

Poliamid Dişlilerin Yorulma Dayanımlarını Yay Takviyesi İle
Artırma

Proje No: 107M603

Dr. Hilal CAN SAYILGAN

ŞUBAT 2010
DENİZLİ

ÖNSÖZ

Bu proje, poliamid dişlilere yay takviyesi yapılarak yorulma dayanımlarını arttırmak amacıyla yapılmıştır. Projeyi gerçekleştirmede laboratuvar, materyal, hizmet alımının sağlanmasında ve projenin gerçekleştirilmesi hizmetlerinde destek sağlayan Pamukkale Üniversitesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	i
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Poliamidin Özellikleri	4
2.2. BS 6168 Standardına Göre Eğilme Gerilmesi Hesabı	5
3. GEREÇ VE YÖNTEM	7
3.1 Numunelerin Hazırlanması	7
3.1.1. Takviye yaylar	7
3.1.2. Numunelerin enjeksiyon kalıplanması	7
3.2. Test Aparatında Gerekli Değişikliklerin Yapılması	8
3.3. ANSYS'de Modellemenin Yapılması	9
4. BULGULAR	10
4.1. BS 6168'e Göre Yapılan Hesaplamalar	10
4.2. ANSYS Uygulamaları	11
4.3. Deneylerin Yapılması	13
4.3.1 Statik kopma deneyleri	13
4.3.2. Yorulma deneyleri	14
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	19
KAYNAKLAR	21

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri	4
Çizelge 2. DIN 17223/84 normunda B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik telin kimyasal bileşimi	7
Çizelge 3: BS 6168 standardından elde edilen çeşitli teğetsel kuvvete göre sınır çevrim sayıları	10
Çizelge 4: Statik kopma değerleri	13
Çizelge 5: Takviyeli ve takviyesiz numunelerle yapılan yorulma deneyleri	15

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Poliamid 6'nın zincir halkası	4
Şekil 2. Yay ve pimler	7
Şekil 3. Numunelerin enjeksiyonla üretilmesinde kullanılan kalıp	8
Şekil 4. Poliamid 6'dan üretilmiş numuneler	8
Şekil 5. Numuneleri deney cihazına bağlamak için kullanılan aparat	9
Şekil 6. Takviyeli numunenin modellenmesi	9
Şekil 7. Takviyesiz numunede ömür ($F_t=2000$ N)	11
Şekil 8. Takviyeli numunenin ömür değeri ($F_t=2000$ N)	11
Şekil 9. 1150 N'luk teğetsel kuvvet ile dış dibi gerilmeleri	12
Şekil 10. 1750 N için öngerilmeli numunelerde dış dibi gerilmeleri	12
Şekil 11. Takviyesiz numunelerin çekme deneyi	13
Şekil 12. Takviyeli numunelerin çekme deneyi	13
Şekil 13. Hatalı üretilmiş numuneler	14
Şekil 14. Takviyeli ve takviyesiz numunelerden elde edilen deney sonuçları	16
Şekil 15. Logaritmik eksenle takviyeli ve takviyesiz numunelerin deney sonuçları	17
Şekil 16. Takviye kullanımının pozitif etki sınırı	17
Şekil 17. Takviyeli numunelerde ömür artışı	18
Şekil 18. Takviyeli numunede 2,4 kN gerilme genliğinde yük tekrar sayısına göre pozisyon değişimi	18

ÖZET

Plastik malzemeler, dişli çark malzemesi olarak gün geçtikçe artan oranda kullanılmaktadır. Yağlamasız kullanılabilmeleri, hafif ve korozyona dayanıklı olmaları plastik dişlilerin en önemli avantajlarıdır. En çok tercih edilen plastik dişli çark malzemesi poliamiddir. Dişli çarkların kullanımlarındaki en büyük problem yorulma dayanımlarının düşük olmasıdır.

Bu proje kapsamında poliamid dişlilere yay takviyesi ve öngerilme yapılmasının ömür değerlerine etkisi incelenmiştir. Öngerilme oluşturmak için, enjeksiyon kalıplama öncesi 4 mm çekilen 1,2 mm tel çapına sahip 7 sarımlı yaylar, enjeksiyon kalıplama sonrası serbest bırakılmıştır. Sonuç olarak yüksek yüklerde takviye malzeme kullanımının negatif etki gösterdiği, ancak düşük yüklemeler için ise takviye malzeme kullanımı ile yorulma ömrünün uzadığı bulunmuştur. Sonuçlar BS 6168 standardına göre yapılan teorik hesaplamalarla ve ANSYS'de gerçekleştirilen simülasyonla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Poliamid dişli çarklar, Yorulma ömrü, Yay takviyesi, Öngerilme, Diş dibi gerilmeleri

ABSTRACT

Power transmission with plastic gears is becoming more and more important, owing to some advantages of this materials in comprasion to steel and other metals. Plastic gears, have low noise, lightness and self lubricated, strength of corrosion. The most preferred plastic gear material is polyamide. Plastic gears are limited in usage of their low strength.

In this Project, polyamide gears, which have reinforced with 1,2 mm wire diameter and 7 coils springs, are tested. These springs are stretched at 4 mm before injection molding and then they are released to make pre-stressing. As a result, the negative effect of high loads of reinforcement materials, but the fatigue life with reinforcements was prolonged in low loadings. According to the theoretical calculations with BS 6168 standard results, with simulations performed at ANSYS results and testing results were compared.

Keywords: Poliamid gears, Fatigue life, Spring reinforcement, Pre-stressing, Bending stress at tooth root

1. GİRİŞ

Dişliler güç ve hareket iletim elemanlarıdır. Dişlilerin hasar mekanizmaları diş dibinden kırılma, yorulma ve aşınma şeklinde oluşmaktadır. Dişli malzemeleri kullanım yerine göre dökme demir, çelik, alüminyum, plastik gibi malzemelerden olabilmektedir. Plastik dişliler, korozyona dayanıklıdır, hafiftirler, kolay üretilebilirler ve yağlama olmaksızın çalışabilirler. Bu avantajlar plastik dişlilerin kullanım alanlarını arttırmaktadır. Özellikle korozyona uğramamaları ve yağlamasız çalışabilmeleri gıda endüstrisinde, bunun yanı sıra gürültünün ön plana çıktığı ev ve ofis araçlarında sıkça kullanılmaktadırlar. Plastik dişlilerin bahsedilen avantajlarına rağmen kullanımlarını sınırlayan en önemli dezavantajı ise dayanım değerlerinin düşük olmasıdır. Plastik dişlilerin düşük dayanım değerlerini arttırmak için literatürde yapılmış çalışmalar boyutsal değişiklikler ve malzemeye dayalı değişiklikler şeklinde iki ana başlık altında toplanabilir (CAN, 2004).

Boyutsal Değişiklikler:

Boyutsal değişiklikler, dişlinin temel büyüklüklerinin değiştirilmesi ya da tamamen profilin değiştirilmesi şeklinde olabilir. Plastik dişlilerin ömrünü arttırmak amacıyla yapılabilecek en basit çözüm aynı yüke maruz kalacak daha büyük bir dişli yapmaktır. Boyutların büyütülmesi sadece modülün büyütülmesi anlamında değildir. Modülün büyütülmesi dışında basınç açısının düşürülmesi ile de diş dibi kalınlığı değiştirilebilmektedir. Silecek motoru tasarımında dişli profili değiştirilerek yorulma dayanımının arttığı belirlenmiştir. Plastik dişli çarkın dişleri daha kalın ve daha geniş olarak düşünülerek dişli kutusunun %50 daha fazla moment taşıması sağlanmıştır (BIRLEY, 1988).

Diş modifikasyonunun temas anında dişe gelen yüklere göre, temas çizgisi boyunca kalınlığın artırılması prensibine göre yapılan çalışmada diş boyunca ısının düştüğü ve ısıl yorulmanın ortadan kalktığı belirlenmiştir (DÜZCÜKOĞLU, 2009-1).

Poliamid dişlilerde havalandırma kanalları açılarak yapılan çalışmada dişte oluşan sıcaklıkların düştüğü ve ısıl yorulmanın oluşmadığı bulunmuştur (DÜZCÜKOĞLU, 2009-2).

Malzemeye Dayalı Değişiklikler

Malzemeye dayalı değişiklikler ise yüksek dayanımlı malzeme seçilmesi ya da takviye malzeme kullanımı şeklindedir.

Yüksek Dayanımlı Malzeme Seçimi

Dayanımı daha yüksek bir malzemenin kullanılması ile yorulma dayanımında artış gözlenmektedir. Ancak bu çoğu zaman fiyat artışını da beraberinde getirmektedir (CAN, 2004).

SKP (sıvı kristalli plastik) dişliler enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilmiş, dişli ömrü, dişlerdeki aşınma, diş profili değişimleri ölçülerek, poliasetal dişlilerin aynı şartlarda test edilmesi ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır (TSUKAMATO, 1995-1). Dişlilerde kullanıldıklarında mükemmel performans gösteren yüksek mekanik dayanımlı MC poliamidin (naylonun) ömür, aşınma deneyleri yapılmıştır. Naylonun diğer bir çeşidi olan MXD 6 naylon için de eğme yorulması deneyleri gerçekleştirilmiştir (TSUKAMATO, 1996, TSUKAMATO, 1989). Poliimid dişliler ile yapılan deneyler bu dişlilerin yüksek sıcaklık ortamlarında mükemmel özellikler gösterdiklerini ortaya koymuştur. Bu dişlilerin üretim maliyetlerinin fazla olması nedeniyle yüksek dayanım, iyi bir ısı dayanımı ve ekonomik olan aramidlerle yapılan dişlilerle aynı deneyler yapılarak bu iki malzemeye ait tasarım verileri tanımlanmıştır. Deneyler iki atmosferik çevrede oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir (TSUKAMATO, 1993, TSUKAMATO, 1995-2).

Takviye Malzeme Kullanımı

Takviye malzeme kullanımı farklı bir plastiğin ana malzemeye takviyesi ve farklı malzemenin takviyesi şeklinde olduğu belirlenmiştir. %50 poliasetal ve %50 poliüretan içeren malzemedan yapılmış dişlilerin poliasetal dişlilerden daha düşük gürültülü çalışmasına rağmen dayanım açısından bir artış sağlanmamıştır (TSUKAMATO, 1995-3). Poliamid 6 ve SKP oluşan kompozitin düşük yüklemelerde iyi performans gösterdiği, optimum SKP oranı, ergiyik için optimum sıcaklık bulunmuştur (KRUKAWA, 1999). %30 SKP içeren poliamid 6'ya epoksi ilavesi ile asetal dişlilere göre 1,2 katlık dayanım artışı tespit edilmiştir. %10 dan daha fazla oranda başka bir plastikte takviye edilen poliamidin gürültüyü azalttığı ancak diş aşınması ve ömürlerinin azaldığı belirlenmiştir (TSUKAMATO, 1991). Politetrafloretillen (PTFE) takviyesi yapılan poliamid 66 ve poliasetalin aşınma ve sürtünme performanslarının takviyesiz polimerlere göre daha üstün olduğu belirlenmiştir. PTFE takviyesi kullanımıyla takviyesiz poliamid 66'da görülen yüzey kırılması engellenmekte ve sürtünme düşmektedir (RAO, 1998).

Ek malzeme takviyesi olarak en fazla takviye malzeme olarak karbon elyaf ve cam elyaf kullanılmaktadır. %30 karbon elyaf takviyeli poliamid, %35 cam elyaf takviyeli poliamid ve %35 cam elyaf takviyeli MoS₂ içeren poliamid ve takviyesiz poliamidden yapılmış dişliler belli test karakteristikleri altında deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 20-45 Nm arasındaki momentlerin 10 milyon devirden fazla devir sayıları için plastik dişliler yoluyla iletebileceği, yağlama şeklinin yorulma dayanımını oldukça etkilediği, cam elyaf takviyeli poliamid dişlilerin çelik dişlilerle eşlenmelerinde kabul edilemez aşınma olduğu, MoS₂ ilavesinin aşınmayı azalttığı ve karbon elyaf takviyesinin kabul edilebilir aşınmayla yüksek moment iletimine izin verdiği bulunmuştur. Naylon 6 dişlilerin karşılaştırmalı yorulma dayanımları incelenmiştir. Farklı takviyelerle enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş naylon 6 dişlilerin Wöhler eğrileri çeşitli yağlama durumları altında (kuru, gres, püskürtme ile yağlama) ve farklı eşleme kombinasyonları (plastik/plastik ve çelik/plastik dişliler) için belirlenmiştir (CRİPPA, 1995). Tsukamoto ve arkadaşları, poliasetal ana malzemeye cam elyaf, karbon elyaf ve potasyum titanat takviyeleri ile elde edilen kompozit dişlilerde diş aşınması, diş

yüzeyindeki sıcaklık, diş profilinin değişimi ve gürültü seviyesini incelemişlerdir (TSUKAMOTO, 1993-2). Polikarbonat dişlilere çeşitli takviyeler ve poliasetale rijitliği artırırken kaymayı düşüren talk takviyesi ile yorulma dayanımlarındaki değerlerin değişimi incelenmiştir (GOSAVI, 1996, TSUKAMOTO, 1997).

Polipropilen matriks içerisine enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip, enjeksiyon yapıp katılma gerçekleşikten sonra bırakılan yaylar ile diş dibinde belli miktarda öngerilme oluşturulması düşünülmüştür. Takviyeli ve takviyesiz olarak üretilmiş dişliler dakikada 45 devir yapan test cihazında deneye tabi tutulmuş ve aynı gerilme genliği altında öngerilmeli dişlilerde 30 kata kadar ömür artışı elde edilmiştir. Öngerilme verilmeksizin yapılan yay takviyesi ile statik kopma mukavemetinin %30'a kadar arttığı tespit edilmiştir (CAN, 2004).

Plastiklerin çoğu, çatlağın yayılmasından değil; iç sürtünmeden meydana gelen ısı ve bu ısının dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama ile hasara uğramaktadır. Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı değişken zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda değildir; şekil değiştirmeler gerilmelerin gerisinde kalmaktadır. Faz farkının değeri plastiklerin cinsine göre büyük ölçüde değişmektedir. Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkının sonucu olarak her yük tekrarlanmasında, uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü ısıya dönüştürülüp kaybolmaktadır. Bu kayıp histerezis kaybını ifade etmektedir. Her yük tekrarlanmasında meydana gelen ısı histerezisinin büyüklüğü, uygulanan gerilmeye ve malzemenin kayıp uygunluğuna (J_2) bağlıdır. Plastikler düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilmemekte ve her yük tekrarlanmasında kalan ısılar toplanmaktadır. Malzemede ısının oluşumu, sıcaklığın belirli bir değere yükselmesinden sonra oluşan ısı; konveksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile dışarıya iletilen ısı ile eşitlenirse; ısı dengesi kurulur ve sıcaklık sabit kalır. Bu durumda sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma meydana gelir; ancak malzeme düşük değişken gerilmeleri taşıyabilir. Oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyük olduğunda sıcaklık devamlı artar. Sıcaklığın belli değerinde, malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Buna *ısı yorulma veya yumuşama hasarı* denir. Yüksek kayıp uygunluğuna ($J_2 > 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$) sahip plastikler, ısı yorulma göstermektedirler. Bu gruba polipropilen, polietilen ve naylon girmektedir (KOHAN, 1995).

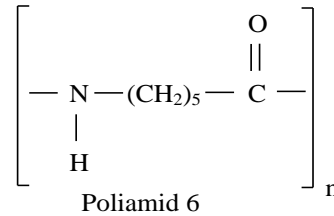
Yay takviyesi ile öngerilme oluşturulmasına dair literatürde yer alan polipropilen dişliler konusundaki çalışma dışında bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak polipropilen dişli malzemesi olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca deneyler 0,75 Hz frekanslı Tequipment SM 100 yorulma da yapabilen çekme deney cihazında gerçekleştirildiği için plastik dişlilerin hasar mekanizmalarından olan ısı yorulmanın etkisi gözlenememiştir. Bu çalışmada polipropilen numunelerde denenmiş olan plastik dişlilere enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip kalıplama sonrası bırakılan yay takviyesinin sonuçları incelenmiştir. Matriks malzeme olarak plastik dişli malzemesi olarak en çok kullanılan plastik türlerinden biri olan poliamid 6 alınmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Poliamidin Özellikleri

Çalışmada matriks malzeme olarak plastik dışı malzemesi olarak en çok tercih edilen termoplastik olan poliamid 6 seçilmiştir.

Poliamidin en önemli dezavantajı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır, bu poliamid özelliklerini ve boyutsal kararlılığını etkiler. Cam takviyesi bu problemi düşürür ve mükemmel dayanım değerleri ile birlikte darbeye dayanım getirir. En düşük kristalinite derecesine sahip olan poliamid 6, en kolay işlenebilen poliamidir. Poliamidin çok iyi yorulma dayanımı, iyi sürünme dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve oldukça iyi darbe dayanımı (kristalinite derecesine bağlı), iyi kimyasal dirençleri ve elektrik özellikleri vardır. Polimerizasyon sırasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi naylonun rijitliğini, dayanımını ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genellikle düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe dayanımını yükseltir, fakat çekme dayanımı ve rijidliği azaltır. Şekil 1'de poliamid 6'nın zincir halkası verilmiştir. Çizelge 1'de ise dışı malzemesi olarak kullanılan poliamid 6'nın mekanik özellikleri verilmiştir (CAN, 2004).



Şekil 1. Poliamid 6'nın zincir halkası

Çizelge 1. Dışı yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekmede elastisite modülü (GPa)	Çekmede kopma uzaması (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilmede elastisite modülü (GPa)
Poliamid 6	1120-1140	62-90	1,4-2,8	100-320	34-97	2,8
Poliamid 6/6	1130-1150	76-83	2,6-3,2	60-300	41-110	21,4-4,1

Önemli bir poliamid çeşidi, kestamid (cast poliamid) olarak da adlandırılan dökülebilen naylondur. Birçok plastik ısının etkisi altında ve atmosfer basıncında döküm kalıbını doldurmak için yeterli derecede sıvı halini alamazlar. Bu nedenle bunlara şekil vermek için yüksek basınç gerekmektedir. Bu plastiklere ısı ve yüksek basıncın bir arada bulunduğu ekstrüzyon veya enjeksiyon yöntemleri

uygulanır. Ancak bazı plastikler, atmosfer basıncında dökülebilen sıvı kıvamında bulunabilirler. Dökülebilen poliamid, poliamid 6 monomerlerinden elde edilir; bu monomerlerden çok karışık ve ağırlıkları yüzlerce kilograma varan parçalar dökülür (KOHAN, 1995).

2.2. BS 6168 Standardına Göre Eğilme Gerilmesi Hesabı

Polimer dişliler için temel dairesi üzerindeki hasar eşsizdir. Isıl yorulma olarak tanımlanan bu hasar temel dairesi üzerindeki temas noktasında yüksek bölgesel sıcaklık oluşumu ile dayanımın düşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Temel dairesi üzerindeki ısıl yorulmanın özellikle yağlamasız çalışan dişlilerde olduğu gözlenmiştir. Plastik dişlilerin hesaplarına ilişkin standartlarda temel dairesi üzerindeki hasar göz ardı edilmiş ve bu standartlar genellikle, plastik dişliler için yorulma hasarı niteliğindeki diğer üç hasar tipi olan diş dibinden kırılma, aşınma ve pullanmayı esas almışlardır. Cam takviyeli dişliler için çok az bilgi bulunmaktadır fakat gevrek hasar için çekme dayanımında artış olduğu çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir. Ayrıca cam takviye malzeme ile aşınma öncelikli problemidir.

BS6168 standardında plastik dişlilerin diş dibinden kırılmaya göre hesaplamaları yapılırken sıcaklık ve yağlama etkisi göz önünde bulundurulmaktadır. Dönüştürülmüş temas oranı nem ve sıcaklığın değişimine göre hesaplanır (BS 6168, 1987).

$$S = \frac{\sigma_{Flim}}{\sigma_{Fh}} \cdot Y_x \quad (1)$$

Y_x : Boyut faktörü (modüle göre belirlenir)

σ_{Flim} : Wöhler diyagramından çevrim sayısı ve sıcaklığa göre elde edilen yorulma dayanımı

σ_{Fh} : Hesaplanan yorulma dayanımı

$S \geq 1,25$ olması istenir.

Hesapla yorulma dayanımının bulunması için;

$$\sigma_{Fh} = F_t \frac{Y_F Y_\epsilon K_A}{b \cdot m} \quad (2)$$

formülü kullanılır. Burada;

K_A : Uygulama faktörü

Y_F : Eğilme için form faktörü

Y_ϵ : Eğilme için temas oranı faktörü olarak ifade edilmektedir.

$$Y_F = f(x) \quad (3)$$

X: Diş üstü modifikasyonu

$$X=0,02 \cdot (30-z_1) \quad (z_1+z_2 < 60 \text{ ise}) \quad (4)$$

$$Y_{\epsilon} = 0,2 + \frac{0,8}{\epsilon_{\alpha}} \quad (5)$$

$$\epsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{r_{amin1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{amin2}^2 - r_{b2}^2} - a_w \cdot \sin \alpha_w}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha_t} \quad (6)$$

ϵ_{α} : Dönüştürülmüş temas oranı

r_{amin} : Kaliteye göre diş üstü minimum yarıçapı

r_b : Dönüştürülmüş temel dairesi yarıçapı

a_w : İşlem sırasında merkezler arası uzaklık

a_{th} : Merkezler arası uzaklığın ısıl genleşme ile değişim miktarı

α_w : İşlem sırasında basınç açısı

Dişli çalışırken yüzeyde ve gövdede oluşacak sıcaklık aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{136P_t \mu (1+u)}{z_2 + 5} \left\{ \frac{1,71 \cdot 10^4 K_a}{bz_1 (vm_n)^{K_m}} + \frac{7,33 K_b}{A} \right\} + 5 \quad (7)$$

Burada,

θ_0 : Çevre sıcaklığı (°C)

K_a : Yağlama faktörü (yüzey sıcaklığı ile gövde sıcaklığı hesaplanırken farklı değerler kullanılmaktadır)

K_b : Sürüş şekli (dişli kutusunun açık, kapalı veya kısmen kapalı olması) için düzeltme faktörü

K_m : Dişli malzemesi faktörü

A : Dişli kutusu yüzey alanı (m) dır (BS 6168, 1987).

(7)'de verilen formülle elde edilen sıcaklığa göre dişli malzemesinin Wöhler grafiğinden σ_{Flim} belirlenir. PA 66 ve PA 6 için maksimum çalışma sıcaklığı yağlamasız durumda 90 °C olarak verilmiştir. Sıcaklık hesabı ile hesaplanan hacim sıcaklığı diş dibinden kırılmaya göre hesapta, diş yüzey sıcaklığı ise temas gerilmesi hesabında kullanılır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Numunelerin Hazırlanması

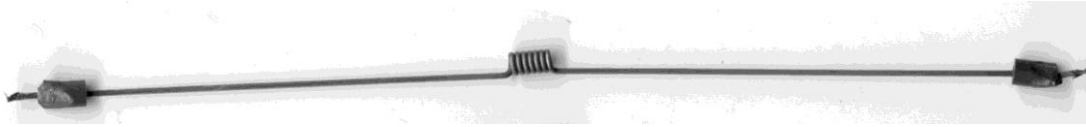
3.1.1. Takviye yaylar

Deney numuneleri içine DIN 17223/84 (TS2500-1, EN 10270 SM) standartlarına uygun olarak üretilmiş B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik tellerden 1,2 mm kalınlığındaki tel 7 sarım olarak sardırılmış ve 200 °C'de tavlansmıştır. Tellerin kopma mukavemeti üretici tarafından yapılan testlerde 1920 – 2160 N/mm² olarak belirlenmiştir. Tellerin kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. DIN 17223/84 normunda B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik telin kimyasal bileşimi

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %
0,70-1,00	En çok 0,35	0,30-1,00	En çok 0,025	En çok 0,025	En çok 0,12

Yayların kalıp içerisinde gerilmesini sağlamak için uçlarına tekstil makine sanayinde kullanılan dış çapı 5 mm, iç çapı 1,25 mm olan pimler kaynatılmıştır. Pimler dış dibine sarımlar gelecek şekilde sarım bitiminden 75 mm mesafede sabitlenmiştir (Şekil 2).

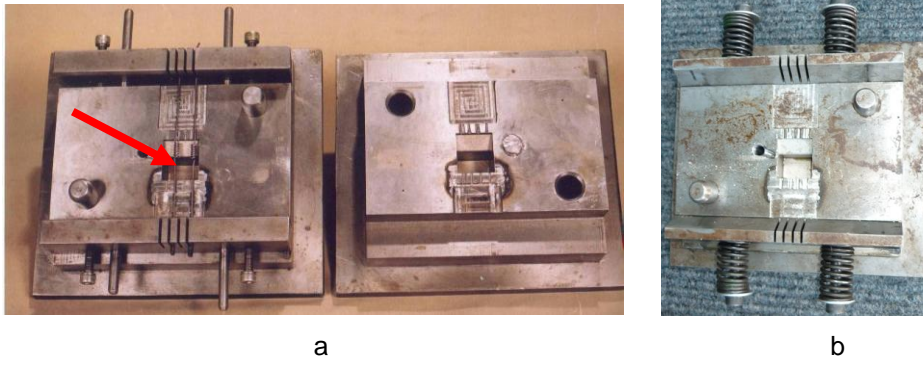


Şekil 2. Yay ve pimler

Yayların 4 mm çekilmesi ile her bir yayda 111,16 N luk bası kuvvetinin ve dolayısıyla 0,996 N/mm²lik bir öngerilme bası gerilmesinin oluşması sağlanmıştır. Ancak yaylar tamamen geri gitmeyeceği için sistemde oluşacak öngerilme daha düşük değerde olacaktır.

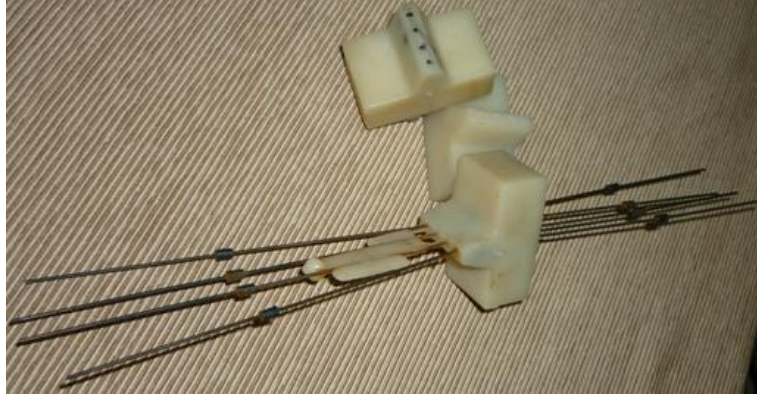
3.1.2. Numunelerin enjeksiyon kalıplanması

Önceki çalışmada kalıbın eski halinde gerdirme işlemi kalıbın üst tarafındaki vidaların çevrilmesi ile yapılmaktaydı (Şekil 3.a). Ancak vidaların çevrilmesi ile her seferinde aynı germe miktarının hassas olarak sağlanmasındaki güçlük nedeniyle sistem otomatik olarak 4 mm açılacak hale getirilmiştir (Şekil 3.b)



Şekil 3. Numunelerin enjeksiyonla üretilmesinde kullanılan kalıp
 a. Kalıp ve yayların kalıp içindeki konumu
 b. Modifiye edilmiş kalıp

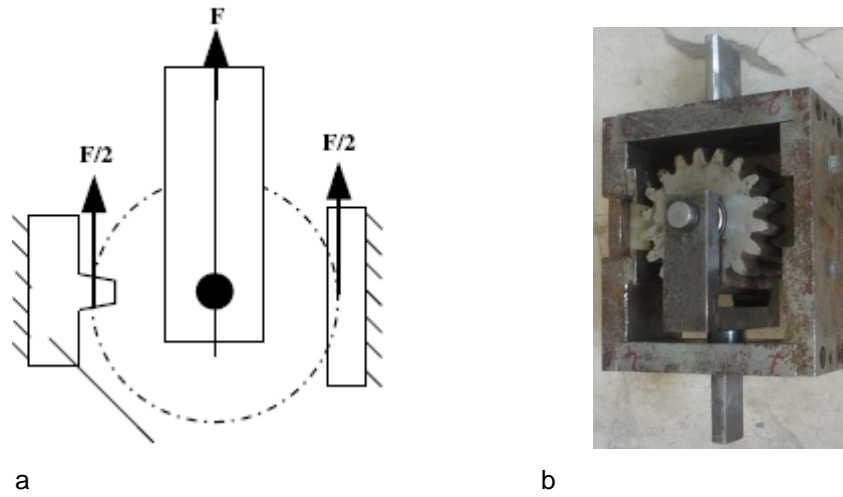
Deneylerde kullanılacak numuneler Denizli'de bir sanayi atölyesinde enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilmiştir. Polyamid 6 granül ile üretim gerçekleştirilmiştir. Yaylar kalıplama öncesi 4 mm çekilerek her bir yayda 111,16 N'luk öngerilme oluşturulmuştur. Takviyesiz 100 adet, takviyeli 120 adet numune oluşturulmuştur. Şekil 4'de numune grupları gösterilmiştir.



Şekil 4. Poliamid 6'dan üretilmiş numuneler

3.2. Test Aparatında Gerekli Değişikliklerin Yapılması

Numuneleri deney cihazına bağlamak için yardımcı aparat tasarlanmıştır. Aparat ile birlikte kuvvetin dağılımı ve aparata ait resim Şekil 10'da verilmiştir. Aparat eski deneylerde kullanılan aparatın yeni cihaza göre modifiye edilmesi ile oluşturulmuştur.



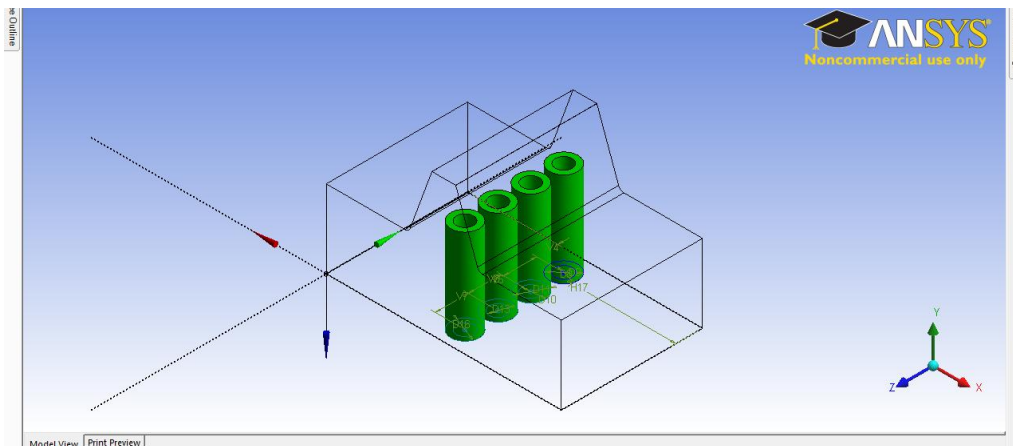
Şekil 5. Numuneleri deney cihazına bağlamak için kullanılan aparat

- a. Aparatta kuvvet dağılımı
- b. Modiye edilmiş aparat

3.3. ANSYS'de Modellemenin Yapılması

Dişlilerde yorulma çatlakları çeki bölgesinde başlamakta ve ilerlemektedir. Özellikle gevrek malzemelerin basıya daha dayanıklı olmaları nedeniyle projede önerilen öngerilme verilmesinin yorulma ömrünü artırması beklenmektedir. Ancak gerilme dağılımı incelendiğinde bası tarafında çeki tarafına yakın gerilmeler söz konusudur. Daha önce polipropilen dişlilerle yapılan çalışmada da hasarın bası bölgesinde değil çeki bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Poliamidin basmaya dayanımı çekmeye karşı dayanımından %20 kadar daha yüksektir (<http://www.jbcplastic.com/nylon.htm>).

Numune içerisinde yayların yerleştirilmesi yay şekli ile başılamamıştır. Bu nedenle yaylar, Şekil 6'daki gibi silindirik boru şeklinde modelize edilmiştir.



Şekil 6. Takviyeli numunenin modellenmesi

4. BULGULAR

4.1 BS 6168'e Göre Yapılan Hesaplamalar

BS 6168 standardında verilen hesap yöntemine göre, PA66 için yapılan hesaplarla çeşitli yüklemelerde dişli kutusu açık, çalışma esnasında nem de bir değişiklik olmadığı kabul edilerek 4 farklı teğetsel kuvvete göre hesap yapılmış ve Çizelge 3'deki sonuçlar elde edilmiştir. PA66 için hesap yapılmasının nedeni ilgili standartta bu malzeme için Wöhler eğrisinin yapılmış olmasıdır. PA66'nın PA 6'dan farkı daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmasıdır.

Çizelge 3: BS 6168 standardından elde edilen çeşitli teğetsel kuvvete göre sınır çevrim sayıları

m	z	n	d	Ft	V	M _b (Nm)	P	F
6	17	500	102	1000	2,670354	51	2,670157	1
				1500	2,670354	76,5	4,005236	2
				1700	2,670354	86,7	4,539267	3
				2000	2,670354	102	5,340314	4

A m ²	(Vm) ^{KM}	Gövde sıcaklığı °C açık sürüş	açık gövde Δ _{th}	r _{th}	a _w	a _{th}	a _{wmax}	F
0,1	8,0083	62,55482	0,0026	0,1326	102	0,094844	102,0878	1
		79,83223	0,0032	0,1632		0,133967	102,0792	2
		86,74319	0,0042	0,2142		0,149616	102,1146	3
		97,10964	0,0054	0,2754		0,17309	102,1523	4

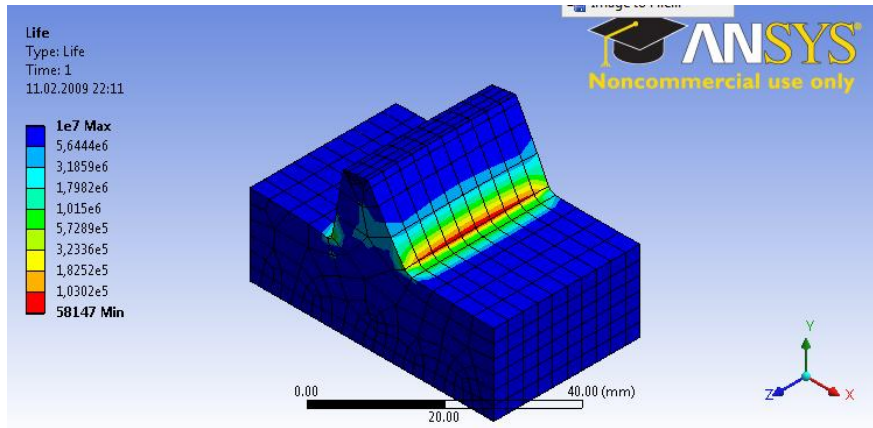
α _w	ε _α	Y _F	x=0,26 Y _F	σ _H	σ _{lim}	Devir sayısı	F
20,13488	1,501604	0,732764	2,51	10,21798	15,02644	10 ⁹	1
20,12183	1,502836	0,732327		15,31784	22,52623	10 ⁶	2
20,1759	1,497734	0,73414		17,4032	25,59294	2x10 ⁵	3
20,23341	1,49231	0,736082		20,5285	30,18897	55000*	4

* Wöhler eğrisi 10⁵ çevrimden itibaren verildiği için eğri uzatılarak yaklaşık bulunan değerdir.

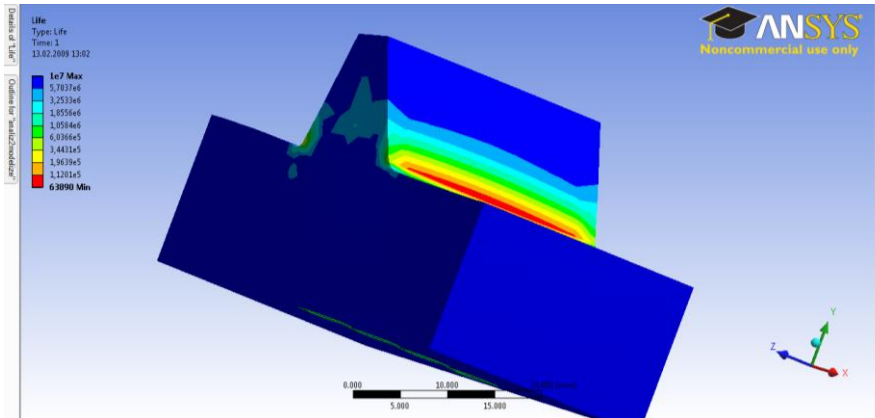
Standartta verilmiş Wöhler eğrisinde minimum 100000 devir için değer verilmiştir. 1700 N'luk teğetsel kuvvet için 200000 devir yorulma ömrüdür. Standartta göre PA dişlinin maksimum gövde sıcaklığı 90 °C olmalıdır. 1300 N luk teğetsel kuvvette 10⁶ devir standarta göre güvenilirdir. 2000 N'luk teğetsel kuvvet için ise 100000 devire ulaşamadığı hesaplanmıştır. 2000 N'luk teğetsel kuvvet için 100000 devirden daha az bir çevrim sayısı muhtemeldir. Eğri uzatılarak 2000N'luk teğetsel yük için 55000 civarında bir ömür değeri bulunmuştur.

4.2. ANSYS Uygulamaları

2000 N'luk teğetsel kuvvet uygulandığında takviyesiz numunede ömür minimum 58147 devirken (Şekil 7) takviye yayların modellendiği durumda ömür minimum 63890 (Şekil 8) devire çıkmıştır. Teorik hesaplamalar ile bu teğetsel kuvvete ait sınır çevrim sayısı verilmemiştir. Bu uygulama çeşitli gerilme genlikleri için tekrarlanmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Her değer için takviyeli ve takviyesiz numunelerin sonuçları karşılaştırıldığında gerilme genliği arttıkça takviyeli malzemenin ömür değerlerinin artışının azaldığı belirlenmiştir. Takviyeli numunenin dış üstüne 0,5 MPa'lık bası öngerilmesi etkidiği kabul edilmiştir.



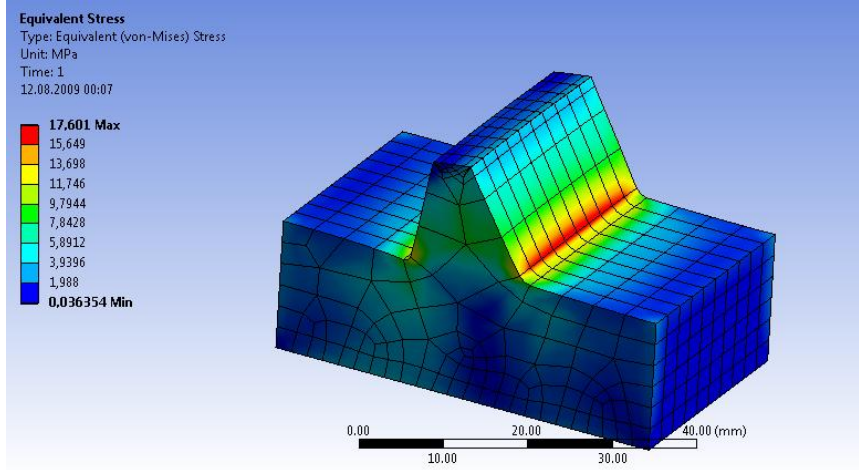
Şekil 7. Takviyesiz numunede ömür ($F_t=2000$ N)



Şekil 8. Takviyeli numunenin ömür değeri ($F_t=2000$ N)

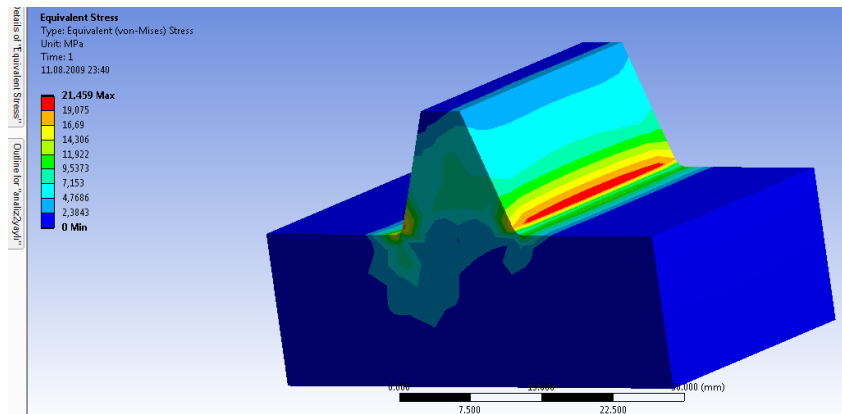
Yapılan analizlerde öngerilme şeklinde dış üstü genişliği boyunca etkiyen öngerilmenin artırılması durumunda ömür değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Takviyesiz numune için ANSYS'de teğetsel kuvvetin 1150 N olması durumunda dış dibi gerilmesi 17,6 MPa (Şekil 9) olarak bulunmuştur.



Şekil 9. 1150 N'luk teğetsel kuvvet ile dış dibi gerilmeleri

Dış dibi gerilmesi açısından değerlendirildiğinde teorik hesaplama ile takviyesiz numunede 1750 N'luk teğetsel kuvvet için 26,339 MPa dış dibi gerilmesi hesaplanmıştır. Sadece yay takviyesi yapılması ile aynı teğetsel kuvvet için iş dibi gerilmesi 24,8 MPa olarak bulunmuştur. 1750 N'luk teğetsel kuvvet ve 0,66 MPa öngerilme için ANSYS modellemesi için dış dibi gerilmesi 21, 459 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 10). Öngerilmenin olumlu etkisi bu şekilde teorik olarak ispatlanmıştır. 3 kN'dan yüksek teğetsel kuvvetlerde ise takviye yapılması dış dibi gerilmesini arttırdığı ve yorulma ömrünü ve yorulma dayanımını düşürdüğü bulunmuştur.



Şekil 10. 1750 N için öngerilmeli numunelerde dış dibi gerilmeleri

Çeşitli gerilme genlikleri için takviyeli ve takviyesiz numunelerin sonuçları karşılaştırıldığında gerilme genliği arttıkça takviyeli malzemenin ömür değerlerinin artışının azaldığı belirlenmiştir. Takviyeli numunenin dış üstüne 0,5 MPa'lık bası öngerilmesi etkidiği kabul edilmiştir.

ANSYS'de yapılan uygulamalarda öngerilmenin değerinin artırılmasının yorulma değerleri üzerinde olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir. Bu nedenle deneyler sırasında kullanılan yaylar tek tel çapında ve sabit germe miktarı (4 mm) ile çekilmişlerdir.

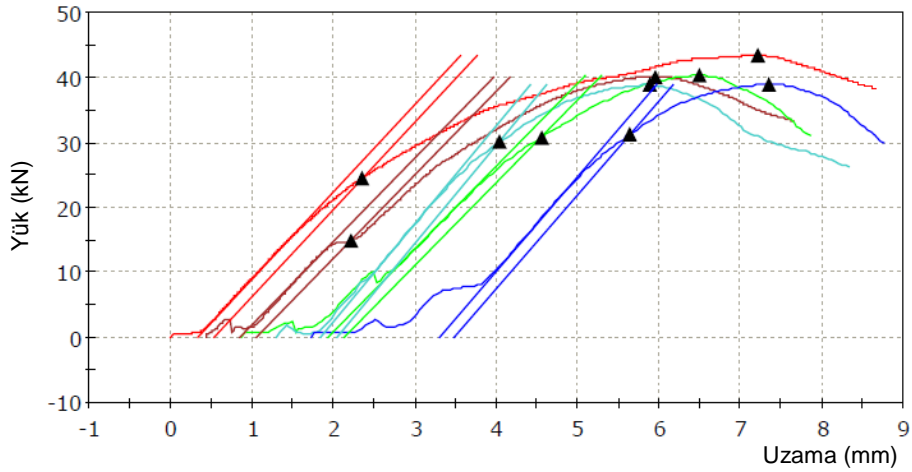
4.3. DeneYlerin Yapılması

4.3.1 Statik kopma deneyleri

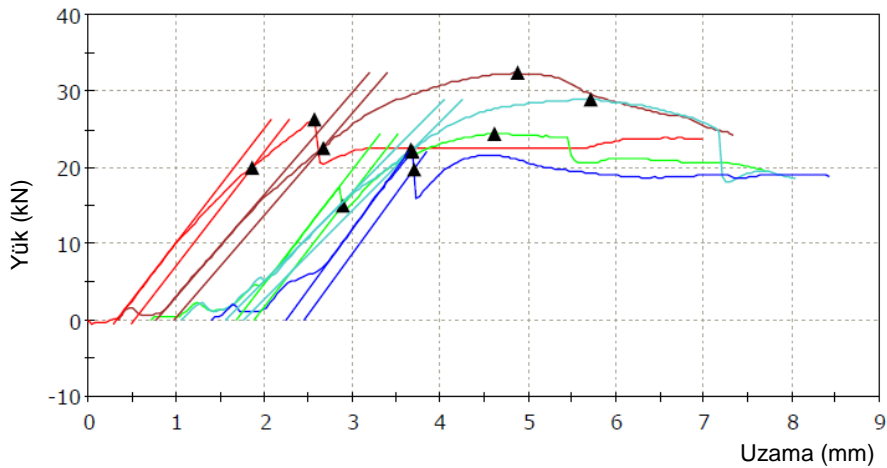
DeneYler, Instron marka çekme deney cihazında yapılmış, ilerleme hızı 2 mm/dakika olarak seçilmiştir. Öncelikle tek yükleme ile numunenin hasara uğradığı gerilmeler belirlenmiştir. Statik kopmaya neden olan kuvvet değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Statik kopma değerleri ile elde edilen çekme grafikleri Şekil 11 de takviyesiz, Şekil 12'de ise takviyeli numuneler için verilmiştir.

Çizelge 4: Statik kopma değerleri

Takviyesiz		Takviyeli	
Maksimum yük (kN)	Maksimum yükteki uzama (mm)	Maksimum yük (kN)	Maksimum yükteki uzama (mm)
43,44724	7,21548	26,39770	2,58119
40,16605	5,53374	32,35472	4,54357
40,32665	5,62518	24,42045	3,91850
38,86610	4,58318	28,94602	4,66438
38,98774	5,62603	22,02840	2,29210



Şekil 11. Takviyesiz numunelerin çekme deneyi



Şekil 12. Takviyeli numunelerin çekme deneyi

Statik kopma sonuçları ve şekiller incelendiğinde takviye malzeme kullanımının çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Önceki çalışmada polipropilen numunelere sadece yay takviyesi yapılmasının statik kopma değerlerini %16, öngerilme verilmesinin ise %18 artırdığı belirlenmişti. Buradaki düşüşün nedeni, poliamidin daha sert ve daha ağır bir malzeme olması nedeniyle, yayların kesit kalınlığını azaltmasının sonucudur.

4.3.2. Yorulma deneyleri

Yorulma deneyleri $R=0$ çeki dalgali değişken durumunda %25 pozisyon değişimi ile sabitlenerek 10 Hz frekansta (600 devir/dakika) gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında yayların dış dibine gelmemiş olması, yayların dış profilinden taşmış ya da çıkmış olması ve malzemenin homojen olarak dağılmadığı takviyeli ve takviyesiz numunelerde (Şekil 13) daha düşük sonuçlar elde edildiği için bu numunelerle deney yapılmamıştır. Takviyesiz numunelerden 19, takviyeli numunelerin ise 24 adedi sorunlu çıkmıştır. Takviyesiz numuneler için 5 kN'luk yükün üstünde, takviyeli numuneler için de 4kN'luk yükün üzerindeki yüklemelerde çok düşük çevrim sayılarında hasar oluşmuştur. Bu nedenle 400 yük tekrar sayısının altındaki sonuçlar ihmal edilmiştir. Bu nedenle takviyeli numunelerde 4 kN üzerindeki yükteki deney sonuçları ile takviyeli numuneler için 5 kN üzerindeki deneylerin sonuçları çizelgede verilmemiştir. Deneylere başlarken çeşitli ilerleme hızı, pozisyon ya da kuvvet değişimine göre sabitleme durumlarında deneyler gerçekleştirildiği için 12 numune kullanılmıştır. Bir karşılaştırma niteliği taşımadığı için bu 12 adet numuneye ait veriler ve 400 çevrim sayısının altında sonuç bulunan toplam 45 numuneye ait veriler çizelgede yer almamaktadır.



Şekil 13. Hatalı üretilmiş numuneler

Takviyesiz ve takviyeli numuneler için gerilme genliğine göre yük tekrar sayıları Çizelge 5'te verilmiştir. Her bir gerilme genliği değeri için en az 3 deney yapılmıştır. Deneyler statik kopmanın olduğu değerden başlanarak uygulanan maksimum kuvvetin kademeli olarak azaltılması ile yapılmıştır. Sisteme gerilme genliğine karşılık gelen kuvvet ve ortalama yük girilmiştir. $R=0$ durumunda minimum yük sıfır, ortalama gerilme de gerilme genliğine eşittir.

Çizelge 5: Takviyeli ve takviyesiz numunelerle yapılan yorulma deneyleri

Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Takviyesiz	Takviyeli	Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Takviyesiz	Takviyeli
60,97	5	635		33,54	2,75	8796	13242
		689				10243	6531
		635				5822	7042
		662				6968	8345
		637				7543	26993
54,88	4,5	991		32,02	2,625	6325	8334
		1017				12314	6259
		963				8223	18706
		908				7072	11228
		963				13439	11883
48,78	4	1044	853	30,49	2,5	17997	9999
		1208	498			9289	18871
		1236	471			14339	14593
		1235	607			26652	61457
		1344	744			39358	78941
		1195	580			31527	52014
42,68	3,5	2012	1044	29,88	2,45	30371	45943
		2137	1072			36342	88012
		2055	1727			29573	131714
		2108	990			35839	146917
		2164	1754			37787	236711
39,93	3,25	1945	1235	29,27	2,4	33068	138388
		2862	1644			48761	270279*
		3412	1372			62092	256978*
		2974	923			155213	281513*
38,11	3,125	4123	1908	24,39	2	149647	265959*
		3846	2273			135813	290301*
		4017	880			160485	281727*
36,58	3	4651	1836	36,58**	3**	5145	3884
		4785	1754			4763	4402
		4430	3147			4157	2928
		3775	2164			4005	1509
		3801	3420			3562	1754
		3173	1481			3394	1945
		3942	1945				
		4287	2792				
		8087	3664				
		5058	4020				
35,06	2,875	4976	3802				
		7684	4584				
		6922	3638				
		4786	3583				

* %25 pozisyon değişimi sağlanmamıştır.

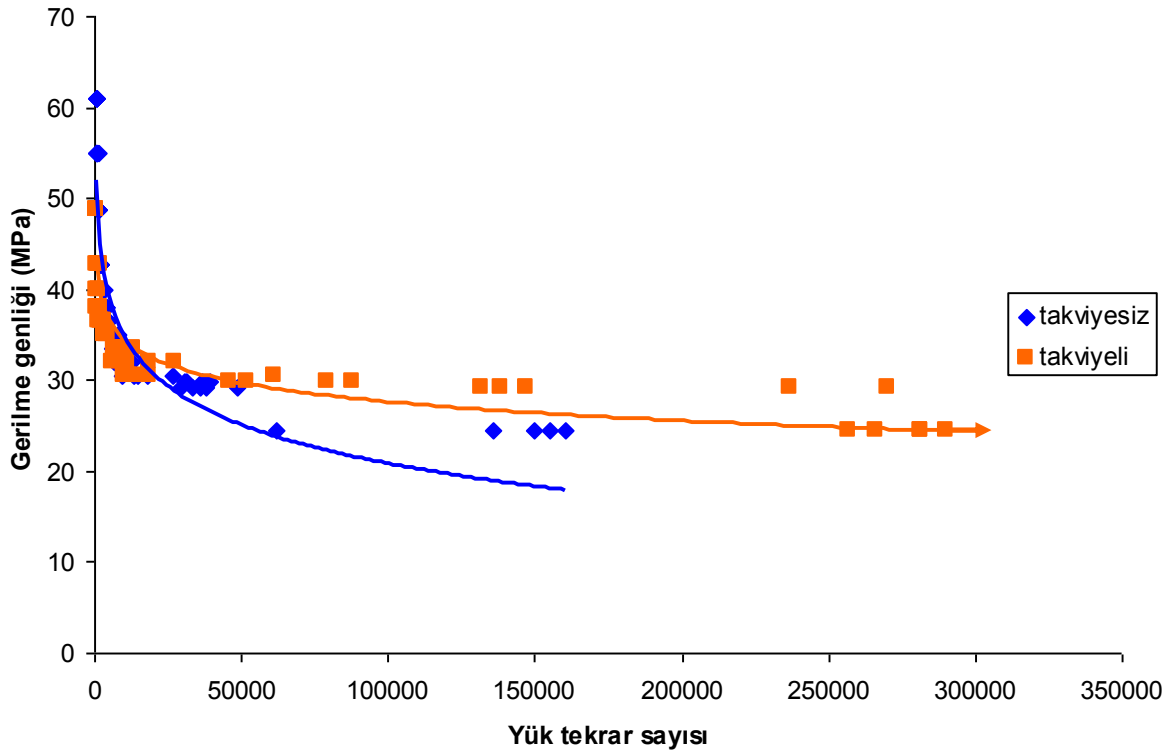
** %30 pozisyon değişimi için bulunan ömür değerleri

Deney sonuçları ANSYS ve BS 6168 standardına göre yapılan hesaplamalara göre daha yüksek gibi görünse de ANSYS ve BS 6168 standartlarında alınan yük teğetsel kuvvet, deneysel çalışmalarda verilenler ise toplam yüküdür. 2,4 kN luk toplam yük 2,26 kN teğetsel yüküdür. Bu açıdan değerlendirildiğinde ANSYS ile 2 kN ile bulunmuş 58147 devir deney sonuçları ile uyumludur.

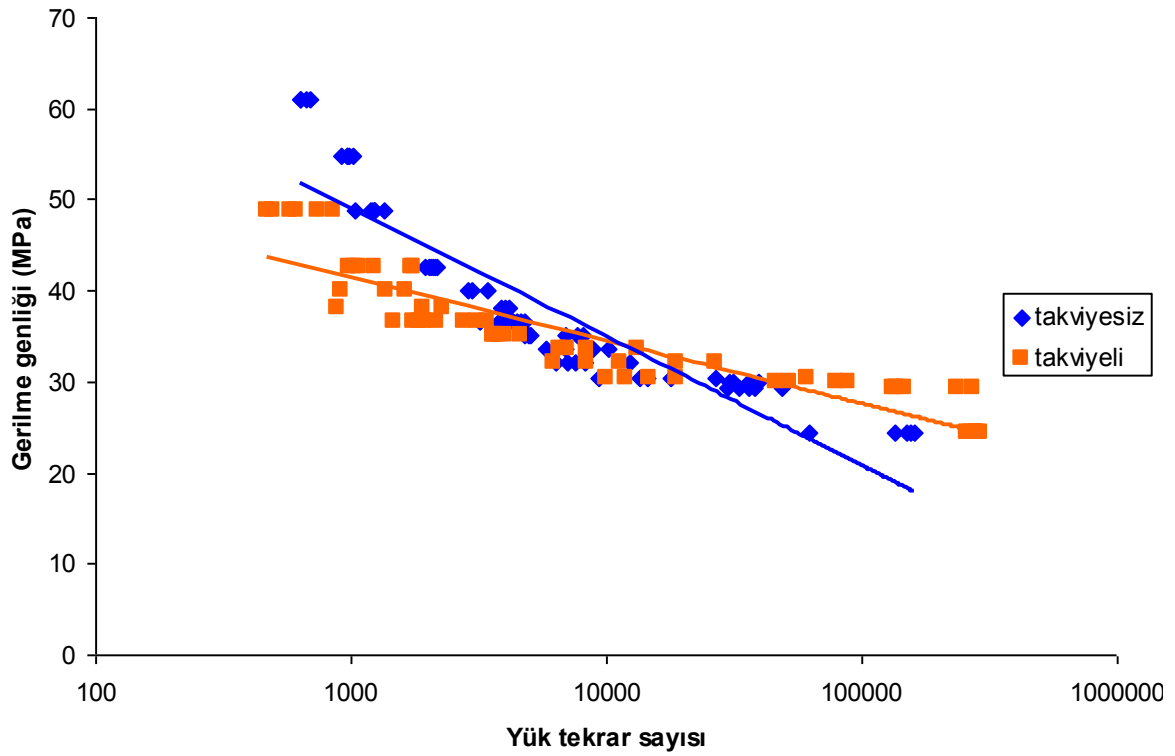
Takviye yay kullanımı statik kopma değerlerinde olduğu gibi yorulma deneylerinde yüksek gerilme genliklerinde beklenin aksi yönde bir etki göstermiş, ömür değerlerini kısaltmıştır. Gerilme genlikleri düşüktüçe ömür değerlerinde yay takviyesinin olumlu etkisi söz konusudur. 2,4 kN luk yükte takviyeli numunelerde takviyesiz numunelere göre 4 kattan fazla ömür bulunmuştur.

Elde edilen deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 14'de aynı eksen takımında, Şekil 15'de ise yük tekrar sayısının logaritmik olarak gösterilmesi ile verilmiştir.

Deneyler Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuarında gerçekleştirilmiştir. Mesai saatleri içerisinde gerçekleştirilen deneylerde 2 kN'luk yükte gün boyu çalıştırılan takviyeli numunelerde %25'lik pozisyon değişimi oluşmadığı için gün sonunda deneyler sonlandırılmıştır. Şekillerde 2 kN'luk yük için takviyeli numunelerde bulunan değerler sonrası sağ tarafa konulan ok işareti deneyin henüz tamamlanmadığının ifadesi olarak kullanılmıştır.

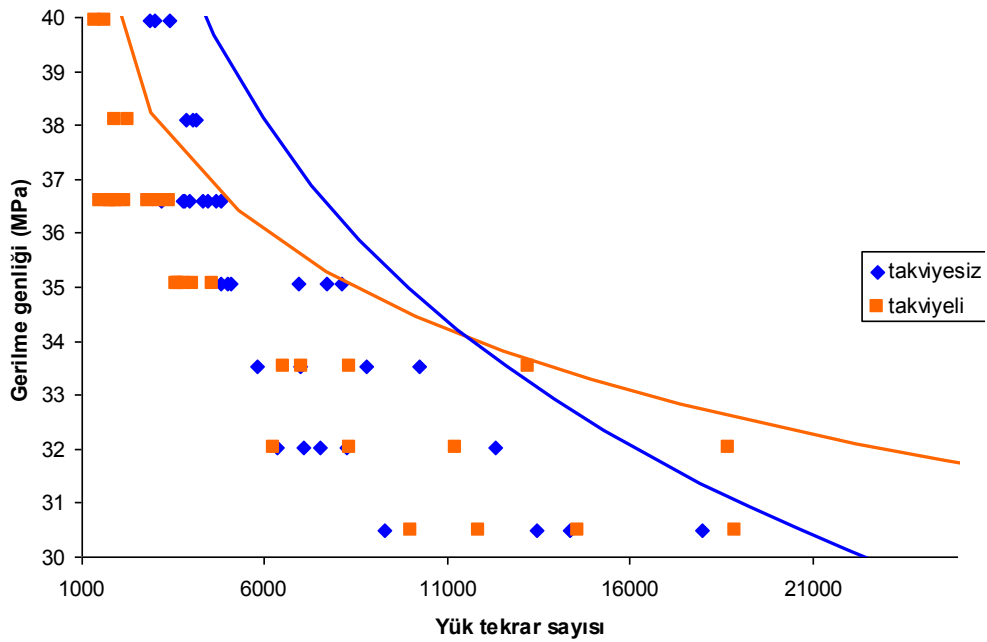


Şekil 14. Takviyeli ve takviyesiz numunelerden elde edilen deney sonuçları



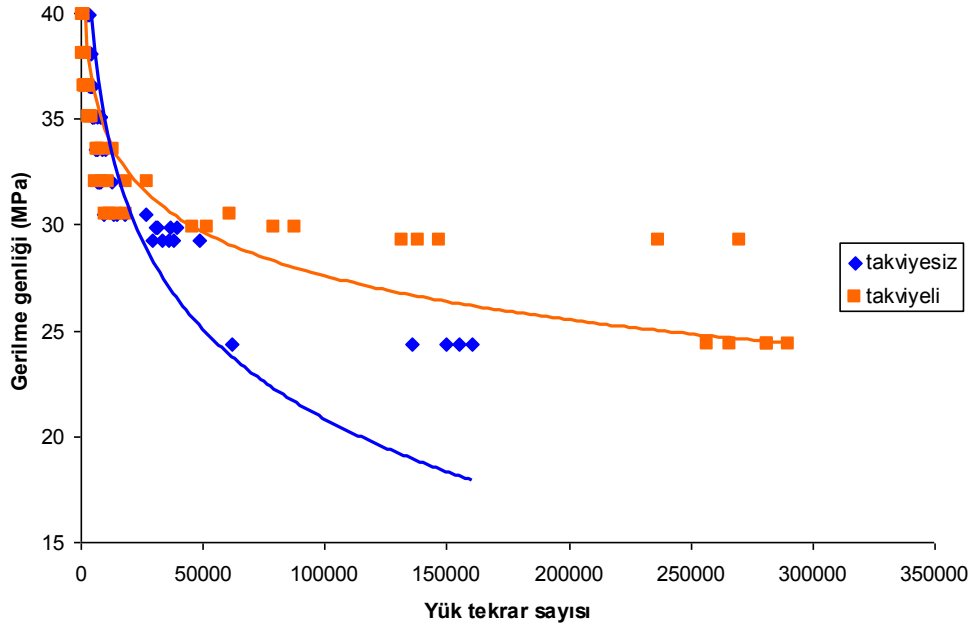
Şekil 15. Logaritmik eksenlerde takviyeli ve takviyesiz numunelerin deney sonuçları

Takviyeli ve takviyesiz numunelerdeki ayrışmanın olduğu bölgenin gözlemlenmesi açısından Şekil 16 oluşturulmuştur.



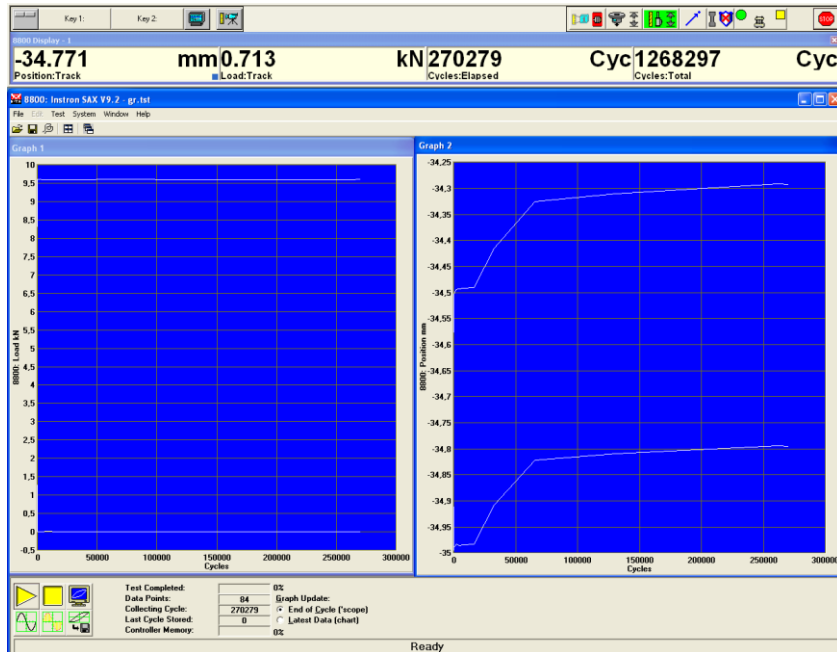
Şekil 16. Takviye kullanımının pozitif etki sınırı

Şekil 16 incelendiğinde yaklaşık olarak 34,2 MPa ve 11500 yük tekrar sayısı çakışma noktasıdır. Gerilme genliği değeri düştükçe yorulma ömrü takviyesiz numunelere göre artan bir katsayı ile artmaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. Takviyeli numunelerde ömür artışı

2,4 kN'luk yükte deney sırasında takviyeli numunede elde edilen pozisyon değişimi grafiği Şekil 18'de verilmiştir. Eğrilerdeki açının azalması %25 pozisyon değişimi için daha büyük çevrim sayısı gerektiğinin göstergesidir.



Şekil 18. Takviyeli numunede 2,4 kN gerilme genliğinde yük tekrar sayısına göre pozisyon değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Takviyesiz numune için ANSYS'de teğetsel kuvvetin 1150 N olması durumunda dış dibi gerilmesi 17,6 MPa (Şekil 5) olarak bulunurken teorik hesaplamalar ile dış dibi gerilmesi 17,3 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki sonuç birbirine oldukça yakındır.

Diş dibi gerilmesi açısından değerlendirildiğinde ANSYS ile takviyesiz numunede 1750 N'luk teğetsel kuvvet için 26,339 MPa dış dibi gerilmesi hesaplanmıştır. Sadece yay takviyesi yapılması ile aynı teğetsel kuvvet için iş dibi gerilmesi 24,8 MPa olarak bulunmuştur. 1750 N'luk teğetsel kuvvet ve 0,66 MPa öngerilme için ANSYS modellemesi için dış dibi gerilmesi 21, 459 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Öngerilmenin olumlu etkisi bu şekilde teorik olarak ispatlanmıştır. BS 6168'e göre ise 1750 N'luk teğetsel kuvvet için bulunan dış dibi eğilme gerilmesi 27,12 MPa'dır. ANSYS ve BS6168 sonuçları uyumludur.

ANSYS'de 2000 N'luk teğetsel kuvvet uygulandığında takviyesiz numunede ömür minimum 58147 devirken (Şekil 3) takviye yayların modellendiği durumda ömür minimum 63890 (Şekil 4) devire çıkmıştır. BS 6168 standardına göre bu yük altında takviyesiz numunede elde edilen yük tekrar sayısı 55000 civarındadır. Yapılan yorulma deneyleri ile takviyesiz numunelerde ortalama 56539 devir bulunmuştur. Deneyler, ANSYS ve BS6168 standardına göre yapılan hesaplamalarla uyumludur.

ANSYS'de yapılan çalışmalarda 2,5 kN ve daha yüksek yüklerde takviye yay kullanımı olumsuz etki oluşturmaktadır. 3 kN için takviyesiz numunenin ANSYS'de hesaplanan ömür değeri 3942 bulunurken takviyeli için 1487 olarak belirlenmiştir. ANSYS'de 3 kN için dış dibi gerilmeleri takviyesiz numune için 45,8 MPa, takviyeli numune için ise 57,3 MPa bulunmuştur. Gerçekleştirilen deneylerde de statik kopma deneylerinde ve yüksek gerilme genliğindeki yorulma deneylerinde 2,75 kN'dan daha büyük teğetsel kuvvet etkidiğinde takviyesiz numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Düşük teğetsel kuvvetler için ise takviyeli numunelerde giderek artan bir ömür artışı bulunmuştur. Daha düşük gerilme genlikleri için deneyler yapılmalıdır. Proje kapsamında yapılan numunelerin büyük kısmında homojen malzeme dağılmaması, yayların numunenin dışına çıkması gibi sorunlar oluştuğu için düşük gerilme genliklerinde deneyler gerçekleştirilememiştir. Yüksek gerilme genliklerinde numunelerde ısı oluşsa da yumuşama hasarı ya da ısı yorulma gözlemlenmemiştir. Buna yüksek gerilme genliğinde çalışılması kadar yorulma deneylerinin pozisyonun %25'i kadar değişiminde sonlandırılmış olmasındandır.

ANSYS ile yapılan analizlerde daha yüksek yük durumları için analiz yapılmamış olması nedeniyle deneysel olarak yüksek yüklerde elde edilen verilerle karşılaştırma yapılamamıştır. BS6168 standardında da Wöhler eğrisinin 100000 devir sayısından alınması nedeniyle sonraki yapılacak çalışmalarda teğetsel yük olarak 2 kN ve altındaki yükleme durumlarında deneyler gerçekleştirilmelidir. ANSYS ile BS 6168 standardına göre yapılan hesaplamalar deney sonuçları ile uyumludur.

Yay takviyeli numunelerin takviyesiz numunelere göre, yüksek gerilme genliği değerlerinde yük tekrar sayılarının düşmesine neden olduğu, 2,5 kN'luk yüke (30,49 MPa eğilme gerilmesine) kadar takviyesiz numunelerin daha iyi performans gösterdikleri ancak 2,5 kN'luk yükten itibaren takviye yay kullanımının olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Düşen gerilme genliklerinde ömür artışının daha yüksek olacağı açıktır.

Sert malzemeler yerine polietilen gibi daha yumuşak malzeme türlerinde daha olumlu sonuçlar alınabileceği düşünölmektedir. Ayrıca yaylara pimler kaynatılırken ölçünün hassas olması ve yayların tam olarak diş dibine gelmelerinin sağlanmasına dikkat edilmelidir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Birley, A. W., Heath, R. J., Scott, M. J., *Plastics Materials Properties And Applications*, 2nd Edition, *Chapman And Hall*, New York, (1988). Pp: 117-120
- BS 6168:1987 Non-metallic spur gears, British Standard Institution
- Can, H., Öngerilmeli Plastik Dişli Çark Tasarımı, (Doktora Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2004)
- Crippa, G., Davoli, P., Comparative Fatigue Resistance Of Fiber Reinforced Nylon 6 Gears, *Journal Of Mechanical Design, Transactions Of The Asme*, 117 (1): 193-198 (1995)
- Düzcükoğlu, H. Study On Development Of Polyamide Gears For Improvement Of Load-Carrying Capacity, *Tribology International*, 42, 1146-1153, (2009-2).
- Düzcükoğlu, H., Pa 66 Spur Gear Durability Improvement With Tooth Width Modification, *Materials And Design* 30, 1060–1067, (2009-1).
- Gosavi, V.P., Chikate, P.P., Comparison Of Static And Dynamic Performance Of Polycarbonate Filled And Unfilled Gears, *Materials For The New Millennium Proceedings Of The Materials Engineering Conference*, New York, 338-347 (1996)
- Kohan, M. I., *Nylon Plastics Handbook*, Hanser Publication, Munich, 30-45, 1995
- Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Nagai, S., Performance Of Plastic Gear Made Of Carbon Fiber Reinforced Poly-Ether-Ether-Ketone, *Tribology International*, 32 (9): 491-497 (1999)
- Rao, M., Hooke, C.J., Kukureka, S.N., Liao, P., Chen, Y.K., Effect Of Ptfе On The Friction And Wear Behavior Of Polymers In Rolling-Sliding Contact, *Polymer Engineering And Science*, 38 (12): 1946-1958 (1998)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Ikuta, T., Study On Development Of Low Noise Gears (Silencing Effect And Operation Characteristics Of Nylon Gears Filled With Plasticizers), *Jsmе International Journal, Series 3: Vibration, Control Engineering, Engineering For Industry*, 34 (1): 114-120 (1991)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Koba, T., Operating Characteristics Of Super Engineering Plastic Gears (1st Report, Polyimide Gears), *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 59 (557): 238-245 (1993-1)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Matsumoto, T., Study On Liquid Crystal-Polymer Gears *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 61 (590): 4082-4087 (1995-1)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Mimura, H. Development Of Polyacetal Gears Emitting Low Noise (1st Report, Two Kinds Of Polyacetal Gears Filled With Different Additives), *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 59 (558): 240-247 (1993-2)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Mimura, H., Study On Nylon Mxd 6 Gears Filled With Glass Fibers *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 62 (593): 298-305 (1996)
- Tsukamoto, N., Maruyama, H., Nishida, N., Operating Characteristics Of Super Engineering Plastic Gears (2nd Report, Aramid Gears), *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 61 (592): 4785-4792 (1995-2)

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Nishida, N., Term Of Life And Wear Of Plastic Intermediate Gears *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 55 (512): 1053-1060 (1989)

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Mimura, H., Polymer Alloy Gears (Polymer Alloy Gears Consisting Of Polyacetal And Polyurethane), *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen / Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 61 (581): 245-252 (1995-3)

Tsukamoto, N., Mimura, H., Uzuka, K., Study On Polyacetal Gears Filled With Talc *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers*, 63 (610): 2118-2125 (1997)

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107M603
Proje Başlığı: Poliamid Dişlilerin Yorulma Dayanımlarını Yay Takviyesi İle Artırma
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd. Doç. Dr. Hilal CAN SAYILGAN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi 20017 Kınıklı/DENİZLİ
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.02.2008 – 15.02.2010
Öz Plastik dişli çark malzemesi olarak en çok tercih edilen poliamid dişli çarkların kullanımlarındaki en büyük problem yorulma dayanımlarının düşük olmasıdır. Bu proje kapsamında poliamid dişlilere yay takviyesi ve öngerilme yapılmasının ömür değerlerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak yüksek yüklerde takviye malzeme kullanımının negatif etki gösterdiği, ancak düşük yüklemeler için ise takviye malzeme kullanımı ile yorulma ömrünün uzadığı bulunmuştur. Sonuçlar teorik hesaplamalarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Poliamid dişli çarklar, Yorulma ömrü, Yay takviyesi, Öngerilme, Diş dibi gerilmeleri
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/>
Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: