde Yorulma

Metallerde yorulma mekanizmaları oldukça iyi aydınlatılmıştır. Polimerlerde ise son derece karmaşıktır ve pratikte matematik analizlerden çok deneysel sonuçlar kullanılır.

Tüm malzemelerde olduğu gibi polimerlerden üretilen malzemeler, fabrikasyon işlemi nedeniyle yapı içinde hatalar içerirler. Bu malzemeler salınımlar halinde değişen gerilim veya gerinim altında kaldığında, mikroskopik hatalardan deformasyon zamanla büyüyüp yayılır ve sonunda malzeme yorulur, kopar. Bu tür yorulma "çatlak yürümesi" olarak adlandırılır. Metallerdeki yorulma genellikle bu şekilde meydana gelmektedir.

Polimerik maddelerde çatlak yürümesi yanı sıra "ısııl yorulma" da önemli bir yorulma şeklidir. Polimerik malzemelerdeki bu fark bunların viskoelastik olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu tür malzemelerde uygulanan gerilim sonucu vizkoz bileşen nedeniyle mekanik iş ısıya dönüşür. Histeresiz olarak bilinen bu olay metallerde düşüktür. Histeresiz sonucu ortaya çıkan ısı polimerin ısı iletim katsayısının düşük olması nedeniyle çevreye yeterli hızda iletilemez ve malzemedeki birikir. Kontrol edilemeyen bu sıcaklık artışı ısııl yorulmaya neden olur (12).

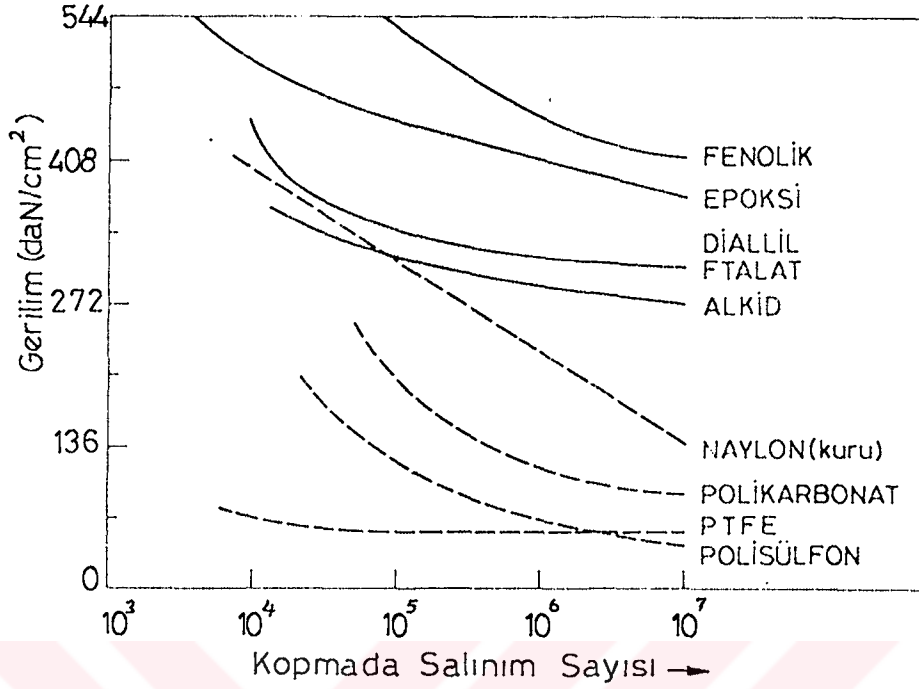
Isıl yorulma, ısı iletim katsayısına, uygulanan yükün değerine, yük salınım frekansına ve deformasyonun oluşma şekline (tek eksenli, bükülme vb) ve malzemenin boyutlarına bağlı olarak polimerden polimere değişir.

Yüksek gerilim ve salınım frekansında çabuk yorulma gözlenir. Şekil-20 'de çeşitli malzemelere ait wöhler eğrileri görülmektedir. Şekildeki sürekli çizgiler termosetlere, kesikli çizgiler ise termoplastiklere aittir. Bu eğrilerin elde edilmesinde uygulanan yorulma deneylerinde salınım frekansı, malzeme boyut ve geometrisi ve çevre koşulları sabit tutulup yalnızca uygulanan gerilim değerleri değiştirilmiştir (12).

Dikkat edileceği gibi termosetler, termoplastiklere göre daha dayanıklıdır.

Termoplastikler içerisinde aynı gerilim değerlerinde naylon (PA)'nın yorulma ömrü daha uzun olmaktadır. Naylonda gerilimin azaltılmasıyla ömür de doğrusal olarak artmaktadır (12).

Buradan da görüldüğü gibi bazı demir dışı metallerde olduğu gibi plastik malzemelerde de yorulma sınırının 10^7 yük tekrar sayısı olarak alınabiliriz.



Şekil-20 Örnek Yorulma Eğrileri

4.5 Poliamid Esaslı Malzemelerin Özellikleri

4.5.1 Tanıtıcı Özellikleri

Poliamidler alev alabilir, alevlendiğinde kendiliğinden yanmaya devam eder. Alevi mavi renkte olup kenarları sarıdır. Damlarken iplikçikler teşkil ederler. Yanmış ölü doku gibi kokar.

Doğal halde krem rengindedir. Oldukça sünek ve sürtünmeden dolayı tozlaşmayan bir polimer olup, titreşimleri sönümlene özelliğine sahiptir.

Poliamidler (PA) ayrıca numaralar ile tanıtılırlar (Tablo-5). Numaralar, monomer içerisindeki CH_2 gruplarının sayısını verir. CH_2 miktarı su alma kabiliyetini etkiler.

PA'nın numarası ne kadar büyük olursa su alma kabiliyeti o kadar azalır, böylelikle parça boyutlarını daha iyi korur.

Yüksek derecede kristalin PA'nın ve cam lifleri ile kuvvetlendirilmiş PA'nın su alma kabiliyeti daha düşüktür (16).

Tablo-5 Poliamidlerin Su Alma Özellikleri

Poliamid Su Alma (% Olarak)	PA 6	PA 6.6	PA 6.10	PA 11	PA 12
20°C'da doyuncaya kadar	9...11	7,5...9	3,5	2,5	2,3
23°C'da, %50 nemli havada	2,9	2,5	1,8	0,8	0,8

Poliamidler yüksek kristal yapıya sahip, bünyesinde amid grubu bulunan, molekül ağırlığı yüksek olan lineer bir polimerdir. Sert ve dayanıklı olan poliamidlerin bir çok çeşitleri vardır (Tablo-5). Bunlar arasında PA 6 ve PA 6.6 en çok kullanılanlarıdır.

4.5.2 Poliamidlerin Kimyasal Özellikleri

Makina sanayiinde, çeşitli makina elemanları olarak kullanılan poliamidler alkollere, ketonlara, aromatlere ve klorlu hidrokarbonlara karşı son derece dayanıklıdır. Ancak asitlere karşı yeterince dayanıklı değildirler.

Poliamidlerin gıda maddeleri ile temasında insan sağlığını kötü yönde etkileyici etkisi yoktur. Yani kimyasal yapısında insan yaşamını etkileyen bir madde yoktur (17).

Poliamidler kimyasal olarak üç değişik yöntemle üretilebilir (18):

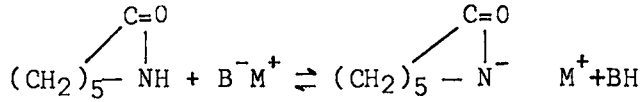
- 1- Aralıklı üretim yöntemi
- 2- Sürekli üretim yöntemi
- 3- Laktamların anyonik polimerizasyonu ile.

Bu üç üretim yöntemi arasında poliamidlerin makina elemanı olarak kullanımını sağlayan mekanik özellikleri en iyi şekilde laktamların anyonik polimerizasyonu yöntemiyle üretildiğinde elde edildiği çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

Monomer döküm tekniği de denilen bu yöntemde polimerizasyon işlemi kalıpta gerçekleştirilmektedir. Polimerizasyon dört kademede gerçekleştirilir :

- 1- Monomerin eritilmesi
- 2- Katalizör ve aktivatör ilavesi
- 3- Erimiş maddelerin karıştırılması
- 4- Kalıplama ve polimerizasyon

Alkali metaller, metal hidrürler, metal amidler, organometalik bileşikler laktam anyonu oluşturarak, bu tür monomerleri polimerleştirirler. Kaprolaktam;



reaksiyonu ile laktam anyonunu verir (14).

Laktam monomeri sıcaklık kontrolü yapılarak eritilir. Erimiş laktam rutubetten titizlikle korunmaktadır. Çünkü az miktarda rutubet katalizörün bozulmasına neden olarak polimerizasyonu önler. Erimiş laktam ikiye ayrılır. Bunlardan birine katalizör, diğerine aktivatör ilave edilir. Her iki çözelti kalıba dökülmeden önce karıştırılır (18). Erimiş haldeki laktam monomerleri 50°C da kalıba dökülür. Polimerizasyon 15 dakika civarında biter, fakat dökümün kalıptan ayrılma süresi 30 dakika civarındadır. İşlem sırasında basınç çok düşüktür (19).

Monomer döküm prosesinde özellikle malzemelerin performansı ile ilgili olarak normal ekstrüder veya enjeksiyon metodu ile karşılaştırıldığında dökme teknolojisinde önemli iyileşmeler görülmektedir. Malzemenin kristalitesi ve dolayısıyla mukavemeti artar.

Bu şekilde üretilen poliamid malzemeler döküm poliamid (cast poliamide) olarak adlandırılmaktadır.

4.5.3 Döküm Poliamidin Mekanik Özellikleri

Döküm poliamide ait kısa süreli mekanik özellikleri DIN 53455 çekme deneyi ile ve DIN 53453 darbe deneyi ile metallerde olduğu gibi muayene edilerek özellik değerleri tespit edilir.

Yüksek kristalite oranına sahip olan döküm poliamid malzemeler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir (20).

- Yüksek darbe mukavemeti
- Yüksek mekanik sönümleme gücü

- Yüksek aşınma direnci
- Diğer plastiklere göre yüksek yorulma direnci
- 1,15 gr/cm³ yoğunluğu ile hafif oluşu
- Düşük sürtünme katsayısı ve kayganlık
- Yağsız çalışma
- Gürültünün metallere göre az oluşu
- Mükemmel elektriksel yalıtım

Tablo-7 'de döküm poliamide ait darbe enerjisi değerleri verilmiştir. Metalik malzemelere göre sünek olduğundan malzemenin kırılması için daha yüksek darbe enerjisi gerekmele birlikte DIN 53453 'e göre yapılan darbe deneyinde çentiksiz olarak kırılmamaktadır. Yine metallere göre sünek olması özelliği ile titreşimleri sönümlene özelliğine sahiptir.

Makina elemanlarının kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkileyen aşınma olayına karşı oldukça dirençli bir malzeme olan döküm poliamid, kuru çelik ile eş çalıştığında ilk çalışma sırasında bir miktar aşınmaktadır. Oluşan ilk aşınma partikülleri çelik malzeme yüzeyine yapışmakta ve döküm poliamid-döküm poliamid teması gerçekleşmekte ve böylelikle işletme süresince aşınmaya karşı oldukça dirençli duruma gelmektedir.

Tablo-6 'de bazı malzemelere ait ıslak kum aşındırma metodu ile yapılan aşınma deneyi sonucu meydana gelen birim ağırlık kayıpları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi döküm poliamid St 37 'den daha az aşınmaktadır.

Döküm poliamid makina elemanı olarak kullanılan plastik malzemeler içinde en yüksek yorulma direncine sahiptir (Bkz.Şekil-22).

Düşük sürtünme katsayısına sahip olması nedeniyle özellikle yağlamanın güç olduğu durumlarda işletmeye başlarken yapılan ilk yağlama ile işletme süresince yağsız çalışabilme özelliklerine sahiptir.

Tablo-6 Bazı Malzemelere Ait Birim Aşınma Miktarları (21)

Malzeme	Ağırlık Kaybı
Döküm Poliamid	150
PVC	920
Polipropilen	440
PTFE	530
St 37	160
Polietilen	100

Döküm poliamidin fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklık, nem ve bu özelliklerin zamana bağlı olduğu mühendislik malzemelerinin tasarımı yapılırken gözönüne alınmalıdır (22).

Nem ve sıcaklığın artmasıyla çekme, basma mukavemeti, elastisite modülü, sertlikleri azalır. Çentik darbe mukavemeti ve uzaması artar.

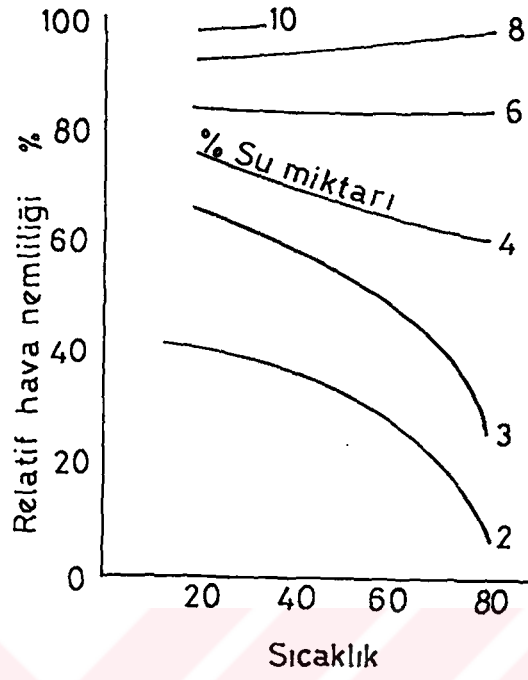
Nem absorbesi ile darbe mukavemetindeki artış önemlidir, çünkü darbeye karşı hassas olan elemanlar nemlendirilerek imal edilirler (22).

Döküm poliamid malzemeler için bu özellikler aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.

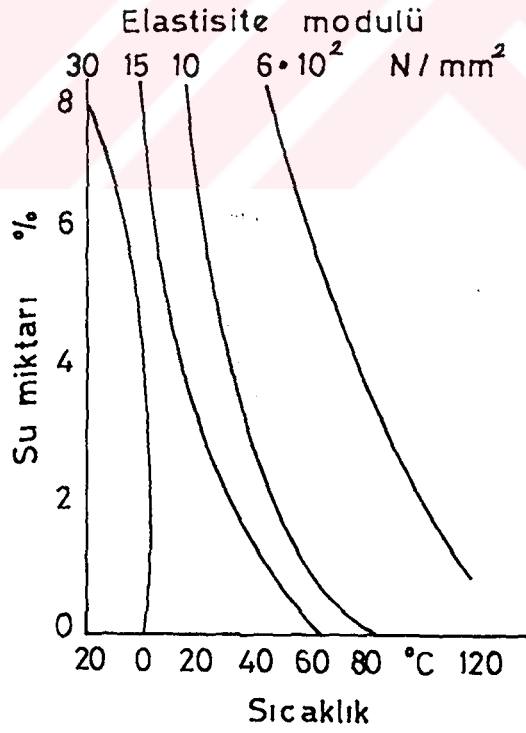
Tablo-7 Döküm Poliamidin Teknik Özellikleri (21)

ÖZELLİKLER	NUMUNENİN DURUMU	TEST METODU (DIN)	DEĞER
Yoğunluk	Kuru	53479	1.15 gr/cm ³
Su emme 23°	%50 RH'de doymuş	-	82,5-3
23°	Suda doymuş	-	86-7
Çekme dayanımı	Kuru	53455	750 daN/cm ²
	Yaş*	53455	550 daN/cm ²
Basma dayanımı	Kuru	53454	1000-1300 daN/cm ²
Elastisite modülü	Kuru	53457	30000-40000 daN/cm ²
Eğilme dayanımı	Kuru	53452	1100-1300 daN/cm ²
Sertlik	Kuru	53505	82 Shore D
	Yaş	53505	78 Shore D
Darbe dayanımı (Kertiksiz)	Kuru	53453	Kırılmaz
Darbe dayanımı (Kertikli)	Kuru	53453	4 kJ/m ²
	Yaş	53453	8 kJ/m ²
Sürtünme katsayısı	Kuru Çeliğe Karşı	-	0,25-0,30
Ergime noktası	Kuru	53736	220°C
Termal genleşme katsayısı	Kuru	52328	8x10 ⁻⁵ °C ⁻¹
Isı iletkenliği	Kuru	52612	0,25 W/MK
Kullanım sıcaklığı	-	-	-40-100 °C
Hacimsel direnç	Kuru	53482	10 ¹⁵ OHM-cm
	Yaş	53482	10 ¹² OHM-cm
Yüzeysel direnç	Kuru	53482	10 ¹² OHM
	Yaş	53482	10 ¹⁰ OHM
Dielektrik yalıtımı	Kuru	53481	40 KV/mm
	Yaş	53481	20 KV/mm

(*) Yaş numuneler %50 (RH) relatif nem ortamında uzun süre bekletilmiştir

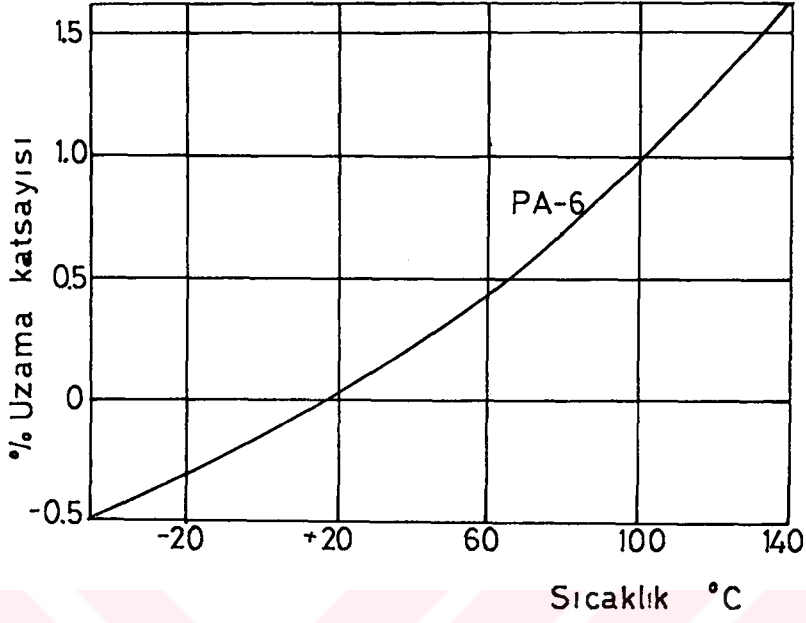


(a)

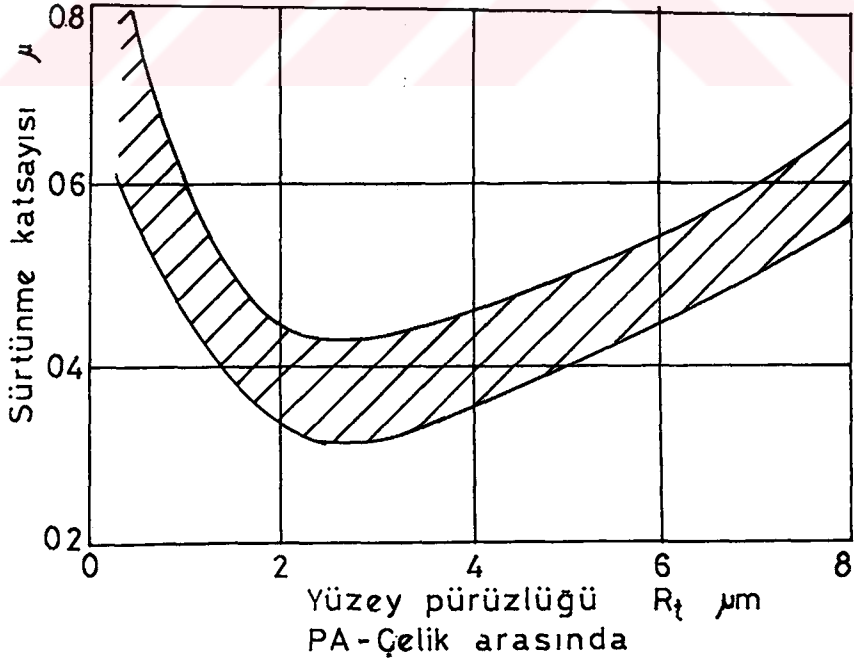


(b)

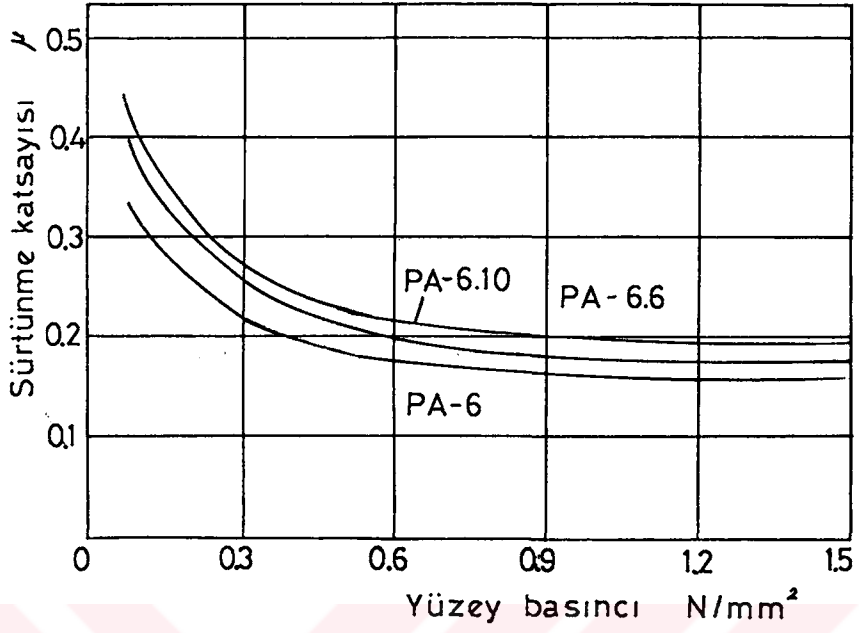
Şekil-21 Sıcaklığın ve Hava Nemliliğinin Elastisite Modülü Üzerine Etkisi (17)



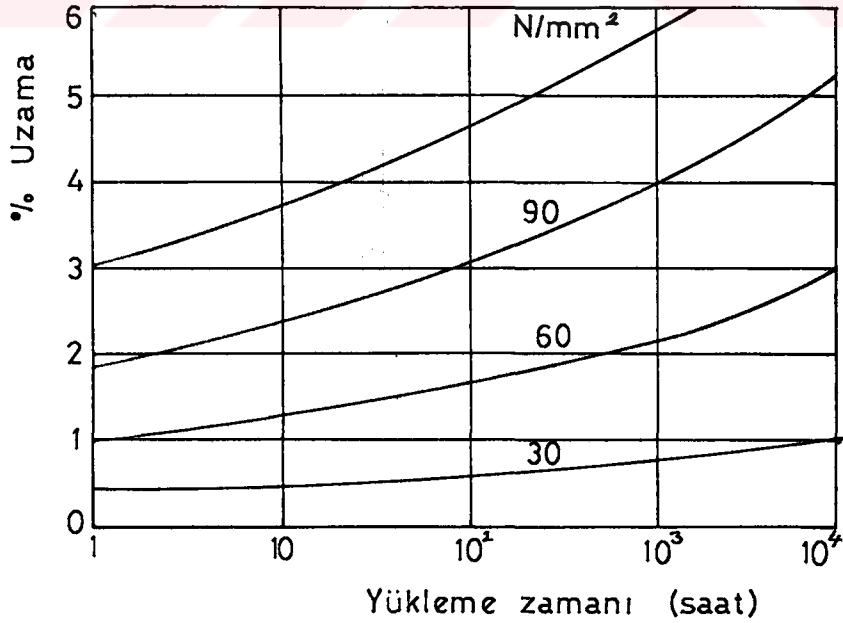
Şekil-22 Sıcaklığın % ϵ Üzerine Etkisi (17)



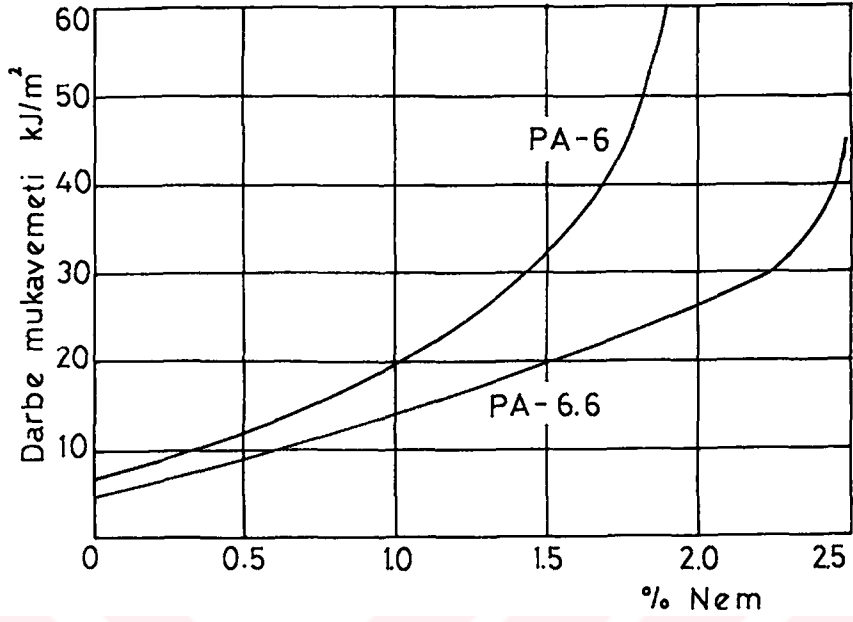
Şekil-23 Yüzey Pürüzlülüğü İle Sürtünme Katsayısının Değişimi (17)



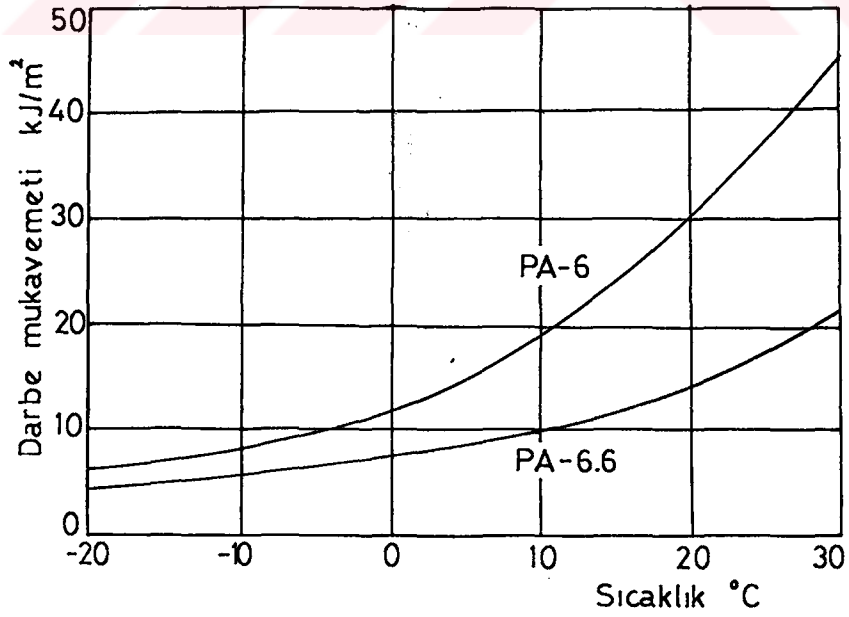
Şekil-24 Yüzey Basıncı İle Sürtünme Katsayısının Değişimi (17)



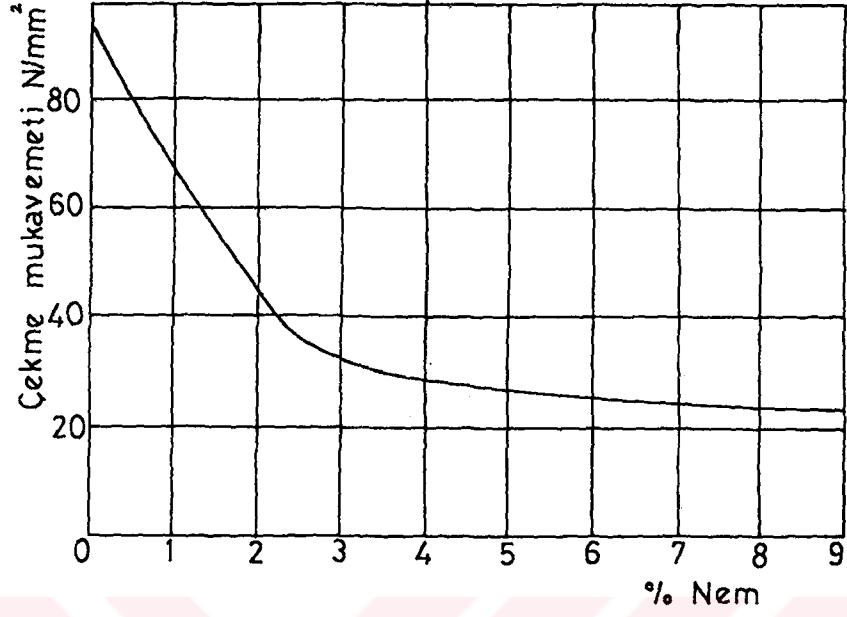
Şekil-25 Yüklemeye Zamanına Bağlı Olarak Uzamadaki Değişim (17)



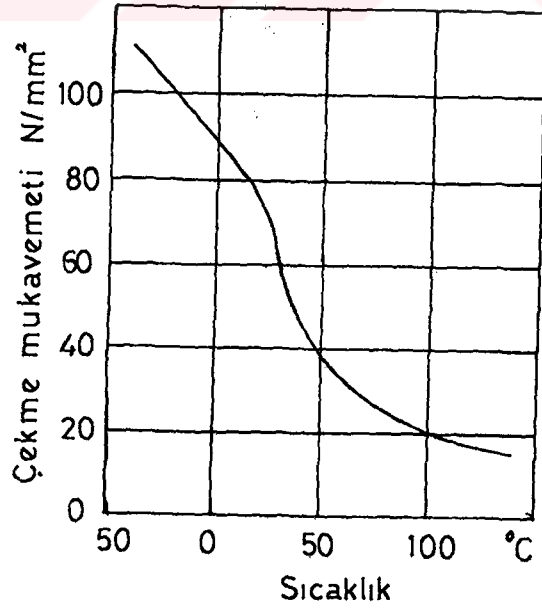
Şekil-26 % Nem İle Darbe Mukavemetinin Değişimi (17)



Şekil-27 Sıcaklık İle Darbe Mukavemetinin Değişimi (17)



Şekil-28 % Nem ile Çekme Mukavemetinin Değişimi (17)



Şekil-29 Sıcaklık ile Çekme Mukavemetinin Değişimi (16)

Şekil 21-a'da hava nemliliği oranı düştükçe, su emme miktarının düştüğü ve sıcaklık arttığı takdirde aynı su emme miktarına sahip olabildiği belirtilmektedir. Şekil 21-b'de ise su miktarı ve sıcaklık arttıkça elastisite modülü düşmektedir.

Şekil-22 'de sıcaklığın artması halinde uzama katsayısının arttığı görülmektedir.

Şekil-23 'de daha hassas yüzeylerde sürtünme katsayısının daha yüksek olduğu, en düşük sürtünme katsayısının elde edilebilmesi için optimum yüzey pürüzlülüğü değeri görülmektedir.

Şekil-24 'de çeşitli poliamidler için yüzey basıncı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki verilmiştir.

Şekil-25 'de PA-6 malzemesinde çeşitli gerilim değerlerinde zamana bağlı olarak meydana gelen şekil değişimi verilmektedir. Bu bizlere, plastik malzemelerde mekanik özelliklerin zamana bağımlılığını göstermektedir.

Şekil-26 ve Şekil-27 'de PA 6 ve PA 6.6 'nın % nem miktarları ve sıcaklık arttıkça darbe mukavemetindeki artış görülmektedir. Bu sıcaklık ve % nem miktarı arttıkça malzemenin daha fazla süneklik kazanmasındandır.

Şekil-28 ve Şekil 29 'da % nem miktarı ve sıcaklık arttıkça PA 6'nın çekme mukavemetinin düştüğü görülmektedir.

4.6 Mukavemet Açısından Kullanılabilirliği

Bölüm 2.1.1 'de anlatıldığı gibi halat makarası ve halatın kullanılabilirliğini etkileyen faktörlerden en önemlisi halat-makara yivi arasında meydana gelen gerilimlerin büyüklüğüdür.

Hertz gerilimlerinin büyük oluşu makara ömrünü olumsuz yönde etkileyeceği gibi, bu gerilimlerin düşük değerlerde olması makaranın kullanılabilirliğini olumlu yönde etkileyecektir.

Özellikle çapraz sarımlı halatlarda, halat çelik makara yiv yüzeyine bir noktada temas etmekte, plastik makara yiv yüzeyine ise plastik malzemenin esnekliğinden dolayı daha büyük alana temas etmektedir. Bu ise Hertz gerilimlerinin düşmesini sağlamaktadır.

Poliamidin halat makarası olarak kullanılması durumunda halat-makara temas yüzeyleri merkezindeki maksimum basınç dikkate alınarak mukavemet kontrolü yapılmalıdır.

Halatın belirli bir çekme yükü altındaki yiv yüzeyine oturması sonucu meydana gelen basınçların hesaplanmasında benzeri yükleme durumları için çıkarılmış Hertz Denklemleri kullanılır (23).

$$P' = P_e' \sqrt{X/Z} \leq P_{em} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.1)$$

Burada :

$$P_e' = 54 \sqrt{(2r-d_1) F_H / 2rdD} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.2)$$

P_{em} : Emniyetli yüzey basıncı (N/mm²)

P_e' : Çalışma şartlarına bağlı yüzey basıncı (N/mm²)

F_H : Halat yükü (N)

d : Halat çapı (mm)

d_1 : Demet çapı (mm)

Z : Demet sayısı

r : Makara yivi yarıçapı (mm)

D : Makara yiv dibi çapı

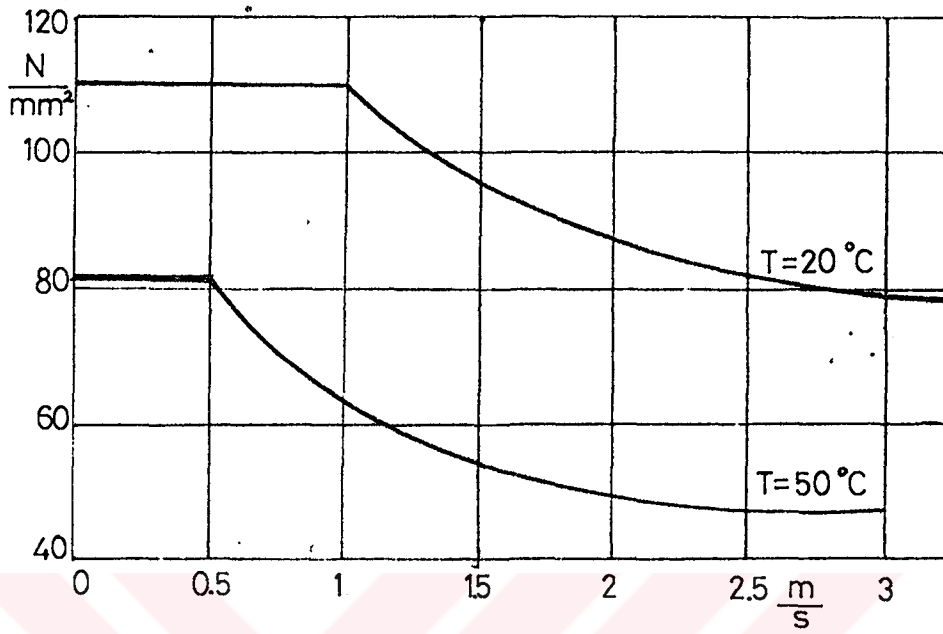
X : Düzeltme faktörü

X düzeltme faktörü P_e' değerine bağlı olarak Tablo-8 'den seçilecektir.

Tablo-8 Yüzey Basınçlarına Bağlı Olarak X Düzeltme Faktörü

Yüzey Basıncı P_e' N/mm ²	Düzeltme Faktörü X
< 50	Z
150	6
300	4
> 450	2,5

Tablo-8 'den elde edilen X değeri 4.1 'de yerine konularak bulunan P' değerinin emniyetli sınırlar içersinde olup olmadığı çalışma sıcaklığı ve makaranın dönme hızına bağlı olarak Şekil-30 'dan kontrol edilmelidir.



Şekil-30 %0,5 Nem İçeren D.Poliamidden Yapılmış Makaralar İçin Dönme Hızı ve Sıcaklığa Bağlı Olarak İzin Verilen Yüzey Basıncı Değerleri

BÖLÜM - 5

5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE AMACI

Günümüzün modern teknolojisinde, yeni bir teknik yapıtın üretiminde veya mevcut bir teknik yapıt üzerinde iyileştirmeler gerçekleştirmek üzere yapılan çalışmalardaki ana ilkeler; üretimin daha teknik, ekonomik ve estetik olmasını sağlamaktır.

Teknik konular ve ekonomiklik birbirini tamamlayıcı faktörlerdir. Teknik konular arasında yük taşıma yeteneği, dayanıklılık vb. gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Yük taşıma kapasitesi ve dayanıklılık için en uygun çözüm belirlenen emniyet katsayısının sağlanması ile elde edilebilir. Bu emniyet katsayısının üzerine çıkılması halinde yapıtın boyutları büyüyecek ve estetik ve ekonomik olarak uygun bir yapıt olmayacaktır.

Üretici, yapıtı mümkün olduğunca teknik şartların dışına çıkmadan ekonomik olmasına çalışırken, kullanıcı da aynı yapıtın işletme süresince ekonomik olmasını arzulayacaktır. Kullanıcının teknik yapıttan beklediği bu özellik, üretici tarafından geniş bir pazarın yaratılabilmesi için dikkate alınmak zorundadır.

Çalışmamızda günümüz teknolojisinde geniş bir kullanım alanına sahip kaldırma işletme makinalarında kullanılan makara halat ikilisi teknik ve ekonomik yönü ile ele alınmış, özellikle ömür açısından günümüze kadar yapılan iyileştirme çalışmalarından elde edilen bilgi birikimi ve yeni kullanılabilir teknolojik malzemelerin ortaya çıkışı ile bu ömrün daha da arttırılması olanakları araştırılmıştır.

Elemanların ömrünü, belirli bir fonksiyonu emniyetli bir şekilde yerine getirebilme süresi olarak tanımlayabiliriz.

Özellikle eş çalışan elemanların ömrü değişik faktörlerin yanı sıra, büyük oranda çalışma veya temas yüzeylerinde işletme yükleri nedeniyle meydana gelen gerilme ve aşınmalara bağlıdır.

Çelik makara ile eş çalışan halat ile makara yivi arasında noktasal temaslar meydana gelmekte ve bu Hertz gerilimlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Halat tellerinde meydana gelen kırılmaların noktasal temas sonucu meydana gelen Hertz gerilimleri nedeniyle olduğu bilinmektedir.

Çelik tel halatın elastisite modülü düşük plastik makara malzemesi ile eş çalışması durumunda, Hertz gerilimleri makara ve halat malzemesinin elastisite modülleri arasındaki ilişkinin sonucu olarak düşecektir. Bu matematiksel olarak (5.1) bağıntısından görülebilmektedir (11).

$$P_0 = f \sqrt[3]{4 \left(\frac{E_1 \times E_2}{E_1 + E_2} \right)^2} \quad (5.1)$$

Burada;

P_0 : Temas merkezlerindeki maksimum Hertz gerilimi (daN/mm²)

f : Yük ve eşdeğer yarıçapa bağımlı değişken

E_1 : Makara malzemesi elastisite modülü (daN/mm²)

E_2 : Halat malzemesi elastisite modülü (daN/mm²)

Halat ile aynı elastisite modülüne sahip çelik makara kullanıldığında Hertz gerilimi;

$E_1 = E_2 = 21.000 \text{ daN/mm}^2$ olmak üzere

$$P_1 = f \sqrt[3]{4 \left(\frac{21.000 \times 21.000}{21.000 + 21.000} \right)^2}$$

$$P_1 = 761 f$$

olmaktadır.

Halat malzemesinin elastisite modülünden daha düşük elastisite modülüne sahip döküm poliamid makara kullanıldığında;

$E_1 = 400 \text{ daN/mm}^2$ (D.Poliamidin elastisite modülü)

$E_2 = 21.000 \text{ daN/mm}^2$

$$P_2 = f \sqrt[3]{4 \left(\frac{400 \times 21.000}{400 + 21.000} \right)^2}$$

$$P_2 = 85,1 f$$

olmaktadır.

Makara malzemesi olarak döküm poliamid kullanıldığında Hertz gerilimleri;

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{761 f}{85,1 f} = 8.95$$

kat azalmaktadır.

(5.1) bağıntısından elde edilen sonuçlara göre Hertz gerilimlerinde meydana gelen bu azalmanın halat ömründe artışa neden olacağı kesindir.

Çalışmamızda, döküm poliamid makara kullanıldığında halat ömründe teorik olarak görülebilecek bu artışı deneyler ile ispatlamak ve döküm poliamid makaranın tekrarlı yüklemelerde kullanılabilirliğini araştırmak suretiyle, kullanıcıların bu ekipmanların kullanıldığı yapıtlardan optimum yarar sağlamaları doğrultusunda çözüm getirilmeye çalışılmıştır.

5.1 Bilinen Deney Prensipleri

Kaldırma iletme makinalarına ait elemanlardan tel halatların emniyetini, işletme süresince meydana gelen tel kırılma sayıları veya kesitlerindeki azalmayı belirli bir kurala göre tanımlamakla mümkündür (11).

Kullanıcılar öncelikle bir tel halatın emniyetle kullanılacağı zamanı bilmek isterler. Bu zamanın bilinmesiyle tel halatın işletmede ne zaman değiştirileceği yani daha fazla kullanılamayacağına karar verilir (11). Bunun tespit edilmesi için ise her işletme şartları için ayrı ayrı deneyler yapılarak somut veriler elde edilmelidir. Kullanıcıların diğer bir isteği de kullandıkları malzemelerden maksimum ömürde yararlanmak, yani yapılabilecek iyileştirmelerle bu elemanların daha uzun süre işletmede kalmasını isterler.

Halatların işletme ömrünü, meydana gelen bozulma, hasar ve bunlara neden olan faktörleri belirlemek veya ölçmek amacıyla çoğu kez uygun test yöntemi için laboratuvarlarda işletme şartlarına uygun ortamın hazırlanması gerekmektedir. Bir tel halatın işletme (yorulma) ömrü, onun kopuncaya kadar dayandığı yük tekrar sayısıdır. Gerçekte yük tekrar sayısı ise; halatın işletmede veya deney süresince maruz kaldığı eğilme sayısı veya çekme yükü sayısıdır (5).

Bu temel ilkeden hareketle, halatların yorulma deneylerini, bir veya bir kaç halat numunesini çekme yükü altında, bir veya bir kaç makara üzerinden tekrarlı veya dönüşümlü olarak geçirmekle yapabiliriz.

Bir yük tekrarının anlamı;

"Tekrarlanmış eğilme"; Halatın doğrusal durumdan bükülmüş duruma geçişi ve tekrar kendi esas doğrusal durumuna dönüş,

veya;

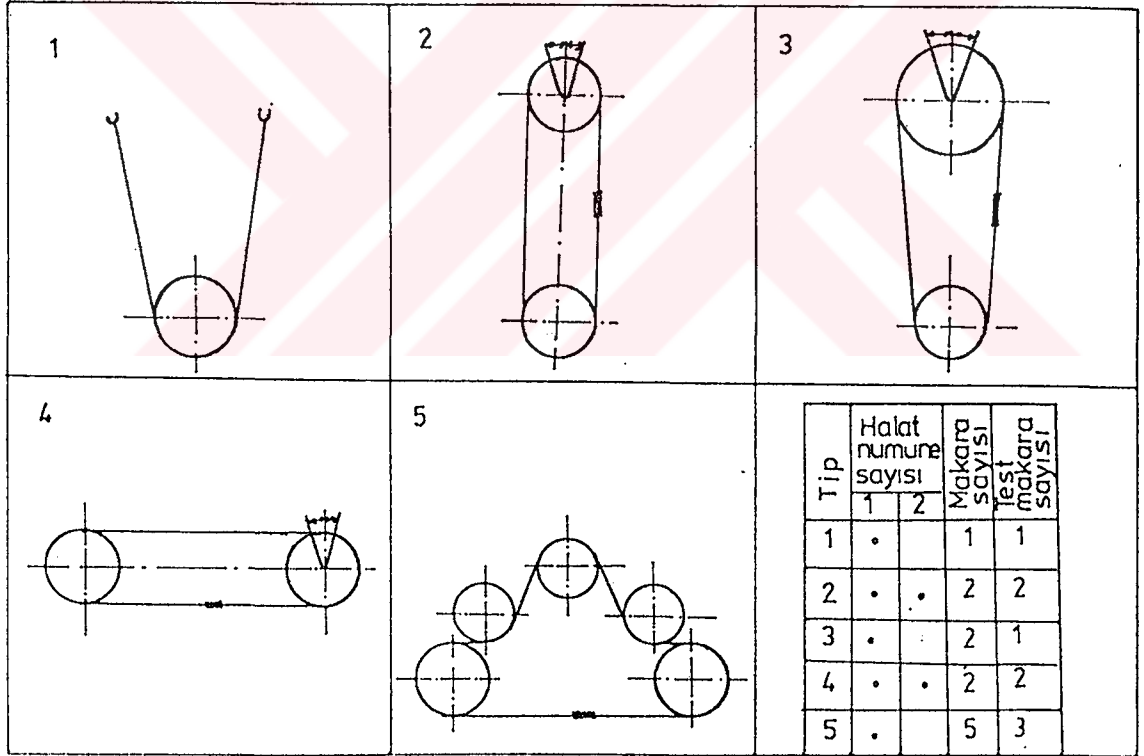
"Dönüşümlü eğilme"; Halatın doğrusal durumdan bükülme durumuna eğilme ve sonra karşı yönde -ters- eğilmesidir.

Bir halatın ömrüne etki eden belirli parametreleri farklı testlerde ayrı ayrı veya tümünü birden işletme prosesine benzeyen şartlar altındaki testler ile belirleyebiliriz.

Bu şekilde, kopuncaya kadar veya kullanılamayacak hale gelen halatların çeşitli test koşulları altında dayanım süreleri belirlenir. Testler süresince meydana gelen tel kırılmalarının metalografi mikroskobu vasıtasıyla incelenmesi ile de kırılma nedenlerini ve malzemenin davranışını belirlemek mümkün olmaktadır.

Bu amaçla kullanılan eğilme yorulma deneylerinin prensipleri ve ekipmanları için gerekli kural ve düzenlemeler DIN 50100 'de verilmektedir.

Şekil-31 'de bu deney prensiplerinin bazılarının şematik resimleri görülmektedir (11).



Şekil-31 Eğilme Yorulma Deneyi İçin Farklı Test Prensiplerinin Taslağı

Şekil-31 'de verilen yöntemlerden herhangi birisi ile yapılacak deneysel çalışmada aşağıdaki genel hususların sağlanmış olması gerekir (5):

- Halatı bağlarken yükün tüm teller üzerinde dengeli olarak dağılımı sağlanmalı,
- Makara yiv yarıçapı için, özel bir kabul söz konusu değil ise $r = 0,53 d$ alınmalı,
- Eğilme bölgesi uzunluğu $l = 3$ sarım uzunluğu olmalı,
- Çok makaralı deney düzeneklerinde makaraların birbirinden uzaklığı, makara çapı, yiv malzemesi, eğim açısı deney programının amaçlarına uygun olmalı,
- Eğilme frekans (f); halat içinde sürtünmeden dolayı ısınmaya neden olmayacak şekilde seçilmelidir.

5.2 Deney Düzeneginin Modellenmesi

Çelik tel halatların eğilme yorulması için kullanılan deney düzeneklerinin temel prensipleri ışığında ve çalışmamızın amacına uygun olarak hazırlanmış ve Fakültemiz laboratuvarında mevcut olan deney düzeneginin fotoğrafı Şekil-32 'de görülmektedir.

Deney düzenegi; tahrik grubu ve makara sistemi olarak iki kısımdan ibarettir.

5.2.1 Tahrik Grubu

Tahrik grubunu, 3 kw ve 1430 d/dak. güç ve dönme sayısına sahip bir elektrik motoru ve elektrik motoru çıkışına bağlı hidrolik varyatör ve krankbiyel mekanizmasından oluşmaktadır.

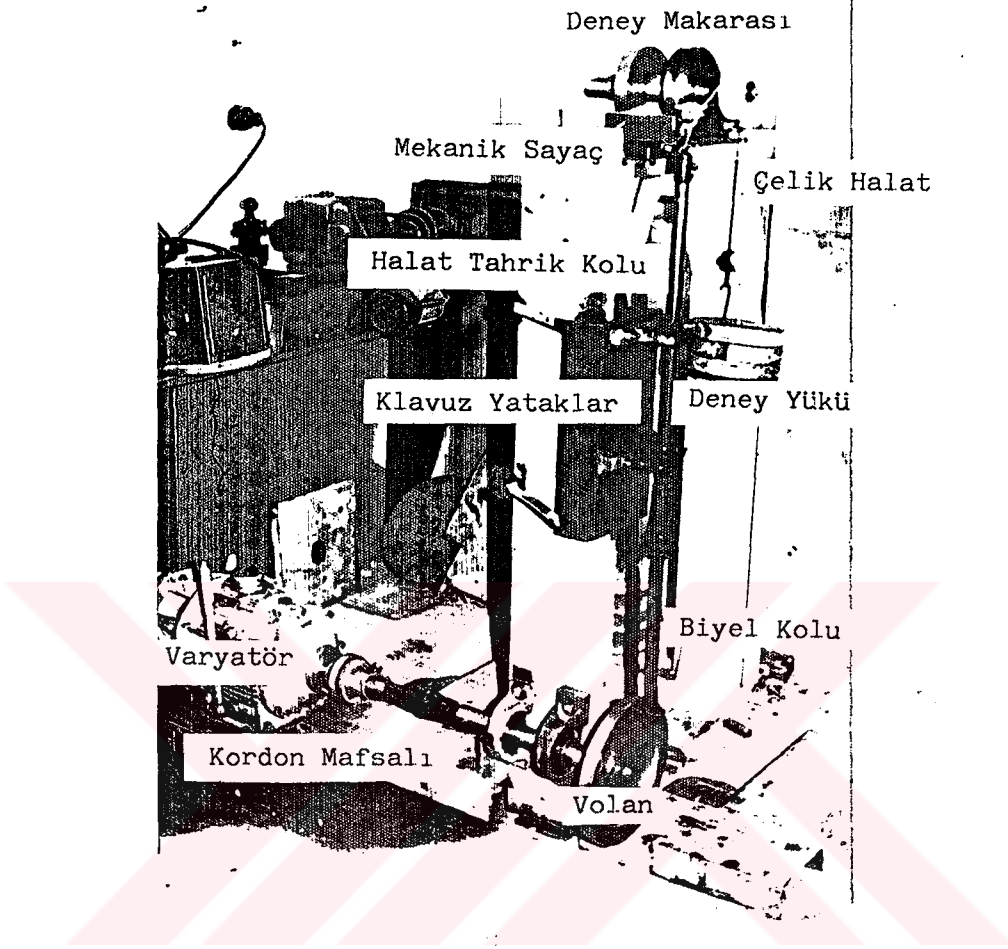
Elektrik motoru çıkışına rijit kavrama ile bağlanan varyatör 0-120 d/dak arasında kademesiz devir ayarına sahiptir.

Varyatör çıkış mili bir kaplin ve kordon mafsalı ile deney düzeneginin rijit gövdesi üzerinde iki noktadan yataklanarak halat tahrik kolunun tekrarlı hareketini sağlayan volana bağlanmıştır.

Volan çapı 260 mm olup halat tahrik kolu stroku 260 mm dir.

Halat tahrik kolu -biyel- nun düşey hareketi iki adet aksenal kaymalı yatak ile klavuzlanmıştır.

Her yük devri cihazın gövdesine bağlı mekanik bir sayaç tarafından sayılmaktadır.



Şekil-32 Bir Makaralı Tel Halat Yorulma Düzenegi

5.2.2 Makara Sistemi

Deneyisel çalışmamızda bir makaralı eğme yorulma deneyi gerçekleştirilmiştir.

Makara, deney cihazının rijit gövdesine kaymalı yatak ile yataklanmıştır.

5.2.3 Deney Ortamı

Çelik ve döküm poliamidden yapılmış makaralar ile laboratuvar koşullarında iki ayrı grup deney yapıldı. Deneyler sırasında her iki gruba ait ortam koşullarının eşit olmasına çalışıldı.

Her iki grup deney de temiz ortamda ve laboratuvar sıcaklığında gerçekleştirildi.

5.3 Deney Parametreleri

Laboratuvar çalışmalarında, halat kullanım süresinin değişik faktörlere bağlı olarak saptanması ve bunların doğruluk derecesi, halatların işletme koşullarına uygun olarak test edilmelerine bağlıdır.

Çalışmamızda herhangi bir işletmeye özgün deneyler yapılmamakla birlikte, çekme yükü altında tekrarlı veya dönüşümlü eğilme gerilmelerine maruz kalan halatların dayanım ömrünü doğrudan doğruya etkileyen parametreler genel olarak sabit parametreler ve değişken parametreler olarak gruplandırılabilir.

5.3.1 Sabit Parametreler

Çalışmalarımızda sabit tuttuğumuz parametreler ;

- 1- Yük ve yükün uygulanış şekli
- 2- Devir sayısı
- 3- Halat/makara çapı oranı
- 4- Yiv şekli ve boyutları
- 5- Eğilme şekli

Sabit tutulan parametreler için deney cihazının özellikleri de gözönünde tutularak aşağıdaki değerler seçilmiştir.

5.3.1.1 Yük

Halat yükü, işletmede halatın üzerine uygulanan çekme yükü ve kaldırma ağırlığıdır.

Yapılan ilk denemeler sonucu halat yükü 15 daN olarak alınmıştır. Bu yük, bütün deney grupları için sabit tutulmuştur.

5.3.1.2 Devir Sayısı

Deney süresini kısa tutmak amacı ile normal işletmelerdekine oranla daha yüksek devirlerde çalışma düşünülerek, deney cihazının teknik özelliği de gözönünde bulundurularak optimum devir sayısı 40 d/dak olarak tespit edilmiştir.

Bu devir sayısı bütün deney grupları için sabit tutulmuştur.

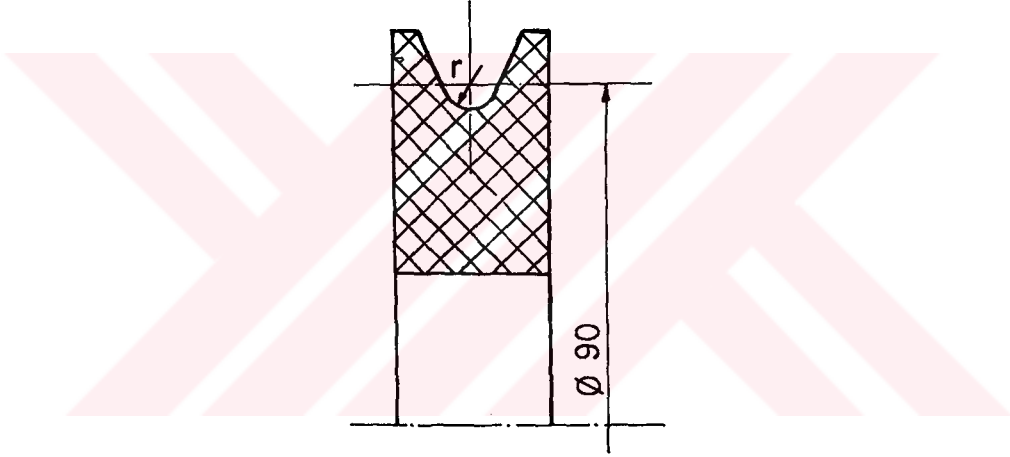
5.3.1.3 Halat/Makara Çapı Oranı

İşletmelerde halat/makara çapı oranı olarak 1/20 ile 1/30 arasında alınması yeterli bir halat ömrü sağlamaktadır.

Çalışmamızda eğilme gerilmelerini arttırarak deney süresini kısa tutmak amacıyla halat/makara çapı oranı 1/15 olarak alınmıştır.

5.3.1.4 Yiv Şekli ve Makara Boyutları

Yiv şekli olarak normal kren işletmelerinde kullanılan dairesel kesitli yiv kullanılmıştır (Şekil-33).



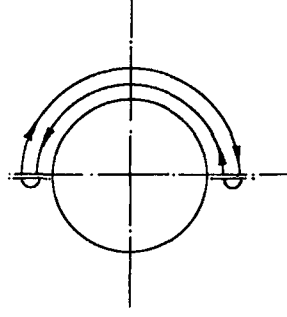
Şekil-33 Makara Yiv Şekli ve Boyutları

Standart yiv yarıçapı, $r_{yiv} = 0,53 d$ olarak alınmıştır. Bu boyutlar her iki deney grubu için sabit tutulmuştur.

Makara çapları her iki makara malzemesi için 1/15 halat makara oranına göre $D = 90$ mm seçilmiştir. Makara kalınlıkları ise daha önceki deneyler ve tecrübi bilgilere göre seçilmiştir.

5.3.1.5 Eğilme Şekli

Şekil-32 'de görüldüğü gibi bir makaralı eğilme yorulma deneyi esas alınmıştır. Bu deney prensibinde halat makara üzerinden geçerken eğilmekte, geri dönüşünde tekrar aynı yönde eğilmektedir. Şekil-34 'de eğilme durumu şematik olarak gösterilmiştir.

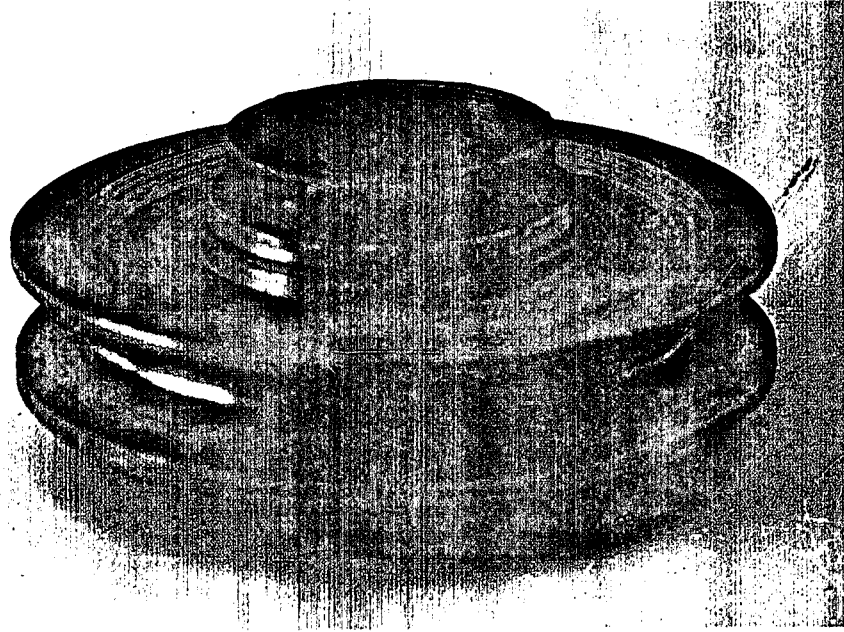


Şekil-34 Halatın Eğilme Durumu

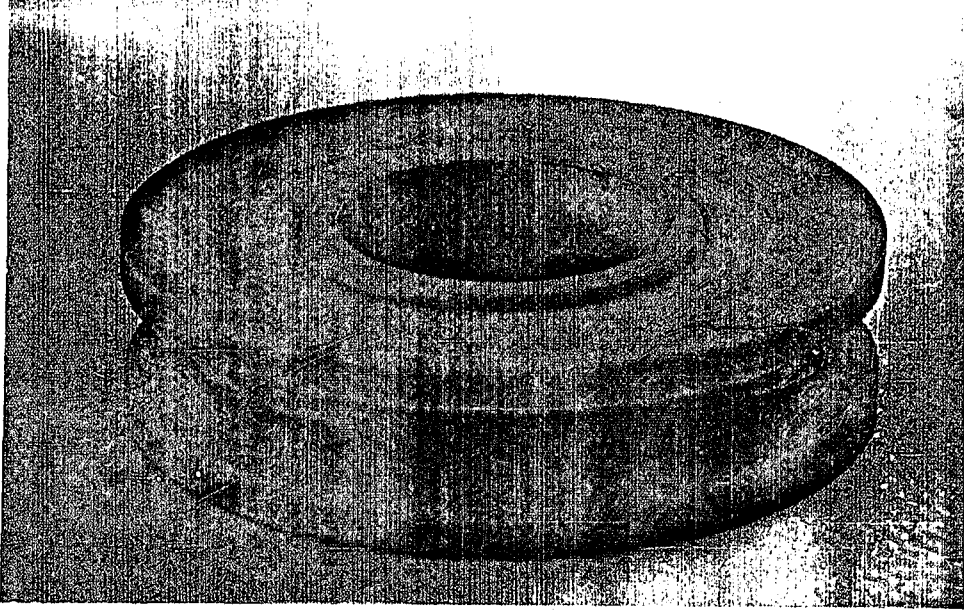
5.3.2. Değişken Parametreler

Yapılan laboratuvar deneylerinde halat ömrü açısından karşılaştırma yapabilmek ve poliamid makaranın kullanılabilirliğini araştırmak için değişken parametre olarak yalnızca makara malzemeleri alınmıştır.

Şekil-35 'de St 60 malzemesinden imal edilen çelik makara, Şekil-36'da döküm poliamid malzemesinden imal edilen plastik makara fotoğrafları görülmektedir.



Şekil-35 Deneyde Kullanılan Çelik Makara (St 60)
E = 21.000 daN/mm²



Şekil-36 Deneylerde Kullanılan Poliamid Makara
 $E = 400 \text{ daN/mm}^2$

5.4 Halat Numunesi

Norm kren mekanizmalarında kullanılan çelik halatlar DIN 655 ve 656'-da verilmektedir. Bu tip halatlar genellikle lif özlü ve çapraz sarımlıdır. Çapraz sarımlı halatlar, paralel sarımlı halatlara göre eğilmeye karşı daha az direnç gösterirler, yani elastikiyet özellikleri daha iyidir (5).

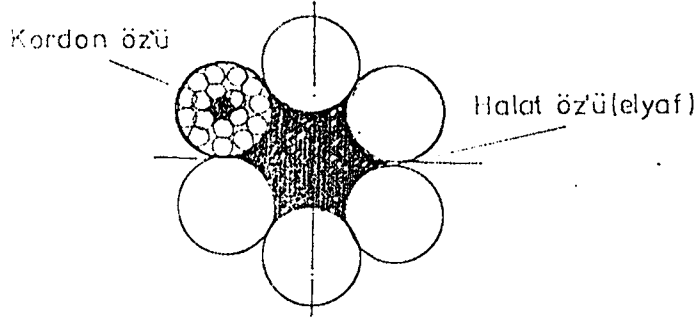
Uygulamada en çok kullanılan halat tipi olma özelliği ile Şekil-37 'de kesidi görülen çapraz sarımlı halat tercih edilmiştir.

Şekil-37 'de kesidi verilen yerli imalat halat numunesine ait özellikler ;

Tellerin mukavemeti :	1600 N/mm ²
Tel çapı :	0,37 mm
Halat çapı :	6 mm
Sarım şekli :	Sağ çapraz sarımlı (s/z)

Halat kordonlarının da lif özlü oluşu, halata daha fazla elastikiyet özelliği kazandırmakta, bu ise kısa boydaki halat numunesi için uygun bir bükülgenlik sağlamaktadır.

Deneyde kullanılan halat numunelerinin toplam uzunluğu $\ell_H = 750 \text{ mm}$.
Halatın eğilen kısmının uzunluğu $\ell_{He} = 260 \text{ mm}$ 'dir.



Şekil-37 6x12 Lif Özlü Halatın Kesidi

5.5 Ömür Ölçütünün Belirlenmesi

İşletmelerde ve deneysel çalışmaların çoğunda halat dayanım ömrünün ölçütü olarak, kırılan tel sayısı ve aşınma sonucu halat kesidinde meydana gelen azalma esas alınmaktadır.

Düşük yükler ve titreşimlerin az olduğu, yeteri kadar büyük makara ve tambur çapları, yüksek yorulma mukavemetine sahip halatların kullanıldığı işletmelerde, halat değiştirme ölçütü veya belirli işletme süresinden sonra halatın geri kalan mukavemetinin tayininde, tel kırılma sayıları ile birlikte, tel kesitlerindeki azalma esas alınabilir. Ancak bu azalmayı günümüze kadar yapılan çalışmalarda bir esasa bağlamak mümkün olmamıştır. Çünkü halatlarda aşınma nedenlerinin çokluğu, özellikle içteki tellerin izafi kaymaları sonucu meydana gelen aşınma ve ezilmelerin tespiti ve ölçülmesi çok zordur.

Bir çok araştırmacı bu ölçme zorluğu karşısında, halat numunelerinin belirli bir yük tekrarından sonra işletme veya deneyden alınarak, çekme cihazında halatın geri kalan mukavemetini almaktadır. Halatın geri kalan mukavemeti, işletmede öngörülen emniyet sınırının altına düştüğünde, halatın işletmeden alınması ve daha fazla kullanılmaması gerekmektedir.

Çalışmamızda, iç tellerde tel kırıkları olduğu takdirde bunların tespit edilemeyeceği düşünülerek, ömür karşılaştırma ölçütü olarak halatların geri kalan kopma yükleri esas alınmıştır.

Bu amaçla önce, çelik makara ve poliamid makarada denenmiş halatlar, geri kalan kopma yüklerini belirlemek amacıyla çekme deneyine tabi tutulacaklardır. Deney sonuçlarına göre halatların geri kalan kopma yüklerinin ağırlıklı ortalaması (5.2) bağıntısına göre hesaplanarak, (5.3) bağıntısından elde edilecek sonucun bir ve birden büyük olması sonucuna göre (5.4) bağıntısı ile halatta sağlanacak ömür artışı;

poliamid makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı ile çelik makarada denenen halatın ağırlıklı ortalamasına oranı olarak alınacaktır.

Ağırlıklı ortalama kopma yükü ;

$$F_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i F_i}{\sum_{i=1}^n N_i} N \quad (5.2)$$

Burada :

N_i = i.deneyde yük tekrar sayısı

F_i = i.deneyde geri kalan kopma yükü

i = Deney numarası

n = Deney sayısı

Ağırlıklı ortalama kopma yüklerinin oranı ;

$$m = \frac{F_{Kport}}{F_{Kçort}} \quad (5.3)$$

Burada :

F_{Kport} = Poliamid makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama kopma yükü (N)

$F_{Kçort}$ = Çelik makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama kopma yükü (N)

Ağırlıklı ortalama yük tekrar sayılarının oranı (ömür artışı):

$$L = \frac{N_{port}}{N_{çort}} \quad (5.4)$$

Burada :

N_{port} = Poliamid makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı

$N_{çort}$ = Çelik makarada denenen halatın ağırlıklı ortalama yük tekrar sayısı

ve ;

$$N_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (5.5)$$

olarak hesaplanabilir.

BÖLÜM - 6

6. DENEYLER VE SONUÇLAR

Kaldırma ekipmanlarından makaraların, poliamid malzemeden yapıldığında sağlayacağı avantajlar ve bu makaraların kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla; döküm poliamid ve çelik makaralar laboratuvar koşullarında ve normal kren işletmelerinde de döküm poliamid makara teste tabi tutulmuştur.

Laboratuvar koşullarında yapılan deneylerde bir makaralı yorulma düzeneğinde, her iki grup için halatların yorulmaları sonucu geri kalan mukavemetleri tespit edilmiş ve bunların mukayesesi yapılarak, döküm poliamid makaranın halat ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yine poliamid ve çelik makaraların deney öncesi, deneyler sırasında ve deneyler sonunda yiv profili değişimleri incelenmiş ve aradaki fark mukayese edilmiştir.

Normal kren işletmelerinde yapılan testte de döküm poliamid makaranın, normal işletme yüklerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

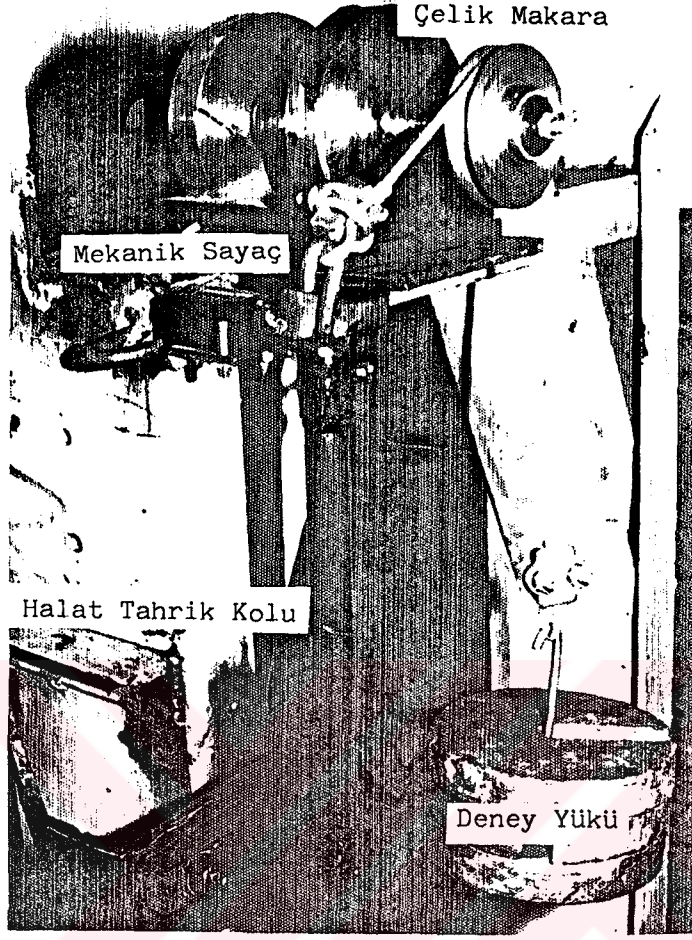
6.1 Çelik Makara İle Yapılan Deneyler

Şekil-35 'de fotoğrafı görülen çelik makara Şekil-38 'de görüldüğü gibi deney cihazının rijit gövdesi üzerine yataklanmıştır. Hazırlanan çelik tel halat numuneleri çelik makara üzerinde tekrarlı gerilimlere maruz bırakılmak suretiyle yorulma testine tabi tutulmuştur. Her yük tekrar sayısı deney cihazına bağlı mekanik sayaç tarafından kaydedilmektedir.

Bu şekilde çelik makara ile toplam 7 deney yapılmıştır.

Deneylerde meydana gelen dış tel kırıklarını tespit etmek amacıyla ilk deneyde her 2000 yük tekrarında cihaz durdurularak halat çıplak gözle kontrol edildi. İlk deneyde 10.000 yük tekrarında hiç bir tel kırığı görülmediği halde 11.500 yük tekrarında 5 tel kırığı görüldü. Bu yük tekrar sayısından sonra halatın periyodik muayenesi için deney cihazı her 1000 devirde durdurularak meydana gelen kırık tel sayıları tespit edilmiştir.

Daha sonraki deneylerde ilk 8000 yük tekrarına kadar kontrole gerek görülmedi ve bu yük tekrar sayısından sonra her 1000 yük tekrar sayısında sözü edilen işlem tekrar edildi.



Şekil-38 Çelik Makara - Halat Deneyi

6.1.1 Çelik Makara Deney Sonuçları

Çelik makara ile yapılan deneylerde her halat numunesi için toplam yük tekrar sayıları ve meydana gelen dış tel kırık sayıları Tablo-9 da verilmiştir.

Tablo-9 Çelik Makara Deneylerinde Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Halat Tellerinde Meydana Gelen Dış Tel Kırılma Sayıları

Deney No	Yük Tekrar Sayısı (N _T)	Kırık Tel Sayısı (s)
Ç1*	12.500	10
Ç2	17.500	7
Ç3	23.500	8
Ç4	33.500	11
Ç5	36.000	26
Ç6	39.000	17
Ç7	45.000	32

(*) Çelik makara ile yapılan 1.deney

Günümüze kadar yapılan çelik halat denemelerinde olduğu gibi bu deneylerde de halattaki tel kırılmaları ile yük tekrar sayısı arasında düzensiz bir bağıntı olmadığı görüldü. Yük tekrar sayısına göre kırık tel oluşumu gelişigüzellik arzotmektedir.

Deneyler süresince yük tekrar sayısına bağlı olarak meydana gelen kırık tel sayıları, bilgisayarda 1. ve 5. derece arasındaki regresyon programına göre denenmiş ve bu deneylerde yük tekrar sayısı ile kırık tel sayısı arasında 5.dereceden bir bağıntı olduğu görülmüştür. Ancak bu bağıntı sadece bu deneyler için geçerlidir ve bir genelleme yapılamaz.

Veriler bilgisayara yüklenirken yük tekrar sayısı X logaritmik olarak verilmiştir. Y ise kırık tel sayısını ifade etmektedir.

Bilgisayara yüklenen veriler ve elde edilen bağıntı Tablo-10' da görülmektedir. Regresyon programından elde edilen (6.1) bağıntısına göre bu deneylerde, yük tekrar sayısı ile kırık tel sayısı arasındaki ilişki Şekil-39' da verilmiştir.

Tablo-10 Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Tel Kırılma Sayıları

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
4.00000	5	4.30103	2	4.38021	14	4.07918	4
4.04139	6	4.34242	2	4.41497	15	4.11394	4
4.07918	8	4.36617	5	4.44715	18	4.17609	6
4.09691	10	4.38021	5	4.47712	24	4.23044	6
4.00000	2	4.39794	6	4.50515	25	4.27875	8
4.04139	2	4.41497	9	4.53147	25	4.32222	8
4.07918	4	4.43136	9	4.54406	25	4.34242	9
4.11394	4	4.46239	9	4.55630	26	4.36172	9
4.14612	5	4.47712	10	4.25527	3	4.38021	10
4.17609	6	4.49136	10	4.30103	3	4.41497	11
4.20412	6	4.50515	10	4.34242	3	4.44715	15
4.24303	7	4.52504	11	4.38021	4	4.46239	16
4.00000	1	4.00000	1	4.41497	4	4.47712	18
4.04139	1	4.04139	4	4.44715	10	4.49136	18
4.07918	1	4.07918	4	4.47712	11	4.50515	19
4.11394	2	4.11394	5	4.50515	12	4.55630	20
4.14612	2	4.14612	5	4.51851	15	4.57978	22
4.17609	5	4.17609	5	4.53147	16	4.59106	24
4.20412	5	4.20412	5	4.54406	16	4.60206	26
4.23044	5	4.23044	5	4.55630	16	4.61278	28
4.30103	6	4.25527	6	4.57978	17	4.62325	29
4.34242	6	4.27875	9	4.59106	17	4.63346	30
4.37106	8	4.30103	10	3.95424	1	4.64345	32
4.14612	1	4.32222	12	4.04139	3	4.65321	32
4.17609	1	4.34242	14				

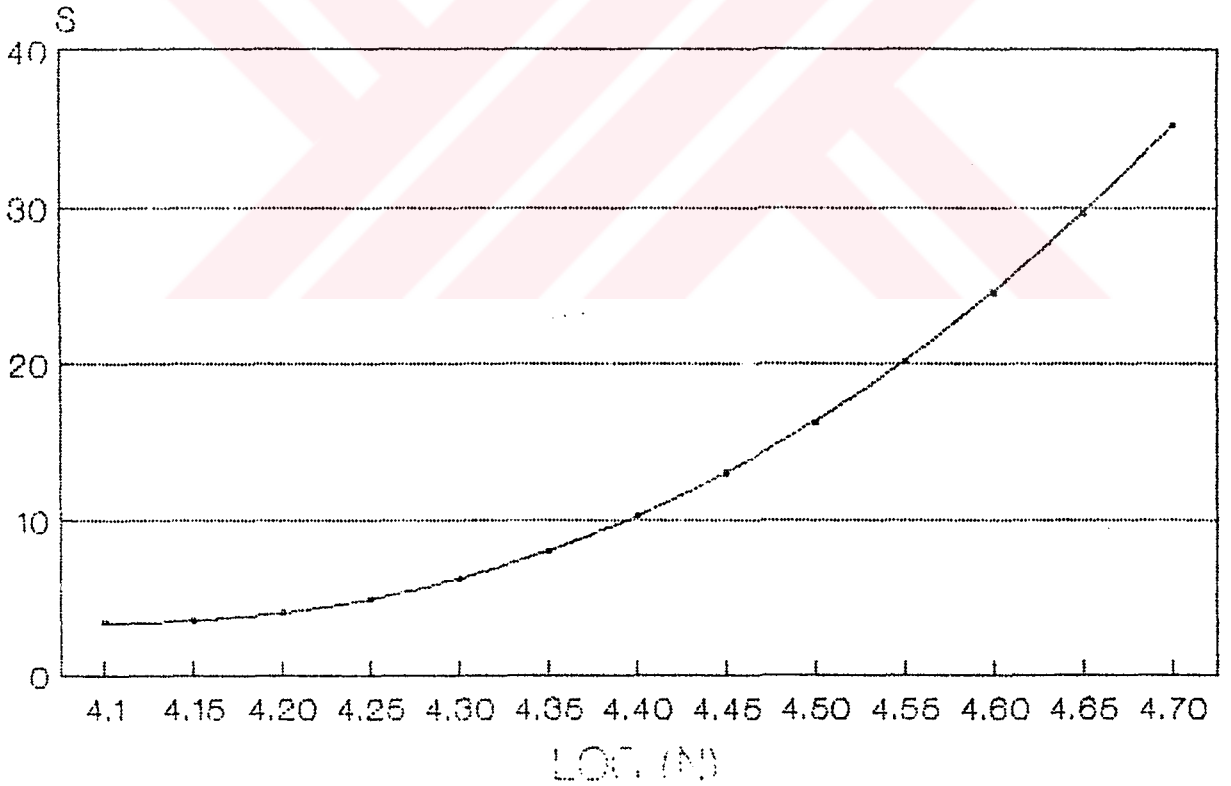
CORRELATION COEFFICIENT 1. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 8228044
CORRELATION COEFFICIENT 2. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 6887311
CORRELATION COEFFICIENT 3. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 8982283
CORRELATION COEFFICIENT 4. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 9003612
CORRELATION COEFFICIENT 5. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 9010019

BEST REGRESSION ORDER BETWEEN 1. AND 5. RATE IS EQUAL 5

CORRELATION COEFFICIENT 5. ORDER REGRESSION EQUATION IS. 9010019
REGRESSION EQUATION OF ORDER 5

Elde edilen bağıntı;

$$Y = 0,2251x^5 - 0,4261x^4 - 2,8x^3 - 4,86x^2 - 21,2x + 224,7 \quad (6.1)$$



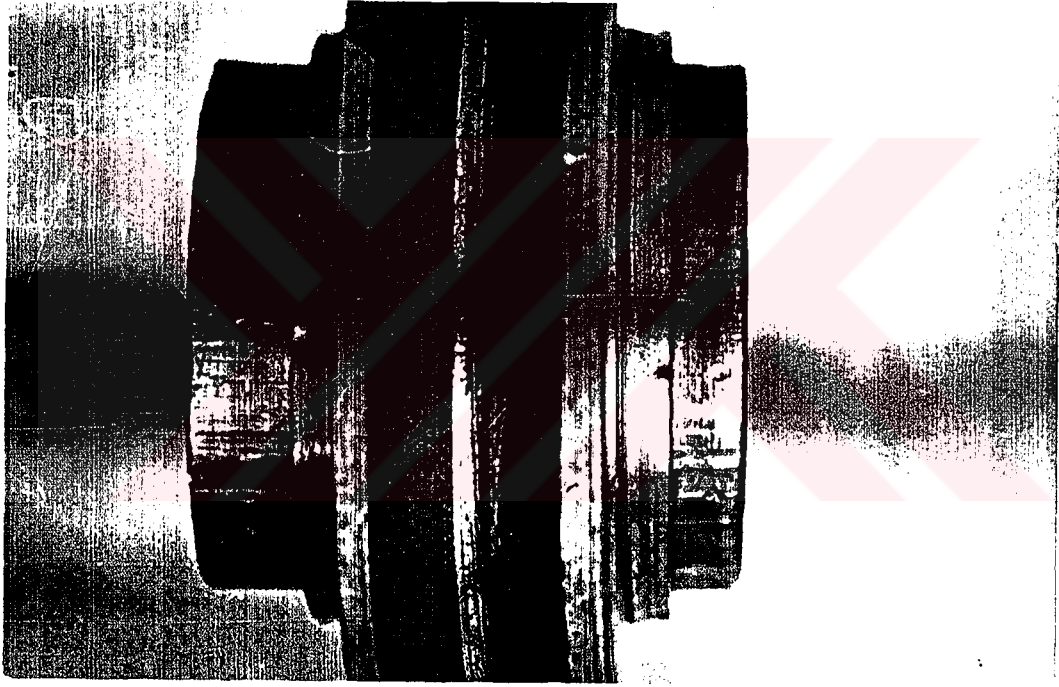
Şekil-39 Yük Tekrar Sayısı ile Tel Kırılma Sayısı
Arasındaki İlişki*

(*) Grafik bilgisayar çıktısı olarak alınmıştır.

6.1.1.1 Makaranın Durumu

Çelik makara ile yapılan deneylerde 20.000 yük tekrar sayısından sonra gözle görülür yıpranmaların yanı sıra bazı oyuklar görülmüştür. Oyukların oluşumu ve ilerlemesi daha sonraki yük tekrarlarında da devam etmiştir.

Şekil-40 'da, deneyde kullanılan çelik makara yivinde 188.500 yük tekrar sayısından sonra oluşan izler görülmektedir. Bu çizikler ve oyuklar çapraz sarımlı halatın kendi eksenine etrafında küçük miktarlarda da olsa dönmelerinden kaynaklanmaktadır. Yük tekrar sayısı arttıkça makarada oluşan sürtünme yıpranmasında artış gözlenmiştir.



Şekil-40 188.500 Yük Tekrarından Sonra Çelik Makara Yivi Üzerinde Oluşan İzler

Çelik makara yivindeki profil değişimi profil kontrol cihazında kontrol edilmiştir. Yiv profilindeki değişim Bölüm 6.4.2.1 'de verilmiştir.

6.1.1.2 Halatın Durumu

Bu deney grubunda oluşan tel kırıklarının tümü halatın makara yivi ile temas eden demetlerinde görülmüştür. Halatın deney öncesinde, ilk tel kırığının oluşumu ve deney sonundaki fotoğrafları Şekil-41, 42, 43 'te görülmektedir.*

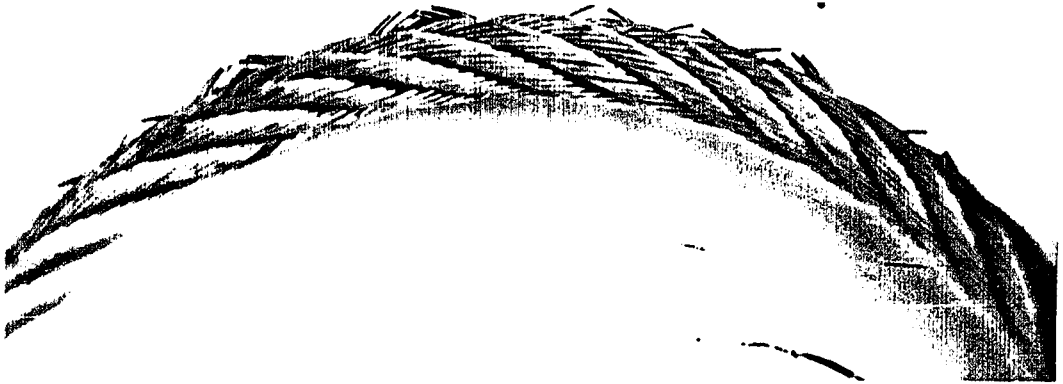
(*) Fotoğraf çekimi sırasında kırık telleri görüntülemek için halat eğilme yönünün tersine olarak bükülmüştür.



Şekil-41 Deney Öncesinde Halatın Görünümü



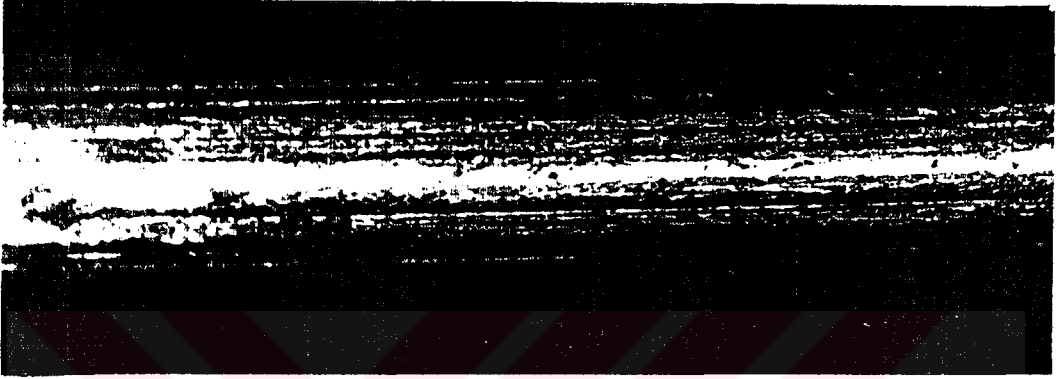
Şekil-42 İlk Tel Kırığının Oluşumu



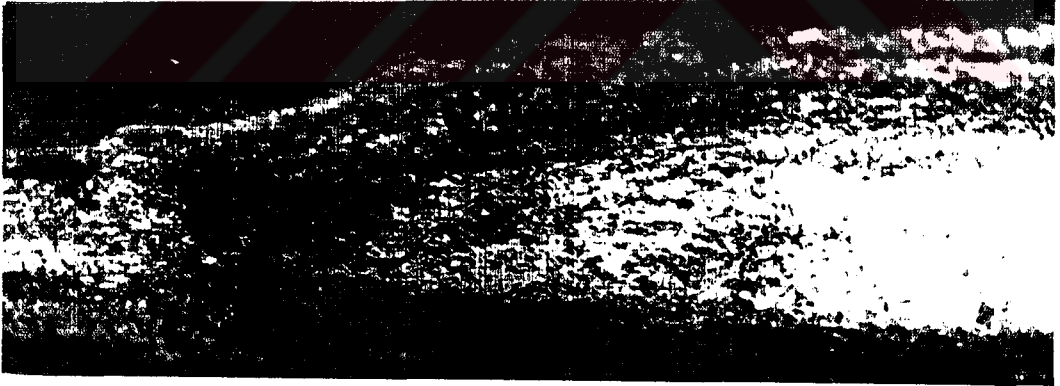
Şekil-43 Deney Sonunda Halatın Görünümü

Halatların periyodik muayenelerinde, halatın makara ile temas eden tellerinde parlaklıklar görülmüştür. Artan yük tekrar sayısı ile birlikte meydana gelen tel kırıkları, bu parlaklık görülen, yani zamanla aşınan tellerde meydana gelmiştir.

Aşağıdaki şekillerde deney öncesinde ve deneyden alınan halat tellerinin metalografi mikroskobunda çekilen fotoğrafları görülmektedir. Şekil-45 'te telin aşınan bölgeleri görülmektedir.



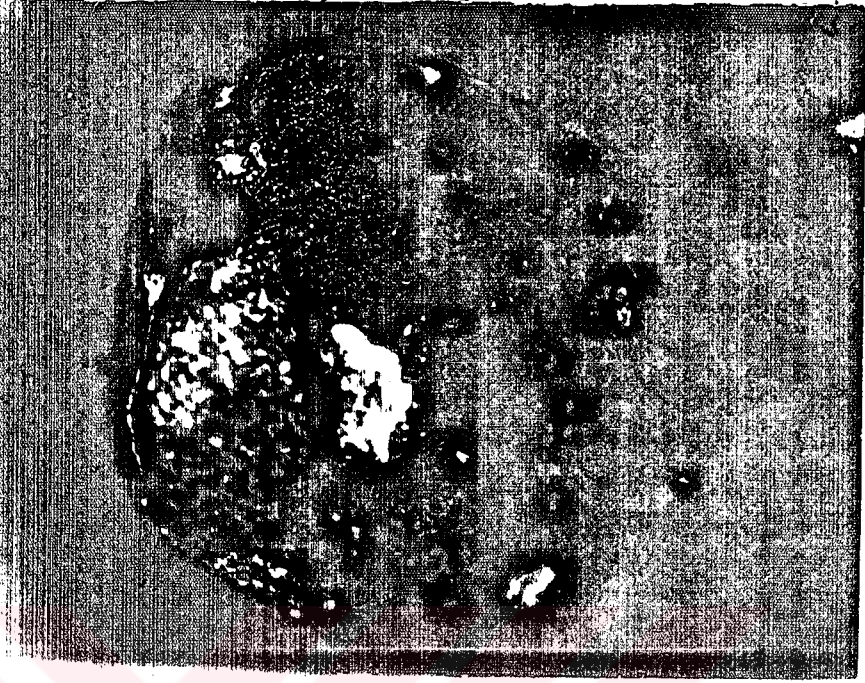
Şekil-44 Kullanılmamış Halat Tellerinin Metalografi Mikroskobunda Görünümü ($N_T = 0$)



Şekil-45 Deneyden Alınan Halat Telinin Metalografi Mikroskobundaki Görünümü ($N_T = 23.000$)

Kırılma nedenini araştırmak için kırık tellerin kırılma yüzeylerinin, metalografi mikroskobu yardımıyla fotoğrafı alındı ve bu fotoğraflarda biri parlak diğeri mat olmak üzere tipik yorulma yüzeyi görülmüştür.

Şekil-46 'da yorulma nedeniyle kırılan halat telinin metalografi mikroskobunda çekilen fotoğrafı görülmektedir.



Şekil-46 Yorulma Sonucu Kırılmış Halat Telinin Metalografi Mikroskobunda Çekilen Fotoğrafı

6.2 Döküm Poliamid Makara Deneyleri

Şekil-36 'da fotoğrafı görülen döküm poliamid makara Şekil-47 'deki gibi deney cihazı gövdesine yataklanmıştır. Çelik makara ile yapılan deneyler, döküm poliamid makara ile tekrarlanmıştır.

Döküm poliamid makara ile toplam 7 deney yapılmıştır.

İlk deneyde tel kırıklarını gözlemek amacıyla her 5000 yük tekrarıda deney cihazı durdurularak halat telleri çıplak gözle kontrol edildi.

İlk deneyde 100.000 yük tekrar sayısına ulaşıldığı halde henüz kırık tele rastlanmadı. Bu yük tekrarından sonra kırık tele rastlanabileceği düşüncesi ile halat, her 2500 yük tekrarından sonra kontrol edildi. 175.000 yük tekrar sayısından sonra her 1000 yük tekrar sayısında aynı işlem tekrar edildi. 186.000 yük tekrar sayısında ilk tel kırığı görüldü. Deneye 254.000 yük tekrar sayısından sonra son verildi ve bu yük tekrar sayısında toplam 2 dış tel kırığının meydana geldiği görüldü.



Şekil-47 Döküm Poliamid Makara-Halat Deneyleri

Döküm poliamid makara ile yapılan ilk deneyde halatta meydana gelen tel kırılmalarının nedenlerini araştırmak amacıyla halat dağıtıldığında iç tellerde de 3 tel kırığı meydana geldiği görüldü.

Bundan sonra yapılan deneylerde iç tel kırıklarını tespit edemeyeceğimiz için kırık tel sayılarının tesbitine gerek görülmedi.

6.2.1 Döküm Poliamid Makara İle Yapılan Deney Sonuçları

Döküm poliamid ile yapılan deneylerde çeşitli yük tekrar sayılarında meydana gelen dış tel kırık sayıları Tablo-11 'de verilmiştir.

Tablo-11 Döküm Poliamid Makara Deneylerinde Yük Tekrarına Başlı Olarak Meydana Gelen Dış Tel Kırık Sayıları

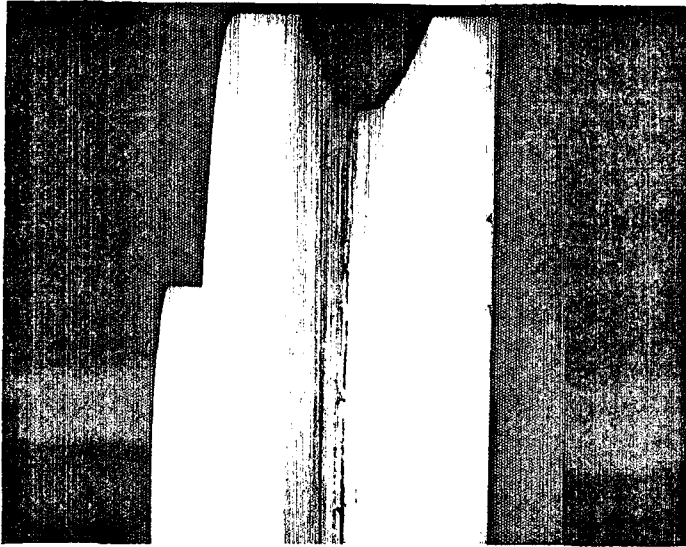
Dency No	Yük Tekrar Sayısı	Dış Tel Kırık Sayısı
P1 [*]	110.000	-
P2	125.000	-
P3	140.000	-
P4	165.000	-
P5	186.000	1
P6	224.000	1
P7	254.000	2

6.2.1.1 Makaranın Durumu

Deney sırasında ilk 5000-6000 yük tekrarından sonra halatın makara yivlerinde iz oluşturduğu görüldü. Bu izler halatın makara yiv yüzeyine uyguladığı basma kuvvetleri etkisiyle meydana gelen çok hafif ezilmelerdir.

Daha sonraki yük tekrarlarında halatın makara üzerinde meydana getirdiği izlerin çok yavaş bir şekilde ilerlediği görüldü.

Şekil-48 'de deney sırasında döküm poliamid makaranın yiv yüzeyi görülmektedir. Şekil-40 'daki çelik makara yiv yüzeyi ile karşılaştırılırsa, makara yivi-halat arasındaki temas yüzeyinin burada daha büyük olduğu görülmektedir.



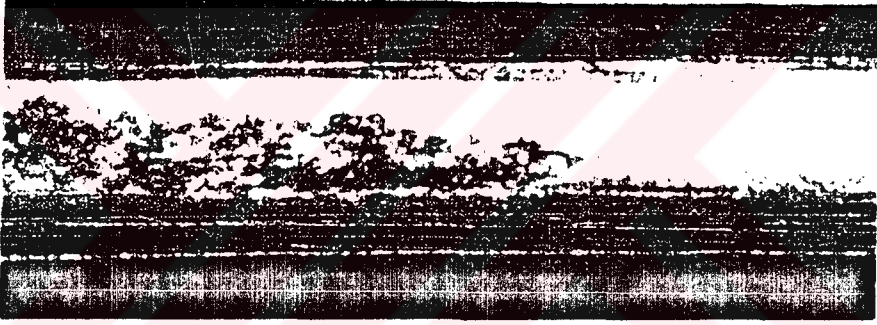
Şekil-48 Döküm Poliamid Makara Yivinde Oluşan İzler
($N_T = 540.000$)

(*) Döküm poliamid makara ile yapılan 1.deney

Deney öncesi ve sonrasında döküm poliamid makara yiv profilleri incelenmiştir. Bu inceleme sonuçları Bölüm 6.4.2.1 'de verilmiştir.

6.2.1.2 Halatın Durumu

Deneyler sırasında yapılan muayenelerde, ilk birkaçbin yük tekrarıdan sonra, çelik makara üzerinde çalışan halatta görülen parlaklıklara, poliamid makara üzerinde çalışan halat tellerinde rastlanmadı. Yük tekrar sayısı arttıkça halat tellerinde çok hafif parlaklıklar görüldü. Ancak bu parlaklıkların halat tellerinde kırılmaya pek etki etmediği görüldü. Şekil-49'da 254.000 yük tekrar sayısından sonra deneyden alınan halat telinin yüzeyi görülmektedir.



Şekil-49 Döküm Poliamid Makara Üzerinde Çalışan Halat Telinin Yüzeyi

Buradan da görüldüğü gibi çekme izleri halen görülür durumda ve meydana gelen aşınma çelik makara üzerinde çalışan halat teline oranla oldukça azdır.

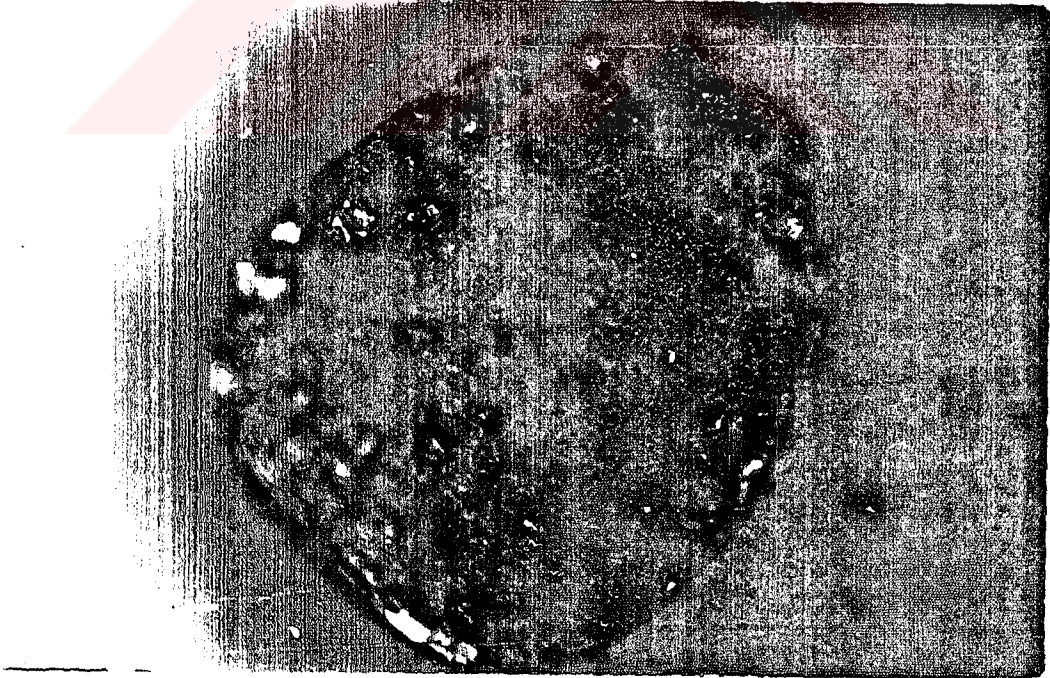
Meydana gelen tel kırıkları daha çok halatın iç tellerinde, kordon kordona sürtmesi ve bir telin diğer bir tele sürtmesi sonucu tellerde oluşan aşınma nedeniyle meydana gelmiştir.

Tel halat içindeki tellerin birbirine sürtmesi sonucu iç tel kırılmalarıyla sonuçlanan aşınma şekli, halatın içteki telinin metalografi mikroskopunda çekilen fotoğrafında görülmektedir (Şekil-50).



Şekil-50 Tellerin Birbirine Sürtmesi Sonucu
Tellerde Kırılmaya Neden Olan Aşınma

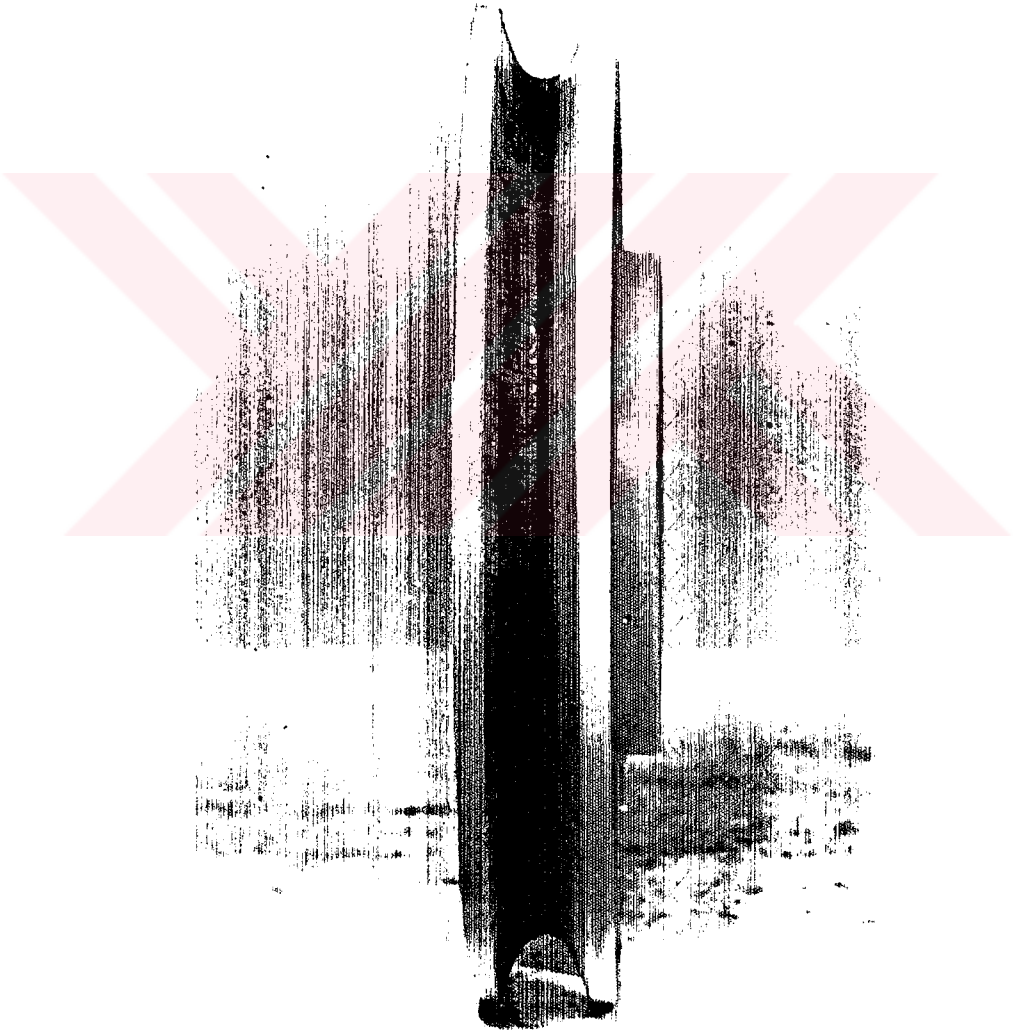
Kırılma yüzeyinin metalografi mikroskobunda çekilen fotoğraflarından bu kırılmaların yine yorulma sonucu olduğu görülmektedir (Şekil-51).



Şekil-51 Döküm Poliamid Makarada Çalışan
Halat Telinin Kırılma Yüzeyi

6.3 Döküm Poliamid Makaranın Normal Kren İşletmelerinde Denenmesi

Laboratuvar koşullarında yapılan deneyde halat yükünün küçük olması nedeniyle, döküm poliamid makaranın normal yüklemelerde aşınma ve ezilme durumunun tam olarak tespit edilemeyişi nedeniyle Şekil-52 'de fotoğrafı görülen ve normal kren işletmelerinde denenen döküm poliamid makara aşağıda belirtilen koşullarda 3 ay süre ile teste tabi tutulmuştur.



Şekil-52 Maksimum 1 ton Kapasiteli Krende Denenen Döküm Poliamid Makaranın İşletme Sonrası Görünümü

- $V_k = 0,208$ m/s (kaldırma hızı)
 $Q = 300-800$ daN (kaldırma yükü)
 $Q_G = 1000$ daN (kren için tasarlanan maksimum kaldırma yükü)
 $T = 4-5$ saat (günlük ortalama çalışma süresi)
 $h = 3,5$ m (kaldırma yüksekliği)
Kren köprü tipi : monoray
 $L = 40,5$ m (maksimum kren hareket sahası)
 $Z = 2$ (halat sayısı)

Döküm poliamid makara işletmeye sokulduğu anda halatın makara yüzeyine bastırması sonucu oluşan radyal basınçlar nedeniyle, makara yiv yüzeyinde demetlerin sarım izleri belirdi. Bu izler, halatın yük etkisiyle makara yivinde meydana getirdiği ezilmelerdir.

Şekil-53 'te profil kontrol cihazında 10 kat büyütme ile poliamid makaranın işletme öncesi ve işletme sonrasındaki yiv profilleri görülmektedir.



Şekil-53 1 ton Kapasiteli Döküm Poliamid Makara Yivinin İşletme Öncesi ve Sonrasındaki Görüntüsü

İşletmede makaranın montajında tam olarak merkezleme yapılamayışı nedeniyle halatın makara kenarını çok hafif bir miktar aşındırdığı görülmüyor.

6.4 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bölüm 5.5 'de anlatıldığı gibi halat ömründeki değişimi belirlemek amacıyla her iki grup deneyden alınan halat numuneleri çekme deneyine tabi tutularak geri kalan kopma yükleri tayin edilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla en son olarak sağlam bir halatın da kopma yükü tespit edilmiştir.

Tablo-12 'de deneylerde kullanılan halatların yük tekrar sayısından sonraki geri kalan kopma yükleri verilmiştir.

Tablo-12 Denenen Halatların Yük Tekrar Sayısına Bağlı Olarak Geri Kalan Kopma Yükleri

Deney No	Yük Tekrar Sayısı (N _T)	Dış Tel Kırık Sayısı	Kopma Yüğü (N)
Ç1	12.500	10	12.400
Ç2	17.500	7	12.400
Ç3	23.500	8	12.450
Ç4	33.500	11	12.100
Ç5	36.000	26	12.150
Ç6	39.000	17	12.100
Ç7	45.000	32	12.000
P1	110.000	-	12.700
P2	125.000	-	12.750
P3	140.000	-	12.500
P4	165.000	-	12.500
P5	186.000	1	12.450
P6	224.000	1	12.550
P7	254.000	2	12.450
Kullanılmamış Halat			13.000

6.4.1 Halat Ömrü

Bölüm 5.5 'de anlatılan esaslara göre ömür artışı için (5.2), (5.3), (5.4) ve (5.5) bağıntılarını kullanarak ağırlıklı ortalama kopma yükleri ve ağırlıklı ortalama yük tekrar sayıları esas alınarak hesaplanırsa:

$$N_{\text{çort}} = \frac{\sum_{i=1}^7 N_i F_i}{\sum_{i=1}^7 F_i} = 29.430,198$$

$$F_{\text{Çkop}} = \frac{\sum_{i=1}^7 N_i F_i}{\sum_{i=1}^7 N_i} = 12.170,169 \text{ N}$$

Poliamid makara ile yapılan deneylerde;

$$N_{\text{Port}} = \frac{\sum_{i=1}^7 N_i F_i}{\sum_{i=1}^7 F_i} = 171.700,22$$

$$N_{\text{Port}} = \frac{\sum_{i=1}^7 N_i F_i}{\sum_{i=1}^7 N_i} = 12.535,25 \text{ N}$$

$$\frac{F_{\text{Port}}}{F_{\text{Çort}}} = 1.029 > 1 \text{ olduğundan,}$$

ömür artışı; ömür ölçütü olarak alınacak olan ortalama yük tekrar sayılarının oranından daha da büyük olacaktır.

$$L = \frac{N_{\text{Port}}}{N_{\text{Çort}}} = \frac{171.700,22}{29.430,198} = 5,8$$

Çelik makara yerine poliamid makara kullanıldığında, halatın ömrü ortalama olarak 5,8 oranında artmıştır.

6.4.2 Aşınma Kontrolü

Halat ömründeki değişimin belirlenmesinden sonra makaraların aşınma durumları da ayrıca incelenmiştir. Bu amaçla yapılan deneylerde 15 daN olan deney yükü 20 daN 'a yükseltilmiş, cihazın devir sayısı yine 40 dev/dak. olarak alınmıştır.

Yapılan deneylerde aşınma miktarı, ağırlık kontrolü yapılarak tespit edilmiştir. Döküm poliamid makaranın ağırlık kaybı 1/10.000 hassasiyetindeki ağırlık ölçüm cihazı ile kontrol edilmiştir.

Daha önce yapılan deneyler sonundaki ölçümlerde döküm poliamid makaranın yine aynı malzemedeki kaymalı yatak ile yataklanması nedeniyle makara ağırlığında yağ absorbesi sonucu artış görülmüş ve dolayısıyla sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir.

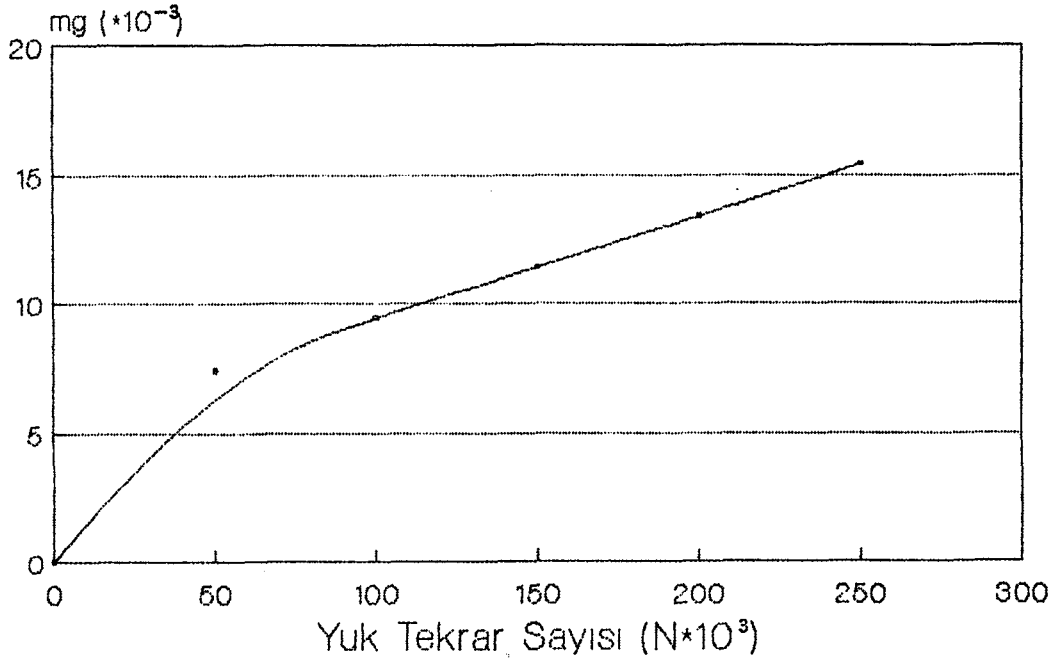
Yeni imal edilen döküm poliamid makara, $N_T=0$ durumunda ve her 50.000 yük tekrar sayısından sonra 4 saat süre ile 80°C .lık fırında tutularak içersindeki nem miktarı düşürülerek ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre ilk 50.000 yük tekrar sayısında döküm poliamid makara hızlı bir şekilde aşınmış ve daha sonraki yük tekrarlarında ise yük tekrar sayısı ile orantılı olarak aşınmıştır.

Bu deneyde toplam 250.000 yük tekrar sayısına ulaşılmıştır ve deneydeki ölçüm sonuçları Tablo-13 'de verilmiştir.

Tablo-13 'deki ağırlık kayıpları ise Şekil-54 'de yük tekrar sayısına bağlı olarak grafik olarak görülmektedir.

Tablo-13 Yük Tekrarına Bağlı Olarak Döküm Poliamid Makarada Meydana Gelen Ağırlık Kaybı

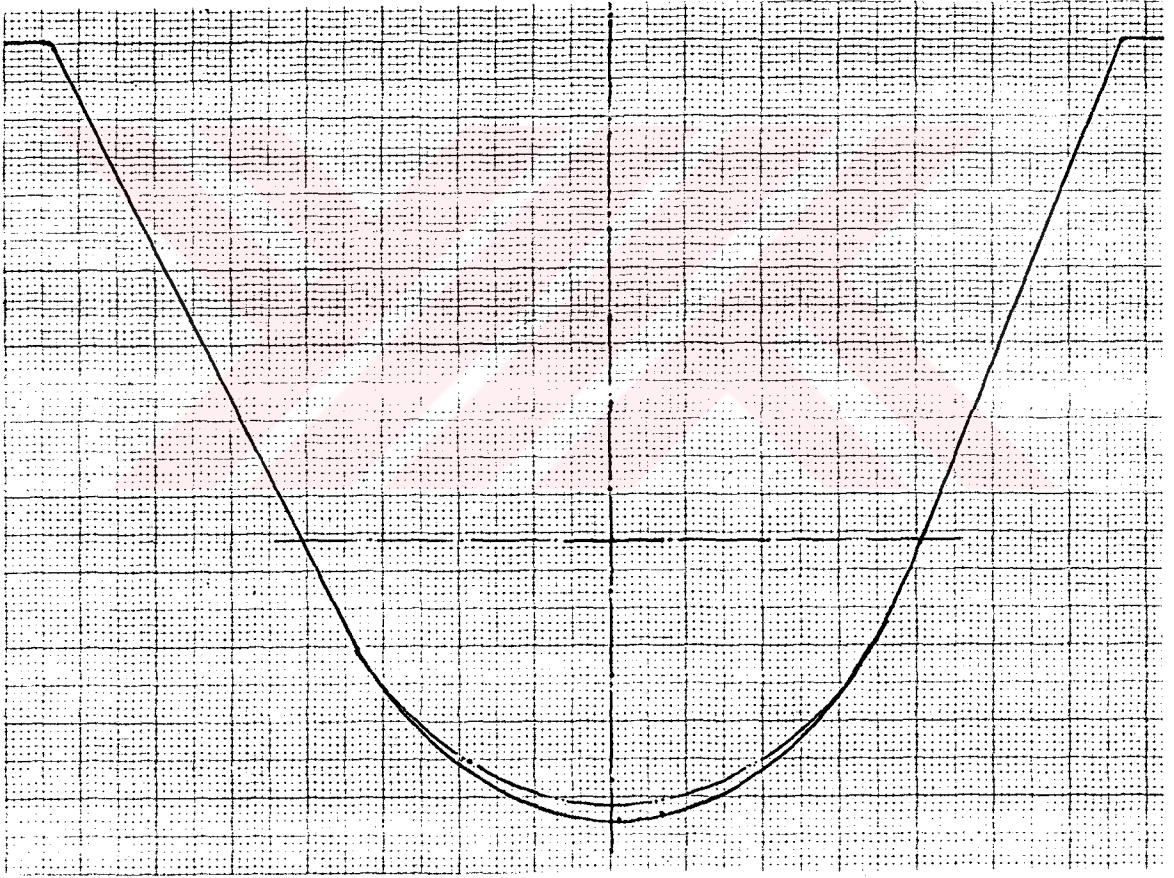
N_T	İlk Ölçüm (gr)	Son Ölçüm (gr)	Ağırlık Kaybı (gr)
0 - 50.000	169,5734	169,5660	$7,4 \times 10^{-3}$
50.000-100.000	169,5660	169,5640	$9,6 \times 10^{-3}$
100.000-150.000	169,5640	169,5620	$11,4 \times 10^{-3}$
150.000-200.000	169,5620	169,5600	$13,4 \times 10^{-3}$
200.000-250.000	169,5600	169,5580	$15,4 \times 10^{-3}$



Şekil-54 Döküm Poliamid Makarada Yük Tekrar Sayısı İle Aşınma Miktarı Arasındaki İlişki

6.4.2.1 Makara Yiv Profillerinin Karşılaştırılması

Deney öncesinde ve deney sonrasında çelik makara ve döküm poliamid makaranın yivleri, profil kontrol cihazında 10 kat büyütme ile kontrol edilmiş ve aşağıdaki şekillerden de görüldüğü gibi her iki makara yivi boyutlarında önemli olmayan değişimler gözlenmiştir. Şekil-55 'de 250.000 yük tekrarı sonunda çelik makara yiv profili, Şekil-56 'da yine aynı yük tekrar sayısından sonra döküm poliamid makaranın yiv profilleri görülmektedir. Her iki makaraya ait aşınma durumları karşılaştırıldığında yiv profillerindeki değişimin hemen hemen aynı olduğu görülür.



Şekil-55 $N_T=0$ ve $N_T=250.000$ Yük Tekrarından Sonra Çelik Makara Yiv Profiline, Profil Kontrol Cihazında 10 Kat Büyütülmüş Durumu



Şekil-56 $N_T=0$ ve $N_T=250.000$ Yük Tekrarından Sonra Döküm
Poliamid Makara Yiv Profilinin Profil Kontrol
Cihazında 10 Kat Büyütülmüş Durumu

BÖLÜM - 7

7. SONUÇ

Teknik sistemlerin verimliliğinin arttırılması büyük oranda malzeme bilimindeki gelişmelerin paralelinde ortaya çıkan kullanılabilirliği iyileştirilmiş malzeme veya yeni malzemelerin bulunuşuna bağlıdır.

Gelişmiş ülkelerde 60-70 yıldan beri kabul gören mühendislik plastikleri ülkemizde son 10-15 yıldan beri kullanılmaktadır. Ancak istatistikler Türkiye'nin, Avrupa'da en az teknolojik plastik üreten ülke olduğunu göstermektedir. Bu düşük üretim tabii ki sanayinin talebine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarımızda sanayimizde plastik malzeme kullanımının yaygın olmayışının nedenleri arasında; proje mühendislerinin konstrüksiyonlarda ilk olarak metalik malzemeleri düşünmesi ve plastik malzemeler konusunda yeterli bilgi birikiminin olmayışından kaynaklandığı görülmüştür. Bu bilgi birikiminin olmadığını, işletme deneyleri için müracaat ettiğimiz işletmelerde, makaranın işletmeye konulmasındaki tereddütler ile de somut olarak gördük.

Gittikçe daha geniş kullanım alanına sahip olmaya başlayan plastik malzemeler otomobil sanayiinde de ağırlığını hissettirmeye

1) St 60 ve döküm poliamid malzemelerden imal edilen makaralar ile yağlama olmaksızın yapılan deneyler sonunda, deneylerde kullanılan halatların geri kalan kopma yüklerine göre karşılaştırma yapıldığında, döküm poliamid makaranın kullanımı ile halat ömrü ortalama 5.8 kat artmıştır.

2) Deneyler sonunda çelik ve döküm poliamid makaraların yiv profilleri kontrol edilmiş ve başlangıca göre pek fazla bir değişim görülmemiştir.

Aşınmanın ölçülmesi amacıyla yapılan deneylerde, döküm poliamid makarada, 200 N deney yükü ile 250.000 yük tekrarından sonra toplam 15×10^{-3} gr'lık bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Gerek her iki makaranın yiv profillerinin karşılaştırılması sonunda, gerekse döküm poliamid makarada ihmal edilebilecek derecede küçük ağırlık kaybı meydana gelmiş olması, döküm poliamid makaralarının dayanım ve ömür açısından çelik makara yerine kullanılabilceği görülmüştür.

3) Normal işletme şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, döküm poliamid makara, çelik makara hesaplarındaki gibi boyutlandırılarak normal işletme yüklerinde kullanılabilir.

4) Döküm poliamidin özgül kütlesi çeliğin özgül kütlesinin 1/7 'si kadardır. Bu ise; aynı boyutlarda imal edilecek çelik maddelere göre, ağırlığın yaklaşık %85 oranında azalmasını ve daha hafif konstrüksiyonların elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- 1- DEMİRSOY, Mustafa.-Transport Tekniği, III.Cilt.
Birsen Yayınevi, İstanbul-1985.
- 2- Çelik Halat ve Tel Sanayii A.Ş.Katalođu - 1984.
- 3- DIN 15020
- 4- İLERİ, Hilmi.-Makina Elemanları Hesabı, II.Cilt.
İ.T.Ü.Matbaası, İstanbul-1972.
- 5- GERGER, Nedim.- Aşındırıcı Ortamda Çalışan Çelik Tel Halatların Ömür-
leri ve İyileştirmeleri Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi
Balıkesir-1987.
- 6- STRATHAUSEN, Ewald.- Hebemaschinen Band 1.
Georg Wertermann Verlag, Braunschweig 1960, s.18.
- 7- ATİK, Enver.- Poliüretan Esaslı Sürtünme Elemanlarının Belirlenmiş
Şartlar İçin İmal Edilen Bir Düzenekte Aşınma Davranışları-
nın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa-1987.
- 8- BENGİSU, Özdemir.- BELENİ, Melih.- I.Balıkesir Mühendislik Sempozyumu
Bildiri Kitabı, s.463, Balıkesir-1988.
- 9- SÜNER, Faruk.- Kaldırma İletme Makinaları, 1.Cilt, İstanbul-1977.
- 10- Metals Handbook (Failure Analysis and Prevention)

- 15- GÜRLÜYİK, M.Yılmaz - Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, s.185, Trabzon-1988.
- 16- ANIK, Selahattin - ANIK, Sabri - Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, s.287-328, Kutulmuş Matbaası, İstanbul-1977.
- 17- HAFERKAMP, Heinz - NOLTE, Klaus - Kunststoffe im Maschinenbau, Ege Universitat, İzmir April-1988.
- 18- KAYA, Feramuz - Plastikler Katkı Maddeleri ve İşletme Metodları, Zafer Matbaası, İstanbul-1983.
- 19- TSUKAMOTO, Naohisa - TERASHIMA, Kenichi - Investigation About The Prevention of Tooth Profile Change of Plastic Geors. Bulletin of JSME, Vol.28, no.45, pp.2723-2731, Nov.1985.
- 20- Erta Technical Manual of Engineering Plastics.
- 21- Polikim - Polimer ve Kimya Sanayii A.Ş. Katalogları.
- 22- Licharz Machining Cast Nylon 66.
- 23- Murtfeldt Plastics Cable Pulley, Cable Pulley of Hight Stress.
- 24- Industrial Production Engineering.
- 25- BAUMANN, H.G. - Systematisches Projektiren und Konstruieren Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York Verlag Stahleisen m.b.H. Düsseldorf, 1982.