

# YAY TAKVİYELİ PLASTİK DİŞLİLERİN YORULMA ÖZELLİKLERİ

Hilal CAN\*, Faruk MENDİ\*\*, Muzaffer TOPCU\*\*\*

\*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı Kampüsü/Denizli

\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Beşevler/Ankara

\*\*\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çamlık/Denizli

Geliş Tarihi : 16.03.2004

## ÖZET

Dişlilerde hasar, diş dibinden kırılma ve yüzey basıncı ile oluşmaktadır. Çelik dişlilerde, karbürleme işlemi ile dişlilerin yorulma dayanımları artmaktadır. Kırılma yorulma dayanımının artışında, yüzeyde oluşan bası iç gerilmelerinin büyük etkisi vardır. Bu çalışmada, içine 1.2 mm tel çapına sahip yaylar yerleştirilmiş polipropilenden üretilmiş dişli çarkların özellikleri incelenmiştir. Yaylar, enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip; kalıplama sonrası bırakılarak öngerilme oluşturulmuştur. Yorulma deneyleri gerçekleştirilmiş ve takviye yapılmasının dayanımı artırdığı görülmüştür. Deneyler sonucunda öngerilmenin, plastik dişlinin yorulma ömrünü takviyesiz numuneye göre 12 kata kadar artırdığı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Plastik dişliler, Yay takviyesi, Yorulma dayanımı, Öngerilme

## FATIGUE PROPERTIES OF SPRING REINFORCES POLYMER GEARS

### ABSTRACT

Failure of gears, occur surface pressure stress and fracture at base of teeth. For steel gears, it is known that process of carburizing increases fatigue strength. Internal stress on the surface increases of fracture fatigue strength. In this study fatigue properties of polypropylene gear reinforced with 1.2 mm wire diameter metallic springs was investigated. Extension springs were used as reinforcement element and placed into the mould and stretched before injection of polypropylene material into the mould. After injection of polypropylene, stretched springs were loosened in order to obtain pre-stressing. Fatigue tests were performed on the produced gear. Reinforcement increased the strength of gears. At result of experiments, pre-stressing increase in service life 12 times more than that of specimens without reinforcement.

**Key Words :** Polymer gears, Reinforcement, Fatigue, Pre-stressing

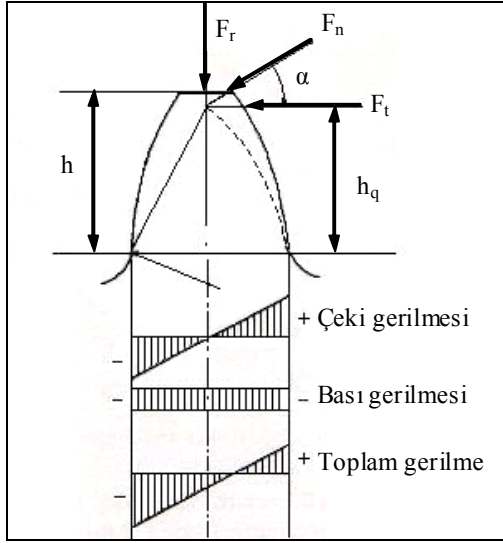
### 1. GİRİŞ

Dişli çarklar her makede kullanılan güç ve hareket iletim elemanlarıdır. Dişli tasarımındaki önemli hususlar, mukavemet, hafiflik, ekonomiklik, sessiz çalışma, kolay üretilebilirlik vb. olarak sıralanabilir. Dişli hesapları yapılırken diş dibinden kırılma, pullanma ve aşınma dikkate alınmalıdır (Can, 2004).

Plastik dişliler, sessiz çalışma, korozyona dayanıklı ve hafif olma, kolay ve seri üretilebilirlik, yağlamasız çalışma gibi avantajlara sahiptir. Hassas çalışma gerektiren sayaçlarda, küçük ev aletleri ve ofis gereçlerinde, ayrıca yağlamasız çalışma yanında korozyona da dayanım nedeniyle de gıda işletmelerinde plastik dişliler kullanılmaktadır (Akkurt, 1994; Smith, 1998; Kurokawa, 2003). Plastik dişli çarkların kullanımını sınırlayan özellik

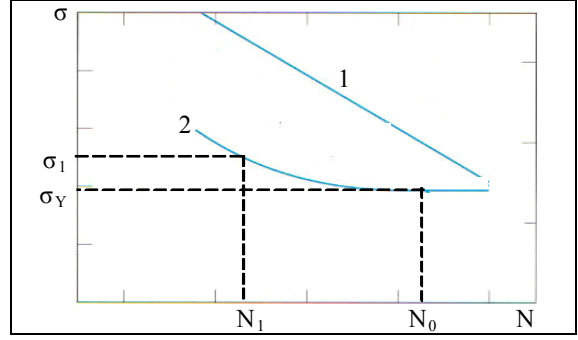
ise düşük yorulma dayanımı değerleridir. Plastiklerin dayanım değerlerinin artırılması amacıyla güçlendirilmiş plastik malzemeler kullanılmakta veya daha büyük boyutlardaki dişliler seçilmektedir (Birley, 1988; Brydson, 1989; Anon., 1996).

Dişli çalışırken dişe gelen kuvvetler göz önüne alındığında, normal kuvvetin bileşenlerinden radyal kuvvetin oluşturacağı bası gerilmesi toplam gerilmeyi düşürmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Dişte çalışma esnasında oluşan gerilmeler (Dimarogonas, 1989)

Malzemelerin dinamik yük altında zamanla hasar görmeleri olayına yorulma denir. Teorik olarak malzemenin sonsuz devir sayısında taşıyabileceği yük yorulma dayanımı olarak tanımlanmaktadır (Suresh, 1998; Yüksel, 2000). Dişlilerdeki değişken gerilme yorulmayı da beraberinde getirir. Plastiklerde yorulma, metallerdeki gibi gevrek kırılma şeklindedir ve bir çatlak oluşması ve yayılması şeklinde görülür. Plastiklerde, düşük ısı iletkenliği nedeniyle depolanan ısı malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirir. Bu yumuşama ısıl yorulma veya yumuşama hasarı olarak tanımlanır ve metal yorulmasından farklıdır. Dolayısıyla plastiklerde çatlak yayılmasına ve malzemenin yumuşamasına bağlı olarak iki tip yorulma vardır (Akkurt, 1991). Çatlak ilerlemesi şeklindeki yorulmada, değişken yük etkisi altında yükün her tekrarında çatlak büyümekte ve kesite yayılmaktadır. N ile ifade edilen belirli bir yük tekrar sayısından sonra çatlak haricindeki kesit artık yükü taşıyamaz duruma gelir ve malzeme hasara uğrar (Uğuz, 1996). Bu en iyi şekilde  $\sigma$ -N (gerilme-yük tekrar sayısı) eksenlerinden oluşan Wöhler diyagramında temsil edilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Plastiklerin Wöhler eğrileri (Callister, 2002)

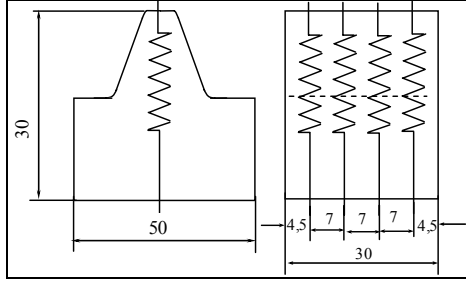
1 numaralı eğride gerilme ( $\sigma$ ) ile yük tekrar sayısı (N) arasında lineer bağıntı vardır. Yük tekrar sayısı büyüdükçe malzemenin kopmasına neden olan gerilme düşmektedir. 2 numaralı eğride ise N büyüdükçe önce  $\sigma_a$  azalmakta; ancak yük tekrar sayısının belirli bir  $N_0$  değerinden sonra gerilme sabit kalmakta ve eğri apsise paralel olmaktadır.  $N_0$  değerine karşılık gelen gerilme, yorulma sınırıdır ( $\sigma_Y$ ). Malzemenin gerilme yorulma sınırı değerinde, hasara uğramadan sonsuz devir sayısına ulaşacağı kabul edilmektedir (Uğuz, 1996).

Dişlilerde yorulma çatlak çeki bölgesinde oluşur ve ilerler. Çelik dişlilerde ısıl işlemlerle oluşturulan bası iç gerilmeleri yorulma dayanımına olumlu yönde etki etmektedir (Krauss, 1993). Benzer yaklaşımla plastik dişlilerde, bası yönünde sağlanacak öngerilme ile; toplam çeki gerilmesinin öngerilme miktarı kadar düşeceği ve buna bağlı olarak da yorulma dayanımının artacağı düşünülmüştür. Şekil 2'de  $\sigma_1$  kadar bir gerilmeye maruz kalan dişli  $N_1$  yük tekrar sayısında hasara uğrar. Öngerilme, Şekil 1'deki bası gerilmesi yönünde etki ederek toplam gerilmeyi düşürecektir. Böylece dişli  $\sigma_1$ 'den daha düşük gerilme ile zorlanacak ve bu değere karşılık gelen yük tekrar sayısı da  $N_1$ 'den daha büyük olacaktır.

## 2. DENEYLERİN YAPILMASI

### 2. 1. Numunelerin Hazırlanması

Öncelikle çalışmada kullanılacak dişlinin tasarımı yapılmıştır. Numune olarak, modül 6mm olan kremayer dişli çark seçilmiştir. Deneylerde kullanılan modellenmiş kremayer dişlinin boyutları ve öngerilme oluşturmak için diş içerisine yerleştirilen 1.2 mm tel çapına sahip yayların diş içerisindeki konumları Şekil 3'de gösterilmiştir.



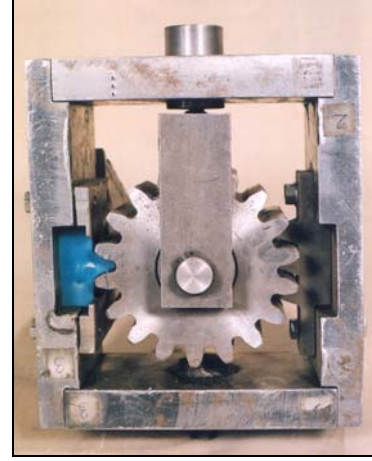
Şekil 3. Diş numunesi boyutları ve yayların diş içerisindeki konumları

Takviye olarak 1.2 mm tel çapına sahip ortalama çapı 4.8 mm, yay katsayısı 27.8 N/mm olan yaylar kullanılmıştır. Bu yaylar öngerilmeyi sağlamak amacıyla enjeksiyon kalıplama öncesi 7 mm çekilerek 1.73 MPa'lık öngerilme oluşturulmuştur. Öngerilmenin etkisini belirleyebilmek amacıyla 6 adet numune yaylar serbest haldeyken üretilmiştir. Takviyesiz 21 ve öngerilme verilmiş 21 adet numune ile birlikte toplam 48 adet numune üretilmiştir.

## 2. 2. Deney Parametreleri

Deneyler, Tequipment yorulma deneyi yapılabilen çekme deney cihazı SM100 ile gerçekleştirilmiştir. Deney cihazı dakikada 45 tekrar yapmaktadır.

Deneyler sırasında minimum yük, cihazın en alt sınırı olan 3.8 kN olarak sabit tutulmuştur. Numunelerin deney cihazına bağlanabilmeleri için Şekil 4'deki gibi bir deney aparatı hazırlanmıştır.



Şekil 4. Deney aparatı Yorulma deneyleri,  $R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0.2 - 0.4$  arasındaki değerlere göre, statik

kopma dayanımının altında bir yük ile başlanarak gittikçe gerilmenin düşürülmesi prensibi ile gerçekleştirilmiştir. Cihazda uygulanan yüke göre parçada oluşan gerilmeler ve R değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneyler Esnasında Uygulanan Gerilmeler

Maksimum gerilme MPa	Minimum gerilme MPa	Ortalama gerilme MPa	Gerilme Genliği MPa	R ( $\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ )
20.6	4.2	16.6	8.2	0.204
20.2		16.4	8.0	0.208
20.0		16.3	7.9	0.210
19.8		16.2	7.8	0.212
19.1		15.85	7.45	0.220
18.3		15.45	7.05	0.230

## 3. DENEY SONUÇLARI

Deneyler statik kopma deneyleri ve yorulma deneyleri olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle numune gruplarının tek seferde taşıyacakları yükleri belirlemek amacıyla statik kopma, daha sonra da statik kopma değerinin altında bir yük ile başlanarak gittikçe düşen gerilmelerde

yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### 3. 1. Statik Deney Sonuçları

Numunelerin öncelikle statik kopmalarına neden olan gerilmeler belirlenmiştir. Deneylerle elde edilen statik kopma deney sonuçları ve bu sonuçlara göre logaritmik % 50 güvenilirlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numunelere Ait Statik Kopma Deney Sonuçlarının % 50 Güvenilirlik Değerleri

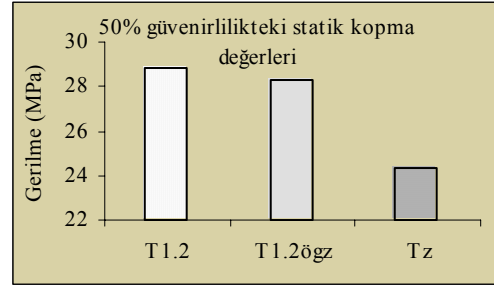
Takviye*	$\sigma_{k1}$ (MPa)	$\sigma_{k2}$ (MPa)	$\sigma_{k3}$ (MPa)	$\sigma_{k4}$ (MPa)	%50 $R_1$ $\sigma_k$ (MPa)
Tz	23.6	22.9	24.9	25.7	24.3
T1.2ögz	30.7	27.0	27.1		28.3
T1.2	29.9	28.1	29.2	27.8	28.8

\*: Tz: Takviyesiz, T1.2ögz: 1.2 mm tel çapına sahip öngerilmemiş yay takviyeli, T1.2: 1.2 mm tel çapına sahip yay takviyeli numune

Takviyeli olarak üretilen 3 adet ön gerilmemiş ve 4 adet ön gerilmeli numunelerin statik kopmalarında belli bir statik yükte matriks malzemede ani çatlak oluşumuna rağmen, yayların çatlağın ilerlemesini engellediği ve numunelerin daha büyük statik yükleri taşımaya devam ettikleri gözlenmiştir. Statik kopma değerleri ilk çatlamanın olduğu değer olarak alınmıştır. Statik kopma sonucunda takviyesiz numunelerde tamamen ayrılma söz konusu iken yay takviyeli numunelerde matriks malzeme yaylar üzerinde sıyrılmış ancak tamamen ayrılmamıştır.

Yay takviyesinin statik kopma üzerindeki etkisi için öngerilmemiş 1.2 mm tel çapına sahip yay takviyeli numunenin statik kopma değeri, takviyesiz numunenin statik kopma değerine oranlanarak (28.3/24.3); sadece yay takviyesinin statik kopma üzerindeki etkisi 1.16 olarak bulunur. Öngerilme verilmiş numunenin statik kopma değeri, takviyesiz numunelerin değerine oranlanırsa (28.8/24.3) yay takviyesi ile birlikte öngerilme verilmesinin etkisi ise 1.18 şeklinde hesaplanır. Öngerilme verilmesi takviyesiz numuneye göre statik kopma dayanımını % 18 oranında arttırmaktadır. Yay takviyesi yapılması takviyesiz numuneye göre statik kopma değerini % 16, yayların çekilmesi suretiyle öngerilme uygulanmasının sadece yay takviyesine göre statik kopmayı % 2 iyileştirmektedir.

Tablo 2’de verilmiş olan % 50 normal dağılıma göre statik kopma değerleri numune grupları için Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. %50 güvenilirlikteki statik kopma değerleri

Tablo 2 ve Şekil 5’den görülmektedir ki öngerilmemiş ve öngerilmeli olarak üretilmiş tel çapı 1.2 mm olan yayların statik kopma mukavemetleri arasında öngerilmenin olumlu yöndeki etkisi vardır. Tablo 2’de öngerilme statik kopma dayanım değerleri öngerilmemiş olanlara göre 0.5 MPa arttırmıştır. Polipropilen malzemelerin müsaade edildikleri zorlama değeri ise 5 MPa’dır (Crawford, 1987; Callister, 2002).

### 3. 2. Yorulma Deney Sonuçları

Numuneler hasara uğrarken sadece yorulma değil, sürünme ve plastik deformasyon da etkilidir. Bunların birbirlerinden ayrılması zor olduğu için sonuçlar ömür değerleri olarak alınmıştır. Deneylerde hasar sınırlaması, diş dibi kalınlığının % 25’i olarak kabul edilmiştir. Tablo 1’de verilen değerlere göre tekrarlanan yük deneyleri gerçekleştirilmiş, gerilme genliği ile takviye durumuna göre bulunan yük tekrar sayıları (N) ve % 50 güvenilirlik değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

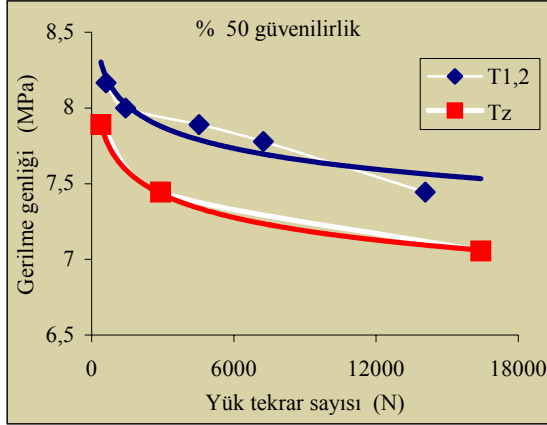
Tablo 3. Tekrarlanan Yük Deney Sonuçlarının Lognormal % 50 Güvenilirlik Değerleri

Takviye Durumu	Yük MPa	N1	N2	N3	N4	N5	N (R <sub>1</sub> % 50)
T1. 2ögz	7.45	6942	8512	1492			4451
T1.2	8.2	962	451	529			612
	8.0	1256	1452	1613			1433
	7.9	4384	5978	3561			4536
	7.8	6369	5978	10009			7250
	7.45	16951	10258	17165	12208	15163	14076
Tz	7.9	398	493	292			386
	7.45	3747	2439	2715			2917
	7.05	13404	20133				16427

Tablo 3’deki 1.2 mm tel çapına sahip öngerilmeli yay takviyesi, 7.45 MPa gerilme genliğinde yük tekrar sayısını takviyesiz numuneye göre (14076/2917) 4.83 kat arttırmıştır. Aynı gerilme genliği için öngerilme olmaksızın yay takviyesi yük tekrar sayısını (4451/2917) 1.53 kat arttırmaktadır. 7.45 MPa gerilme genliğinde öngerilmenin ömür üzerindeki etkisini belirlemek için yük tekrar sayıları

oranlanarak, öngerilme verilmesinin sadece yay takviyesine göre yük tekrar sayısını 3.16 kat arttırdığı bulunur. 7.9 MPa gerilme genliğinde ise öngerilme verilmiş numunelerde sadece yay takviyeli numunelere göre (4536/386) yaklaşık olarak 12 katlık yük tekrar sayısı artışı vardır.

Tablo 3’de elde edilen gerilme genliği-yük tekrar sayıları ile 1.2 mm tel çapına sahip yay takviyeli ve takviyesiz numunelerin Wöhler eğrileri Şekil 6’da çizilmiştir. Şekil 6’da takviye ve öngerilme ile üretilmiş numunelerin Wöhler eğrisinin takviyesiz numunelerin eğrisine göre daha üst değerlere ötelendiği görülmektedir.



Şekil 6. Numune gruplarının % 50 güvenilirlik için yorulma eğrilerinin karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan deneyler sonucunda, yay takviyesi yapılmasının numunenin statik kopma değerini % 16, öngerilme uygulanması durumunda ise statik kopma değerini % 18 oranında iyileştirdiği sonucu bulunmuştur. Yay takviyesi statik kopma üzerinde öngerilmeden daha fazla etkilidir. Yay takviyesi statik kopmada tamamen ayrılmayı engellemekte, hasar matris malzemenin yayların üzerinde sıyrılması şeklinde oluşmaktadır. Yay takviyesi yapılmış numunelerde statik kopmada matris malzemede çatlama oluşmakta ancak bu hasara yol açmamakta, numune daha yüksek zorlamaları taşınmaya devam etmektedir.

7.45 genliğinde aynı plastik deformasyonu oluşturan 1.2 mm tel çapına sahip yay takviyesi yapılmış numunelerde öngerilmeli yük tekrar sayısının sadece yay takviyesi yapılmış olanlara göre 3.16 kat fazla olduğu bulunmuştur. Aynı gerilme genliği için sadece yay takviyesi ile, takviyesiz numunelere göre 1.53 kat fazla yük tekrar sayısı elde edilmiştir. Öngerilme de verilmiş numunelerde yük tekrar sayısındaki artış takviyesiz numunelere göre 4.83 kat olmuştur. Farklı gerilme genliklerinde gerçekleştirilen deneylerde, öngerilme verilmiş yay takviyeli numunelerde takviyesiz numunelere göre 12 kata yakın bir ömür artışı bulunmuştur.

#### 5. KAYNAKLAR

- Akkurt, S. 1991. Plastik Malzeme Bilgisi Birsen Yayınevi, İstanbul, 5-38, 55-86.
- Akkurt, S. and Erten, M. 1994. “Plastik Dişli Çarkların Hesap ve Konstrüksiyon Bakımından İncelenmesi”, **6. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, 453-462.
- Anonymous, 1996. Plastic gear design basics, Gear Technology 13 (4), 1-6.
- Birley, A. W., Heath, R. J., Scott, M. J. 1988. Plastics Materials Properties and Applications, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York, P. 117-120.
- Brydson, J. A. 1989. Plastics Materials, 5th Edition, Butterworth-Heinemann Ltd., Cambridge, P. 410-415.
- Callister, D. W. Jr. 2002. Materials Science and Engineering an Introduction, Wiley international edition, John Wiley & Sons Inc., New York, P. 480-491, 509-510, 517.
- Can, H. 2004. Öngerilmeli Plastik Dişli Çark Tasarımı 153 s., Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Crawford, R. J. 1987. Plastics Engineering, 2 nd Edition, Pergamon Press, Oxford, P. 12-26, 109-140, 154-160.
- Dimarogonas, A. D. 1989. Computer Aided Machine Design, Prentice Hall International Ltd., Cambridge, P. 555-556.
- Krauss, G. 1993. Steels Heat Treatment and Processing Principles ASM International, Ohio, P. 302-305.
- Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Iwai, T. and Nagai, S. 2003. Performance of Plastic Gear made of Carbon Fiber Reinforced Polyamide 12, Wear, 254 (5-6), 468-473.
- Smith, Z., Fletcher, M. 1998. Gearing up With Plastic, Mechanical Engineering, 14 (1), 35-39.
- Suresh, S. 1998. Fatigue of Materials Cambridge University Press, Cambridge, 408-410.
- Uğuz, A. 1996. Kırılma Mekaniğine Giriş 160 s. Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
- Yüksel, M. 2000. Malzeme Bilimleri Serisi Cilt 1 Malzeme Bilimlerine Genel Bir Bakış 266 s., TMMOB-Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 271-1, Ankara.