

SIKI GEÇME BAĞLANTILARINDA MALZEMEYE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KAYIP KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Hikmet Rende

Prof. Dr.,
Akdeniz Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Antalya
hrende@akdeniz.edu.tr

Fatih Güven*

Arş. Gör.,
Akdeniz Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Antalya
fatihguven@akdeniz.edu.tr

ÖZ

Sıkı geçme bağlantılar, mil ile göbek çifti arasında sürtünme kuvveti yardımı ile tork iletmek için kullanılan bağlantı türüdür. İmalatının kolay olmasından ve mil veya göbekte, kamalarda olduğu gibi ek işlem maliyeti gerektirmediğinden dolayı uygulamada tercih edilmektedir. Bağlantının oluşması için mil ve göbeğin temas eden yüzeylerinde basınç meydana gelmesi gerekir. Oluşan bu basınç aynı zamanda yüzey pürüzlerinin ezilmesine de sebep olmaktadır. Yüzey pürüzlerinin ezilmesi sıkılık için gerekli olan boyut toleranslarında değişime ve buna bağlı olarak sıkılık kaybı oluşmasına yol açmaktadır. Sıkı geçme bağlantılar, kalın cidarlı basınçlı tüpler teorisine göre hesaplanmaktadır. Burada, milin dıştan ve göbeğin içten basınca maruz kaldığı durumlar için hesap yapılır. Sıkılık kaybının ne kadar olacağı ise bazı kabullere göre yapılmaktadır. Ancak bu kabullerde mil ve göbek malzemesinin etkisi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, farklı malzeme çiftinden yapılmış sıkı geçme bağlantılara tork uygulanmış ve tork taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Farklı malzeme çiftlerinin yüzey pürüzlülüğü kaybını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bulgular neticesinde söz konusu kaybın hesaplanması için pratik bir cetvel önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, sıkılık kaybı, tork iletimi

DETERMINATION OF SURFACE ROUGHNESS LOSSES FACTOR OF SHRINK FIT JOINTS DEPENDING ON SHAFT AND HUB MATERIALS

ABSTRACT

Shrink fit is a type of joint that used for transmission of torque between shaft and hub by the help of friction. It is preferred due to its simple manufacturing process and low cost by comparison to key-slot joints. The occurrence of a pressure between contact surfaces of shaft and hub is required and this pressure is calculated by the help of thick tube theory. But this pressure causes interference losses based on surface roughness deformation. The assumptions of the interference losses are generally empirical. However, these empirical assumptions are not only clear but also exclude shaft and hub materials. In this study, hub was subjected to slide on contact surface and torque transmission capacity of shrink fits paired up different materials were measured. It was found out that there is a significant relation between material pairs and surface roughness losses. As a result, a basic table is suggested for calculation of surface roughness losses.

Keywords: Surface roughness, interference loss, torque transmission

Geliş tarihi : 15.04.2015

Kabul tarihi : 21.05.2015

Rende, H., Güven, F. 2015. "Sıkı Geçme Bağlantılarında Malzemeye Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Kayıp Katsayısının Belirlenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 665, s. 46-52.

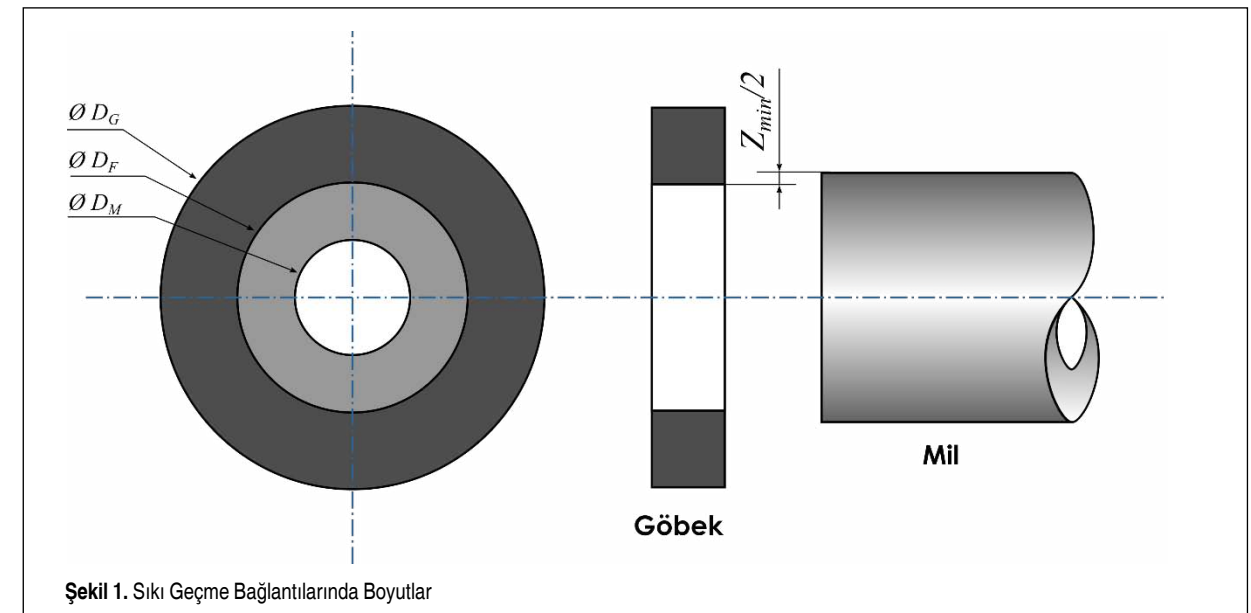
1. GİRİŞ

Sıkı geçme bağlantılar, mil ve göbek çifti arasında tork iletimini sürtünmeye bağlı olarak sağlamaktadırlar. Sıkı geçme bağlantılar, uygulamasının kolay olmasından ve konstrüksiyonunda sağladığı avantajlardan dolayı tercih edilmektedir. Göbek üst toleransının milin alt toleransından daha küçük olması sonucu, geçme yapıldıktan sonra, mil ve göbek arasında bir basınç meydana gelmektedir (Şekil 1). Bu basınç, sürtünmenin ve buna bağlı olarak tork iletiminin temelini oluşturmaktadır. Bu basıncın (p) maksimum ne kadar olacağı ise kalın cidarlı basınçlı tüpler teorisine dayanarak hesaplanmaktadır [1].

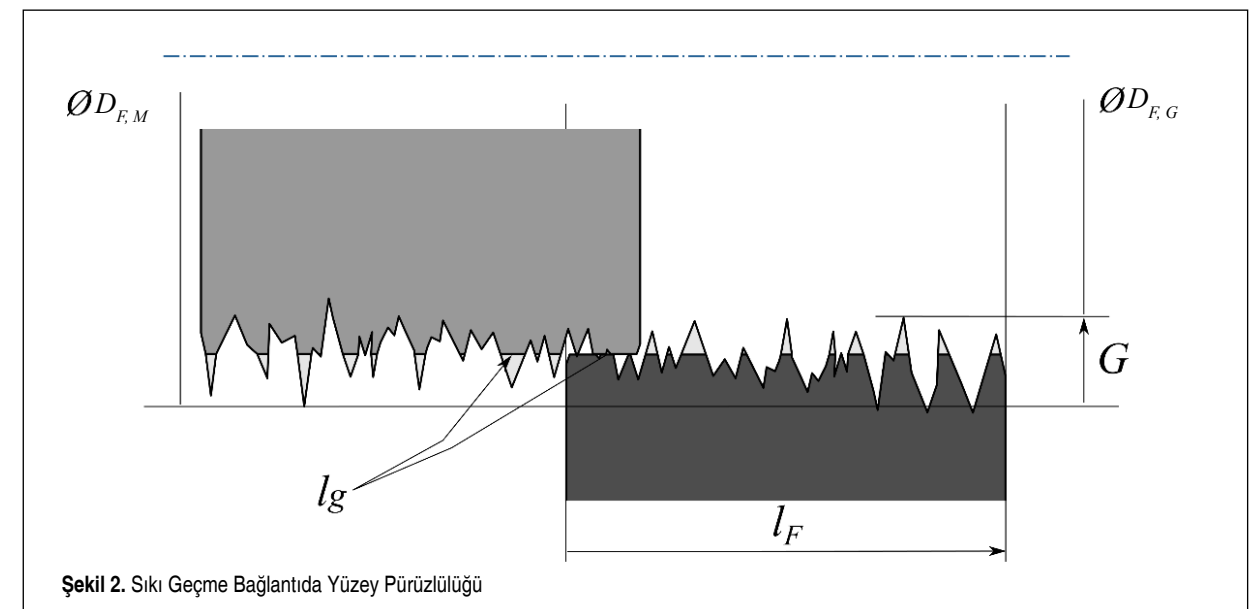
$$p = \frac{Z_{min}}{D_F \left[\frac{1}{E_G} \left(\frac{D_G^2 + D_F^2}{D_G^2 - D_F^2} + \nu_G \right) + \frac{1}{E_M} \left(\frac{D_F^2 + D_M^2}{D_F^2 - D_M^2} - \nu_M \right) \right]} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlik, yüzey pürüzlülüğünü dikkate almamaktadır. Oysaki makine parçalarının gerçekte yüzeyleri imalattan dolayı pürüzlüdür (Şekil 2). Denklem 1'de verilen sıkılık değeri, yüzey pürüzlülüğü kaybını dikkate almadığından bu bağlantı ile elde edilen değerler emniyetli değildir.

Sürtünme kuvvetinin oluşması için gerekli olan p basıncı aynı zamanda yüzey pürüzlerinin ezilmesine sebep olmaktadır. Bir punç ile pürüzlü yüzeye baskı uygulayıp ortaya çıkan izler



Şekil 1. Sıkı Geçme Bağlantılarında Boyutlar



Şekil 2. Sıkı Geçme Bağlantıda Yüzey Pürüzlülüğü

incelendiğinde, parça yüzeyindeki izler, platoları andıran düzlükler şeklindedir. Hesaplanan basınç (p_n), gerçekleşen basınç (p_g) ile asla aynı olmamaktadır. Başka bir deyişle, mil ve göbek çiftinin hesaplanan temas alanı (A_n), gerçek temas alanından (A_g) daha büyüktür [2-4]. Şekil 2’de temas alanının hesaplanmasında kullanılan uzunluk (l_f) ve pürüzlü yüzeyden dolayı gerçekleşen kısmi temas çizgisi (l_g) görülmektedir. Yüzey pürüzlerinin ezilmesinden dolayı oluşan kayıp, $2G$ kadardır.

1.1 Sıkı Geçme Bağlantılarının Hesaplanması

Tork iletiminin gerçekleşmesi için mil ve göbek yüzeyleri arasında bir sürtünme kuvveti oluşması gerekir. Sıkı geçme bağlantısı ile bir torkun (T) iletilmesi için sürtünme katsayısı μ olan yüzeyler arasında bir basınç ve bu basıncın oluşabilmesi için minimum sıklığın oluşması gerekir. Burada, gereken minimum yüzey basıncının (p_{min}) oluşması için gerekli olan sıklık, Z_{min} olmak üzere Denklem 1’de göbek için K_G ve mil için K_M katılık değerleri tanımlanarak kısaltılabilir.

$$p_{min} = \frac{T}{\mu \cdot \pi \cdot D_F^2 \cdot l_F} \quad (2)$$

$$K_G = \frac{1}{E_G} \left(\frac{D_G^2 + D_F^2}{D_G^2 - D_F^2} + \nu_G \right) \quad (3)$$

$$K_M = \frac{1}{E_M} \left(\frac{D_F^2 + D_M^2}{D_F^2 - D_M^2} - \nu_M \right) \quad (4)$$

$$Z_{min} = p_{min} \cdot D_F \cdot (K_G + K_M) \quad (5)$$

Sıkı geçmelerde yüzeyler arasında oluşan basıncın etkisiyle yüzey pürüzlerinin ezilmesinden dolayı bir miktar kayıp olmaktadır. Denklem (1)’de bu kaybın hangi şartlar altında ne kadar olacağına dair bir faktör bulunmamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü kaybından (G) dolayı ortaya çıkan sıklık kaybı (ΔU) dikkate alınarak imalat toleranslarının ve bu toleranslara göre teorik sıklığın (U_{pp}) belirlenmesi gerekmektedir.

$$U_{pp} = Z_{min} + \Delta U \quad (6)$$

Niemann’a göre, bu kayıplar için yaklaşık değerler şu şekildedir [10]:

$$\Delta U = 0,002 \text{ mm} - \text{parlatılmış yüzeyler}$$

$$\Delta U = 0,005 \text{ mm} - \text{ince taşlanmış yüzeyler}$$

$$\Delta U = 0,01 \text{ mm} - \text{hassas işlenmiş yüzeyler}$$

$$\Delta U = 0,02 \text{ mm} - \text{normal işlenmiş yüzeyler}$$

Niemann’ın kayıplar için sunduğu yaklaşımda yüzey özellikleri için kullandığı tanımlamaların karşılığı açık değildir. Bazı referans kitaplarda, yüzey pürüzlülüğünden dolayı oluşan sıklık kaybının yüzey pürüzlülüğü değerinin dikkate alınması gerektiği savunulmaktadır.

$$\Delta U = 2G \quad G = f(R_z) \quad (7)$$

Steinhilper ve Röper [5] ve Decker [6], bu kaybın Rz cinsinden %40 oranında olacağını belirtmişlerdir (Eşitlik 8).

$$G = 0,4 \cdot R_{z,G} + 0,4 \cdot R_{z,M} \quad (8)$$

Diğer bir kaynakta ise yüzey pürüzlülüğü kaybının %60 oranında olacağı belirtilmektedir [7].

$$G = 0,6 \cdot R_{z,G} + 0,6 \cdot R_{z,M} \quad (9)$$

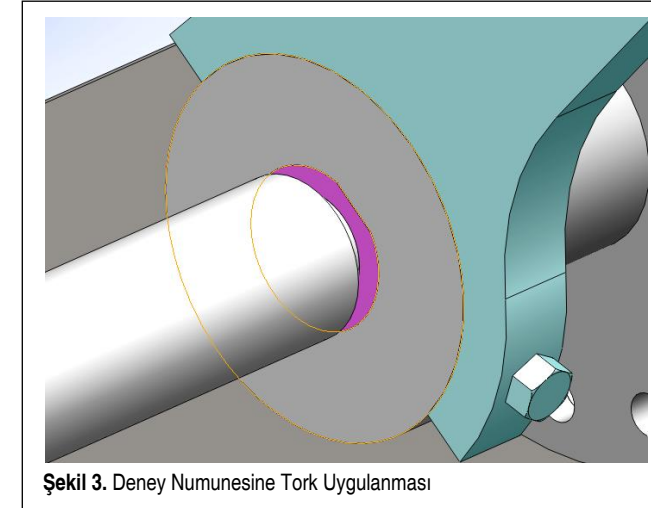
Yang ve arkadaşlarının [8] çalışmasında, gerçek bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada, üç farklı pürüzlülük değeri için sıkı geçme bağlantı kullanılmış ve montajı yapıldıktan sonra, eksenel yönde kuvvet uygulanarak göbeğin mil üzerinden demontajını yaparak pürüzlülüğün etkisini incelemişlerdir. Pürüzlülüğün sürtünme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Yang ve arkadaşlarının [9] bir sonraki çalışmasında, yüzey pürüzlülüğü ihmal edilen mil üzerine duralumin göbek geçirerek deneysel ve sayısal sonuçlar elde etmişlerdir. Bağlı sıklığın ($Z_{min}/2 \cdot D_F$) %0,016 değerini aşması durumu için sıklık kaybını tanımlamışlardır. Bu çalışmalarında, yüzey pürüzlerinin ezilmesi ile azalan temas alanını tespit etmeye çalışmışlardır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda, malzeme çiftinin etkisi dikkate alınmamıştır. Bilindiği gibi, her malzemenin yüzey basıncı dayanımı farklıdır. Bundan dolayı, her malzemenin belirli bir basınç altındaki deformasyon miktarı farklı olacaktır. Bu çalışmada, farklı malzeme çiftleri ile oluşturulan sıkı geçme bağlantılarının çözülmesi için tork uygulanmış ve malzeme çiftinin ve boyutun etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonunda, sıklık kaybı için kullanışlı bir diyagram sunularak hesabın kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Sıkı geçme bağlantılarında, farklı malzeme çiftlerinin yüzey pürüzlülük kaybını tespit etmek için deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, mil ve göbek için farklı malzemelere ve



Şekil 3. Deneysel Numunesine Tork Uygulanması

farklı göbek dış çaplarına göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

Mil, boru mengenesine sabitlenerek göbeğe bir kol yardımı ile tork uygulanmıştır. Doğrusal hareket eden motor ile kol 5 mm/s hızla çekilmiştir. Mil ile boru mengenesinin arasında bulunan torkmetre ile sıkı geçme bağlantısının zamana bağlı olarak ulaştığı tork değerleri okunmuştur. Torkmetrenin bağlı bulunduğu veri toplayıcı ile saniyede 8 ölçüm sayısal olarak bilgisayara aktarılabilir (Şekil 3).

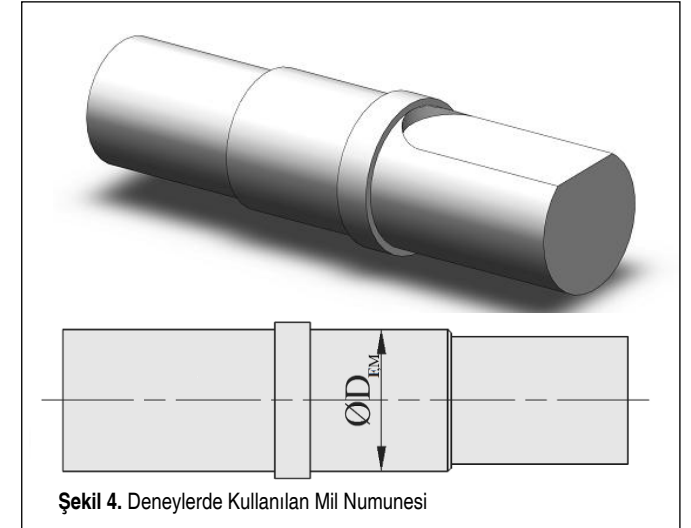
2.1 Deneysel Numuneleri

Deneysel mil malzemesi olarak SAE 304 çeliği kullanılmıştır. Bilindiği gibi, millerin ıslah çeliğinden yapımı, uygulamada daha fazla yer bulmaktadır. Benzer şekilde, uygulama açısından göbek malzemesi olarak SAE 1040, SAE 304, pirinç ve alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin çekme deneyleri yapıp akma dayanımları tespit edilmiştir (Tablo 1). Elastisite modülü ve poisson oranı için literatürde kabul gören değerler kullanılmıştır [11].

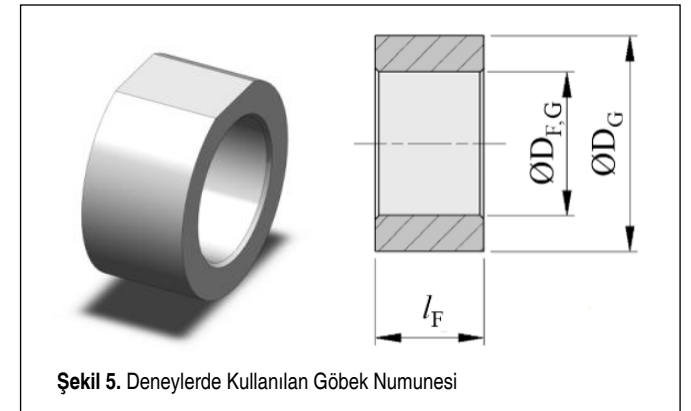
Mil ve göbek çifti H7/r6 geçme sistemine göre imal edilmiştir. Mil ve göbek numuneleri sırasıyla, Şekil 4 ve Şekil 5’te gösterilmiştir. Montajı yapılmış mil ve göbek numunesi Şekil 6’da verilmiştir. Göbek numunelerine şekil bağı ile tork uygulayabilmek için 1 mm talaş kaldırılmıştır. Mil ve göbek

Tablo 1. Deneysel Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

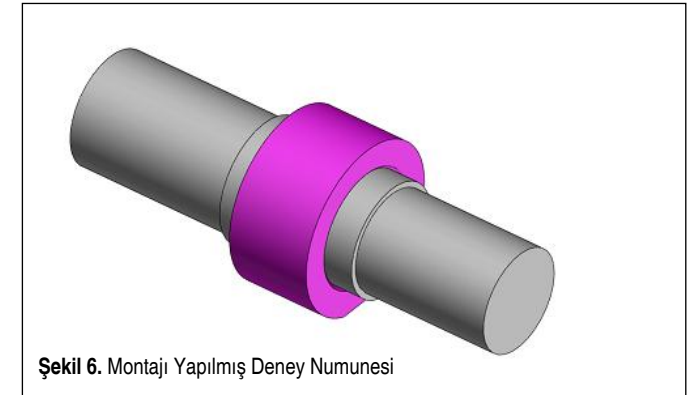
Malzeme	Akma Dayanımı (R_p) [N/mm ²]	Elastisite Modülü [N/mm ²]	Poisson Oranı
SAE 1040	490	210000	0.292
SAE 304	640	190000	0.305
Alüminyum	220	70000	0.35
Pirinç	260	110000	0.331



Şekil 4. Deneysel Kullanılan Mil Numunesi



Şekil 5. Deneysel Kullanılan Göbek Numunesi



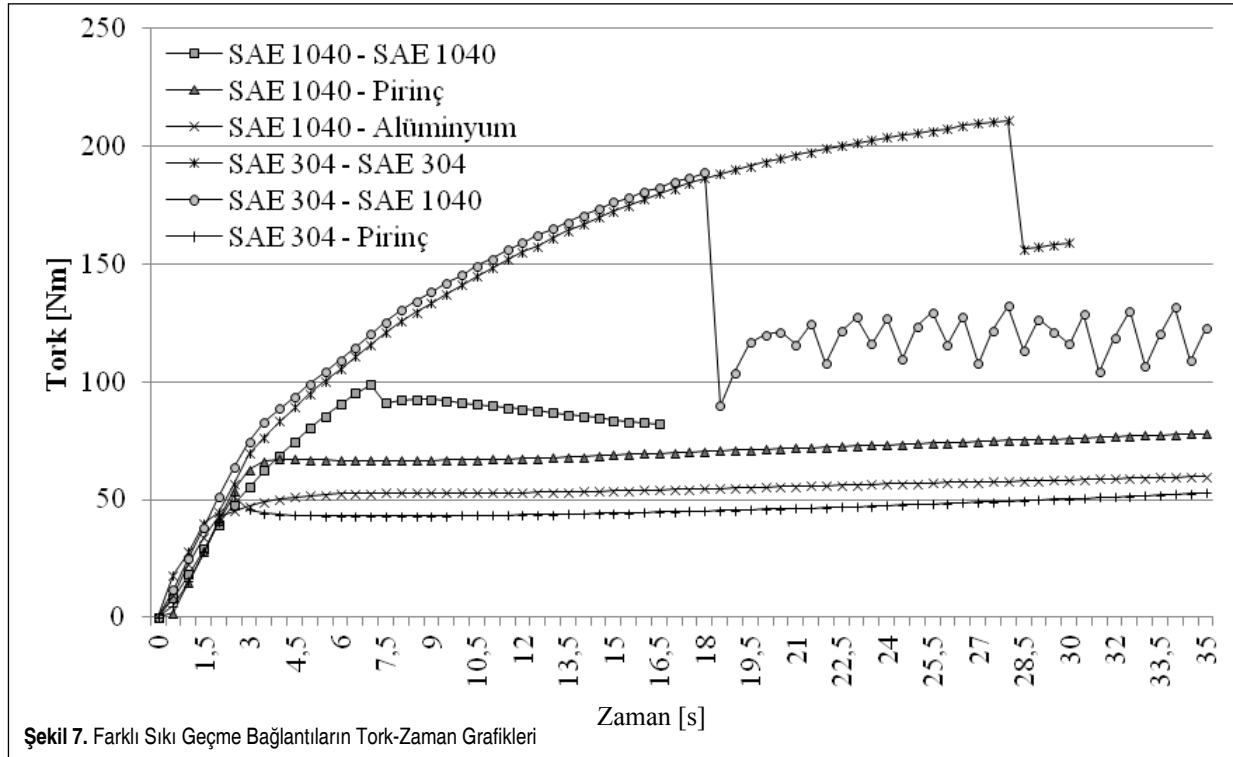
Şekil 6. Montajı Yapılmış Deneysel Numunesi

numunelerinin farklı bölgelerinde numune genişliğine paralel olarak yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Çalışmada yüzey pürüzlülüğü, Rz 5 ile Rz 7 μ m olan numuneler seçilmiştir.

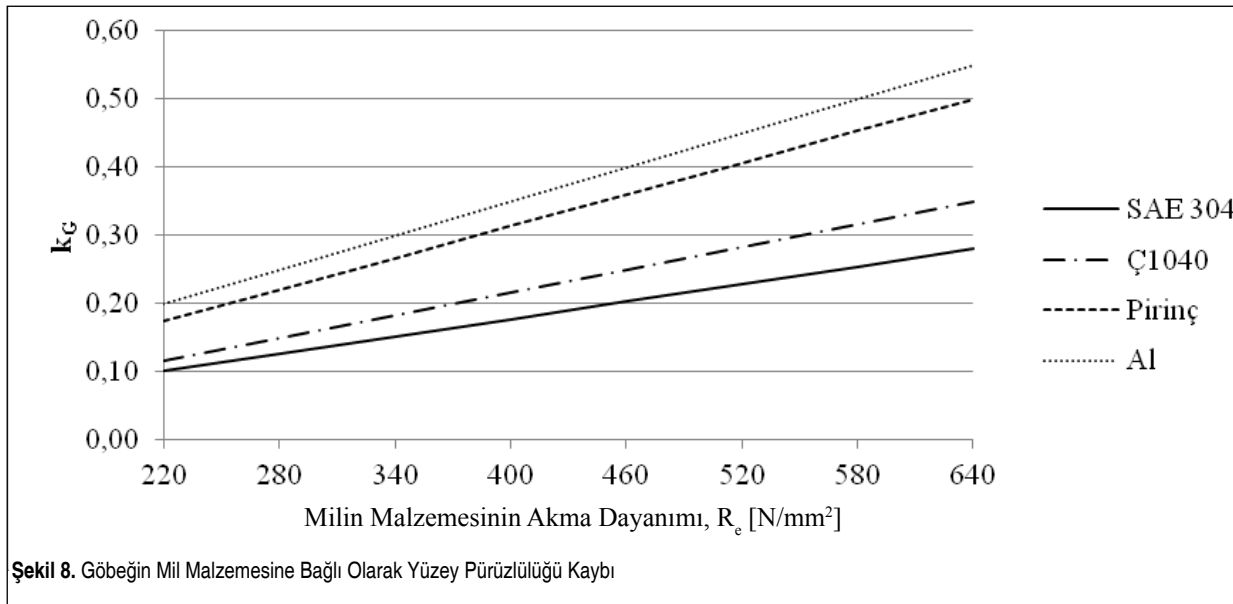
3. BULGULAR

Mile uygulanan tork grafiği, zamana bağlı olarak farklı malzeme çiftleri için Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de verilen tork zaman grafikleri incelendiğinde, statik



Şekil 7. Farklı Sıkı Geçme Bağlantılarının Tork-Zaman Grafikleri



Şekil 8. Göbeğin Mil Malzemesine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Kaybı

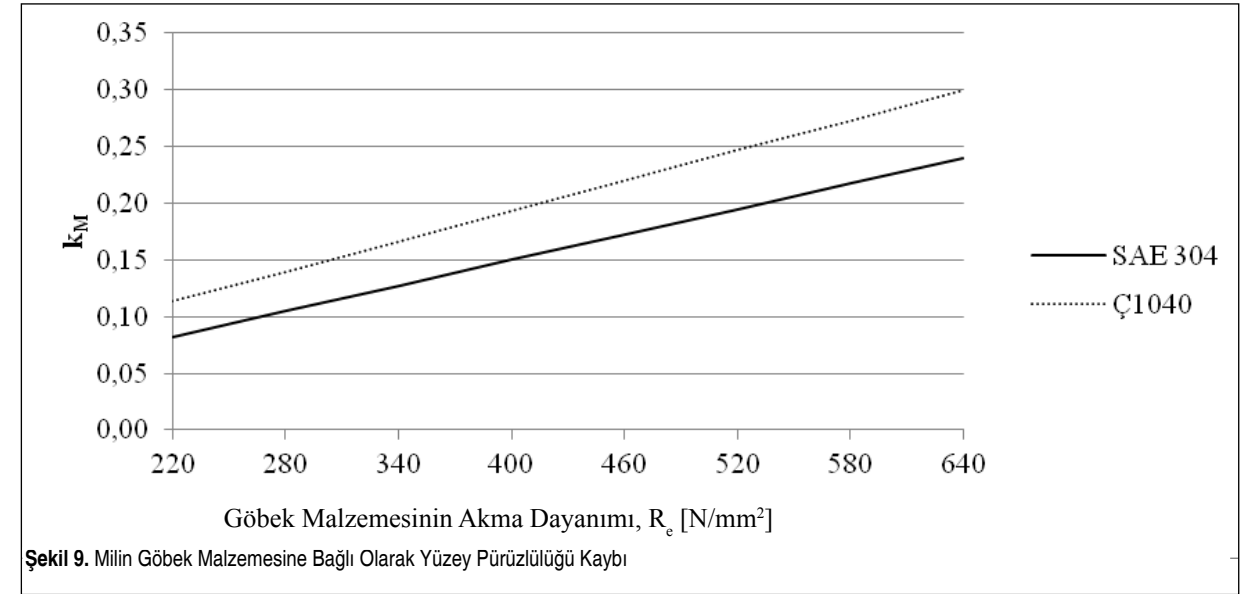
sürtünme aşıldıktan sonra, ani bir düşüş yaşanmakta ve devreye dinamik sürtünme girmektedir. Ancak dinamik kısma geçildiğinde, yüzey pürüzlüğü kesilmeye maruz kalıp, sıkı geçme bağlantı kullanılamaz hale geldiği için statik kısım, yani ulaştığı maksimum tork değeri dikkate alınmaktadır.

Malzeme özellikleri dikkate alınarak yapılan kayıp hesaplarında yüzey pürüzlülüğü kayıp katsayısı tanımlanmıştır. Bu kayıpların mil için olanı k_M ve göbek için olanı k_G olarak isimlendirilmiştir.

Mil ve göbeğin malzeme çiftine bağlı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü kayıpları için mil ve göbek malzemelerinin akma dayanımına göre Şekil 8 ve Şekil 9'daki grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerden okunacak olan k_M ve k_G kayıp katsayılarının kullanılmasıyla tanımlanacak yeni yüzey pürüzlülüğü kaybı (G^*),

$$G^* = 2 \cdot (k_M \cdot R_{z,M} + k_G \cdot R_{z,G}) \text{ 'dir.}$$

Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü gibi, milin yüzey pürüzlülüğü



Şekil 9. Milin Göbek Malzemesine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Kaybı

kaybı, sadece mil malzemesine değil, aynı zamanda göbeğin malzemesine bağlıdır. Aynı durum, göbeğin pürüzlülük kaybı için de geçerlidir.

Burada sunulan grafikler, çalışma kapsamındaki deneysel bulguların doğrusallaştırılması ile elde edilmiştir. Yapılan deneylerde göbek yüzeyinin pürüzlülük kaybının, mil yüzeyine göre kısmen daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak bariz bir fark olmamasından dolayı Şekil 8'de verilen grafik, mil ve göbek pürüzlülüklerinin kayıp katsayıları, k_M ve k_G için akma dayanımlarına bağlı olarak okunabilir. Tablo 2'de bu katsayıların kullanımı ile deneylerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 2'de verilen değerler incelendiğinde, önerilen malzeme çiftine bağlı yüzey pürüzlülüğü kayıp katsayıları ile hesaplanan tork değerleri, deneysel tork değerlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan kısıtlı deneylerde elde edilen

Tablo 2. Sıkı Geçme Bağlantılarının Deneysel ve Teorik Tork Taşıma Kabiliyetleri

Mil Malzemesi	Göbek Malzemesi	U_{pp} [μ m]	T^a [Nm]	T^b [Nm]	T^c [Nm]	T^d [Nm]
SAE 1040	SAE 1040	24	98,1	98,9	40,1	1
	Pirinç	18	66,4	63,7	43,5	22,7
	Alüminyum	20	43,8	40,2	24,6	6,2
SAE 304	SAE 304	29	210,9	186,4	171,5	153,6
	SAE 1040	26	188,9	170,1	153,8	121
	Pirinç	18	51,7	48,6	43,4	35,9

^a Deneysel tork

^b Malzemeye bağlı k katsayısı ile hesaplanan tork

^c k=0.4 katsayısı ile hesaplanan tork

^d k=0.6 katsayısı ile hesaplanan tork

bulguların bir diğer sonucu olarak, yüzey pürüzlülüğü kaybının Rz cinsinden değeri arttıkça, yüzde pürüzlülük kaybının da arttığı görülmüştür. SAE 1040 çelik mil üzerine Pirinç göbeğin montajı yapılmıştır. Birinci grup denemelerde, 5 Rz yüzey pürüzlülüğüne sahip geçmelerde, milin yüzey pürüzlülük kaybı yaklaşık %10 olarak gerçekleşirken; 10 Rz yüzey pürüzlülüğüne sahip mil için yapılan ikinci grup denemelerde, mil için yaklaşık %13 pürüzlülük kaybı gerçekleşmiştir. Oysaki yüzde bazında kayıpların aynı olması beklenirdi. Şekil 8 ve Şekil 9'daki grafiklerin elde edilmesinde kullanılan numunelerin belirli bir limitteki yüzey pürüzlülüğüne göre seçildiği daha önce belirtilmişti. Bu nedenledir ki sıkı geçme bağlantısı yapılacak yüzeylerin pürüzlülük değerleri maliyet unsurları da göz alınmak koşulu ile mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Yüzey pürüzlülüğü değeri belirlenirken, pürüzlülük değerinin azalmasıyla sürtünme katsayısının da azalacağı unutulmamalıdır.

4. SONUÇ

Minimum sıklık hesaplanırken, montaj esnasında oluşan sıklık kaybının dikkate alınması gerekir. Aksi halde, iletilmek istenen tork iletilmez ve sıkı geçme bağlantısında kayma oluşur. Sıkı geçmelerde, yüzey pürüzlülüğü kaybindan dolayı yüzey basıncı kaybının etkisinin tam olarak ne kadar olacağı bilinmemesi iki genel sonuca yönlendirmektedir. Bunlardan birincisi, kabullere göre daha az kayıp olması durumudur. Bu durumda bağlantı, gerçekte daha fazla tork iletebilmektedir. Bunun yanı sıra, seçilen geçmenin, maksimum sıklıktan dolayı oluşan basıncın müsaade edilen basınç sınırını aşması muhtemeldir. Bunun sonucu olarak, mil ve göbek çiftinde hasar meydana gelebilir. İkincisi ise kabullere göre daha az sıklık kaybı olmasıdır; beklenenden daha az tork taşır ve dolayısıyla sıkı geçme bağlantı işlevini yerine getiremeyecektir.

Sıkı geçme bağlantılarının hesabında, montajdan dolayı mil ve

göbek arasında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü kaybına açıklık getirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, yüzey pürüzlülüğü kaybının sabit bir katsayı ile kullanımının ihtiyacı karşılama da yetersiz kaldığı görülmüştür. Kaybın hesaplanırken malzemeye ve sıklık derecesine bağlı olarak seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Böylece daha güvenli bir sıkı geçme bağlantısı tasarlanabilir. Buradaki temel husus, oluşan yüzey basıncıdır. Bu yüzey basıncını etkileyen faktörlerin yüzey pürüzlülüğü kaybını da etkileyeceği düşünülmektedir.

Yüzey pürüzlülük kaybı olmaması için pürüzsüz veya çok küçük pürüzlülük değerlerine sahip yüzeyler üretilmesi düşünülebilir. Ancak ihmal edilebilecek kadar küçük pürüzlülük değerleri elde etmek, zahmetli ve maliyetli bir iştir. Aynı zamanda küçük pürüzlülük değerleri sürtünme katsayısını düşüreceğinden sıkı geçme bağlantılarında tavsiye edilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü kayıplarından dolayı, oluşan sıklık kaybını azaltmak için sıkı geçme uygulanacak yüzeylerin pürüzlülük değerleri olabildiğince küçük olmalıdır. İşletmenin sahip olduğu imalat imkânları ve maliyet dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenir. Pürüzlülük kaybı az olan bir sıkı geçme bağlantı, yüzey pürüzlülüğü kaybı daha fazla olana göre seçilebilecek küçük sıklık değerlerinde eşdeğer bir tork iletilir. Böylece montaj için gereken enerji daha az olacağı gibi, maliyeti de düşürecektir.

Yapılan deneylerde göbek yüzeyinin pürüzlülük kaybının, mil yüzeyine göre kısmen daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak bariz bir fark olmamasından dolayı, Şekil 7’de verilen grafik, mil ve göbek pürüzlülüklerinin kayıp katsayıları k_M ve k_G için akma dayanımlarına bağlı olarak okunabilir.

SEMBOLLER

A_g	Gerçek temas alanı
A_n	Hesaplanan temas alanı
D_F	Geçme çapı
$D_{F,G}$	Geçmede göbek çapı
$D_{F,M}$	Geçmede mil çapı
D_G	Göbek dış çapı
D_M	İçi boş miller için mil iç çapı
E_G	Göbek elastiklik modülü
E_M	Mil elastiklik modülü
G	Yüzey pürüzlerinin ezilmesinden dolayı oluşan kayıp
G^*	Düzeltilmiş yüzey pürüzlülük kaybı
k_G	Göbek için mil malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü kayıp katsayısı
K_G	Göbek katılığı
k_M	Mil için göbek malzemesine göre yüzey pürüzlülüğü kayıp katsayısı

K_M	Mil katılığı
l_F	Geçme temas uzunluğu
l_g	Geçme gerçek temas uzunluğu
p	Kalın cidarlı tüpler teorisine göre hesaplanan basınç
p_g	Gerçekleşen basınç
p_{min}	Gereken minimum basınç
p_n	Hesaplanan basınç
$R_{z,G}$	Göbek yüzey pürüzlülüğü
$R_{z,M}$	Mil yüzey pürüzlülüğü
T	İletilmek istenen tork
U_{pp}	Yüzey pürüzlerinin üst noktalarından ölçülen sıklık
Z_{min}	Tork iletimi için gerekli minimum sıklık
ΔU	Öngörülen sıklık kaybı
μ	Sürtünme katsayısı
ν_G	Göbek poisson oranı
ν_M	Mil poisson oranı

KAYNAKÇA

1. **Budynas, R. G., Nisbett, J. K.** 2006. Shigley’s Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, USA.
2. **Moore, A. J. W.** 1948. Deformation of Metals in Static and in Sliding Contact, Proc. R. Soc. London, A 195, p. 231-244.
3. **Williamson, J. B. P., Hunt, R. T.** 1972. “Asperity Persistence and the Real Area of Contact Between Rough Surfaces,” Proc. R. Soc. London, A 327, p. 147-157.
4. **Childs, T. H. C.** 1977. “The Persistence of Roughness between Surfaces in Static Contact,” Proc. R. Soc. London, A 353, p. 35-53.
5. **Steinhilper, W., Röper, R.** 1986. Maschinen-und Konstruktions-Elemente, Band II, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg-New York.
6. **Decker, K.** 1992. Machinenelemente, Carl Hanser Verlag, Münschen Wien.
7. **Tochtermann, W., Bodenstern, F.** 1979. Konstruktions-elemente des Maschinenbaues, Teil 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg-New York.
8. **Yang, G. M., Coquille, J. C., Fontaine, J. F., Lambertin, M.** 2001. “Influence of Roughness on Characteristics of Tight Interference Fit of a Shaft and a Hub,” International Journal of Solids and Structures, vol. 38, p. 7691-7701.
9. **Yang, G. M., Coquille, J. C., Fontaine, J. F., Lambertin, M.** 2002. “Contact Pressure between Two Rough Surfaces of a Cylindrical Fit,” Journal of Material Processing Technology, vol. 123, p. 490-497.
10. **Niemann, G.** 1981. Maschinenlemente Band I, Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg-New York.
11. **Oberg, E., Jones, F. D., Horton, L. H., Ryffel, H. H.** 2004. Machinery’s Handbook, Industrial Press, Inc., New York.