

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ E L KİTABI

Cilt1

ÜRETİM VE TASARIM

Baskıya Hazırlayan
A. Münir CERİT
(Makina Yük. Mühendisi)
2. Baskı

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Ekim 1994



Yayın no: 169

tmmob
makina mühendisleri odası

Sümer Sokak 36/1-A 06440 Demirlepe / ANKARA
Tel : (0-312) 231 31 59 - 231 80 23 Fax : (0-312) 231 31 65

Yayın no : 169

ISBN : 975-395-124-8 (Tk. No)
ISBN : 975-395-125-6 (1. Cilt)

Bu Yapıtın yayın hakkı Makina Mühendisleri Odası'na aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nın izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak gösterilmek kaydı ile alınli yapılabilir.

Ekim 1994 - Ankara

Dizgi: Ali Rıza Falcıoğlu (Makina Mühendisleri Odası)
Baskı: MF Ltd. Şti. Tel: (0-312) 425 37 68

BÖLÜM 8

YAĞLAMA VE YATAKLAR

Hazırlayan

Prof. Dr. Metin AKKÖK.ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü

YAĞLAMA

Sayfa

Sayfa

1. Yağlamanın Önemi ve Yağlama Yöntemleri.....02
2. Yağlayanlar ve Özellikleri.....04
3. Yağlayanların Sınıflandırılması.....10
4. Yağların Seçimi.....14

YATAKLAR

1. Yatakların Sınıflandırılması.....15
2. Yatak Seçme Özellikleri.....15
3. Kaymalı Yataklar.....18
4. Radyal Yataklar.....19

5. Eksenel Yataklar.....26
 6. Hidrostatik Yataklar.....33
 7. Sürtünmeli Yataklar.....39
 8. Yatak Malzemeleri.....40
 9. Yuvarlanma Elemanlı Yataklar.....43
 10. Yatak Sembolleri ve Toleranslar.....46
 11. Yatak büyüklüğünün Belirlenmesi ve Yatak Seçimi.....50
 12. Yatak Yerleştirme Yöntemleri.....55
- KAYNAKÇA.....57
- İLGİLİ STANDARDLAR.....58

YAĞLAMA

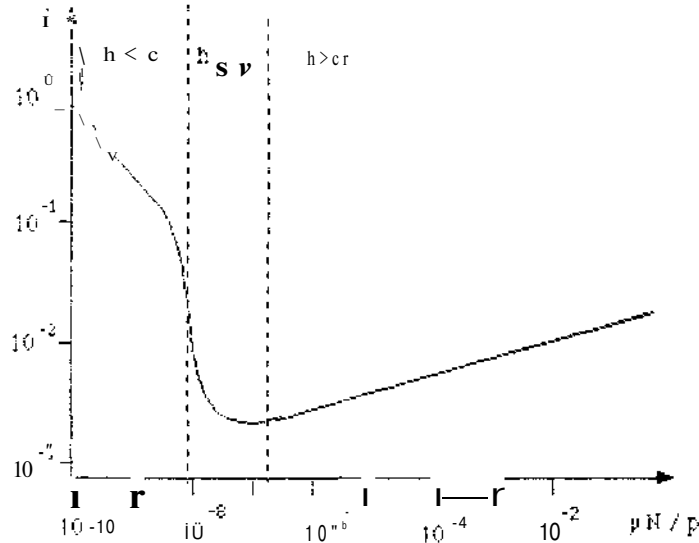
1. YAĞLAMANIN ÖNEMİ VE YAĞLAMA YÖNTEMLERİ

Genelde temas durumundaki yüzeyler arasında sürtünme kuvvetini ve aşınım miktarını azaltmak için yağlayıcılar kullanılır. Sürtünen yüzeyler arasında bir yağlayan kullanmanın amacı aşağıdaki işlevlerden bir veya birden fazlasını sağlamaktır.

1. Yüzeyler arasındaki normal kuvveti yağlayıcı bir tabaka ile iletme. Böylelikle, yüzeylerin pürüzleri arasında kuvvet iletimini daha geniş bir yağlayıcı tabakaya yayarak yüzey gerilmelerini azaltmak.
2. Yağlayıcı tabaka ile yüzeylerin pürüzlerinin birbirine sürtünmesini engelleyerek sürtünme katsayısı ve aşınım miktarını azaltmak.
3. Yağlama ile sürtünme katsayısını azaltarak sürtünme nedeni ile oluşacak ısı üretimini azaltmak. Sürtünme ile oluşacak ısıyı taşımak ve böylelikle de yüzey sıcaklığını istenilen değerde tutmak.
4. Ağır çevre koşullarında çalışan yüzeyler üzerinde bir tabaka oluşturmak malzeme ile korozif ortam arasındaki ilişkiyi kesmek ve korozyondan korumak.
5. Sürtünen yüzeyler arasına yabancı sert parçaların girmesini önlemek ve yüzeylerden uzak tutmak.
6. Yüzeyler arasında aşınım veya çevre koşulları nedeni ile oluşabilecek küçük ve sert parçaların kayma hareketi ile veya dışarıdan sağlanacak yağ akımı ile sürükleyerek temizlemek.
7. Makinanın diğer parçalarından iletilen titreşim ve şokun temas halindeki yüzeye iletimini sönümlenmek. Yağ tabakasının sönümleme özelliği ile makinalarda titreşim seviyelerinin azalmasını sağlamak.

Yağlama Tipleri

Yağlama tipi ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi yüzeyler arasındaki kayma hızı, U , (veya açısal dönme hızı, N) kayma yönüne dik yöndeki genişlik, L , uygulanan yük, W , (veya ortalama basınç, $p = W/A$), ve yağ viskozitesine, μ , bağlıdır. Bu bağıntı Stribeck eğrisi ile Şekil.1 de verilmiştir ve sürtünme katsayısının değişimine bağlı olarak çeşitli yağlama tipleri tanımlanmıştır. Burada sürtünme katsayısını etkileyen faktörler boyutsuz Stribeck sayısı, $\mu UL/W$ veya $(\mu N/P)$ olarak verilmiştir. Hidrodinamik yağlama teorisinde de gösterileceği gibi Stribeck sayısı yüzeyler arasındaki ortalama açıklık h , ile orantılıdır. Bu nedenle Şekil.1 sürtünme katsayısının h ile değişimi olarak da düşünülebilir. Sürtünme katsayısı yüzey malzemelerine bağlı olmakla birlikte birçok çalışma koşullarında Stribeck sayısının 10^6 ile 10^8 değerleri arasında en az değere erişil'. Bu değer de yaklaşık olarak yüzeyler arasındaki ortalama açıklığın, h , ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine, $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2)^{1/2}$, yakın değere karşılıktır.



Şekil.1- Yağlama tiplerini tanımlayan Stribeck eğrisi

YAĞLAMA

Yağlama ve sürtünme tipleri kesin sınırlarla ayrılmamakla birlikte yüzeyler arasındaki ortalama açıklığın ortalama yüzey pürüzlülüğüne göre büyüklüğü ile belirlenir.

$(h > a)$: *Kalın tabaka yağlamada* yüzey pürüzlülüğünden en az bir merteye daha büyük olun bir yağ tabakası ($h > 10\text{nm}$) ile yüzeyler birbirlerinden tümüyle ayrılmıştır. Çalışan yüzeyler arasında hiç bir biçimde temas olmadığından aşınma yoktur ve sürtünme sadece yağın akımı ve viskozitesine bağlıdır. Yük, kayına hızı ile yüzeyler arasında yağ kamasının (daralan filmin) oluşturduğu basınç dağılımı ile taşınıyorsa *hidrolik yağlama*, yüzeyler arasına yüksek basınçta yağ gönderilerek taşınıyor ise *hidrostatik yağlama* olarak tanımlanır. Sürtünme katsayısı bu tip yağlamada 0.001-0.02 arasında değişir.

Yükün artması veya hız ya da viskozitenin azalması ile ortalama açıklığın yüzey pürüzlülüğünün sadece 3-5 katına düştüğü durumda, yük yağlayıcı tabakanın kalınlığı ile oluşan hidrodinamik basınç ile taşınırken yüzey pürüzlerinin en yüksek noktalarında karşılıklı metalin melal ile teması da oluşur. Bu tip yağlama *ince tabaka yağlama* olarak tanımlanır.

$h \approx a$: *Elastik şekil değişikliği* oluşturabilecek kadar ağır yüklenmiş ve yüzey pürüzlülüğü çok küçük olan yüzeylerde, örneğin nokta ve çizgi teması olduğu dişli ve yuvarlanma elemanlı yatak yüzeylerinde $h = 0.2 - 0.5$ (2-5) *elastohidrokinamik yağlama* oluşur. Bu tip yağlamada viskozite yağ basıncı ile artar ve yük hidrodinamik basınç ile taşınır.

Yüzeyler arasındaki açıklığın yüzey pürüzlülüğünün 3 katından daha küçük değerlerinde yükün önemli bir kısmı yüzeylerin teması ile taşınırken bir kısmı da yüzey pürüzlerinin arasına sıkışmış olan yağın basıncı ile taşınır. Bu koşullarda yüzeylerin temasını önleyen, yüzeylere yapışmış bir yağlayıcı tabakanın olması durumunda *karışık yağlama* koşulları oluşur. Sınır tabakanın kayma dayanımına bağlı olarak sürtünme ve aşınma artar. Sürtünme katsayısı 0.4-0.5 değerine kadar çıkabilir.

$h < a$: *Kayma hızının çok düşük*, yükün ve sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda yüzeyler arasındaki açıklık ortalama yüzey pürüzlülüğünden daha küçük olur. Yüzeylerde kimyasal olarak bileşik oluşturmuş bir yağlayıcı maddenin olması durumunda yük tümüyle bir kaç molekül kalınlığındaki bu tabaka tarafından taşınır ve *sınır yağlama* olarak tanımlanır. Yüzeylerin pürüzlülüğü ve sınır tabakanın kimyasal yapısı sürtünme ve aşınmayı belirler. Ağır yük altında kayma ile yüzeydeki sınır tabakanın sıyrılarak temizlenmesi veya yüzeylerde herhangi bir yağlayıcı madde bulunmayan temiz metal yüzeylerin teması durumunda *kuru sürtünme* koşulları oluşur ve sürtünme ve aşınma katsayısı çok yüksek değerlere erişir.

Yağlama Yöntemleri

Sürtünme ve aşınmayı azaltmak için yağlar sürtünen yüzeylere çeşitli şekillerde uygulanabilir. Sadece iyi bir yağ seçmekle yağlama sağlanmış olmaz, aynı zamanda yağın yağlanacak yüzeylere en uygun şekilde uygulanması gereklidir. Yağlama yöntemi yağlayıcı tipine, yağlayıcı miktarına, yağlama periyoduna ve yağlanacak yüzeylerin tasarımına göre değişir. Başlıca yağlama yöntemleri şunlardır :

1. *El ile yağlama (yağdanlık ile yağlama)*: Bu yöntem düşük hızda, hafif yüklerde çalışan yalnakları, sürtünen yüzeyleri yağlamakta kullanılır. Uygulamada çok tercih edilen bir yöntem değildir. Yağın uygulandığı anda ve daha sonraki çalışma sırasında fazla miktarda olan yağ sıçrama, akma ve sızıntı ile yağlanacak yüzeylerden uzaklaşarak bir sonraki yağlamadan önce yüzeylerin yağsız kalmasına neden olabilir. Genel bir kural olarak, başka bir seçenek yoksa ve yataklar veya sürtünen yüzeyler çalışan sistem içinde önemli işlevi olan parçaları oluşturmuyorsa el ile yağlama kullanılabilir.

2. *Fital ile yağlama* : Bu yöntemde, yağ emebildi lamba fitili, pamuk keçe, yün ve bu gibi maddelerin birbirleriyle karıştırılması ile yapılan bir fitilin bir ucunun yağ banyosu içinde diğer ucunun ise yağlanacak olan yüzey üzerine yerleştirilmesi ile yağlama elde edilir. Yağ hazne içinden fitil ile emilerek yağsız olan yüzeyin yağlanması sağlanır. Yağ akım miktarı fitil malzemesine ve örgü yapısının şekline bağlıdır. Bu yöntemde, yüzeylerin çalışma hızına bağlı olmaksızın devamlı bir yağ akımı sağlanır. Yağlamanın durdurulması ancak fitilin çıkartılması ile mümkün olur.

3. *Damlalık ile yağlama* : Bu yöntemde, yağ hazneden damlalar halinde doğrudan sürtünen yüzeyin üzerine akar. Yağ akımı hazne üzerindeki iğne vana ile kontrol edilir. Yağ içinde bulunabilecek yabancı maddelerin vanayı tıkayarak yağ akımını engellemesi mümkündür.

4. *Halka, zincir ve bilezik ile yağlama* : Bu tip yağlama yatay durumdaki yatakları yağlamak için kullanılır. Halka ile yağlamada mil üzerinde büyük çapta bir çember mil ile birlikte dönerek alttaki yağ kabının içinden geçer. Bu sırada halka tarafından emilen yağ, taşınarak mil üzerinde yatak yüzeyini yağlar. Zincir ile yağlamada halka yerine zincir kullanılır. Yağ zincir halkalarında yüzey gerilim kuvvetleri ile tutulur ve mil üzerine taşınır.

YACILAMA

Yağ dolu zincir halkaları diğer bir yü/ey ile temasa geldiklerinde yağ yüzeye yayılır. Bilezik ile yağlamada mil üzerine madeni bir bilezik geçirilmiştir. Burada yağ mil ile birlikte dönmekte olan bilezik ile yağlanması istenilen yüzeylere merkezkaç kuvveti ile fırlatılır. Eu yöntem oldukça güvenilir bir yöntemdir, orta ve yüksek hızda çalışan makinalarda çok geniş uygulama alanı bulmaktadır.

5. *Dalma veya banyo yağlama* : Bu yöntemde sürtünen yüzeyler yağ banyosuna tamamen daldırılmış olarak çalışırlar. Yağ seviyesi kontrolü yüzeyler çalışmazken yapılmalıdır. Yüksek devirlerde gerekli yağ seviyesi deneylerle bulunur. Hacmi küçük olan yağ banyoları yağın çabuk bozulmasına, özelliğini yitirmesine yol açar ve daha sık yağ değişimi gerekli olur.

6. *Şıratma yağlama* : Kapalı bir gövde içine yerleştirilmiş dönen parçalan olan makinaların yağlanmasında kolaylıkla kullanılabilen bir yöntemdir. Dönen parçaların yeterli seviyede yağ bulunan banyoya çarparak dalar-ken etrafa şıçrattıkları yağ ile sürtünen yüzeylerin yağlanması mümkündür. Krank-biyel mekanizmalı içten yanmalı motorlarda, kompresörlerde ve dişli sistemlerinde kullanılır. Bu tür yağlamada çalışma başlangıcında yüzeylerin yeteri kadar yağlanabilmesi için gerekli yağ tutucu ve depolayıcı boşluklar, kanallar vb. tasarım değişiklikleri yapılmalıdır.

7. *Pompa (basınçlı) yağlama sistemi* : Bu yöntem endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yağlanması gerekli olan elemanlara ve diğer sürtünen yüzeylere sabit akışlı yağ vermek amacı ile kullanılır. Yüksek hızdaki veya büyük yataklardaki gibi yağın çok miktarda iletilmesi gereken durumlarda basınçlı yağlama ile yağ devretirilir. Yağ basınç ile yağlama sistemi borularından yağlanacak yüzeye kadar iletilir. Boruların ucuna yerleştirilen yağ memelerinden yüksek hızla (15m/s) çıkan yağ doğrudan yağlanacak noktaya püskürtülür. Yağlamadan sonra bir depoda toplanan yağ temizlenerek tekrar kullanıma alınır. Yağ devridaimi bir pompa ile sağlanır. Bu sistemler yağın filtreden geçirilerek temizlenmesine, yüksek yatak sıcaklıklarında ısının yağ soğutucusu ile sistemden dışarı atılmasına olanak sağladığından sürekli çalışacak sistemler için tercih edilirler. Yağ toplama delikleri yağ giriş deliklerinden daha büyük olmalıdır.

8. *Yağ sisi (hava-yağ karışımı) ile yağlama* : Sıvı yağın çok küçük tanecikler (piilverize) halinde basınçlı hava ile birlikte gönderildiği bir yöntemdir. Bu tür yağlama yüksek hızda çalışan makinalarda yağın kolaylıkla temas bölgesine girememesi durumunda havanın kolaylıkla gireceği düşünülerek uygulanır. Yağlanacak yüzeyler kapalı bir sistem içinde basınç altında çalıştıklarından dışarıdan istenmeyen yabancı maddelerin girmesi de önlenir. Bu yağlama yönteminde piilverize olma özelliği ve oksidasyona karşı direnci artırılmış yağlar kullanılmalıdır. Yağ-hava karışımı ile yağlamada, yağ miktarı belirleyici bir birim tarafından hava akımı geçen bir boru içine akitılır. Yağ damlası hızlı hava akımı içinde küçük parçalara ayrılır ve yağlanacak yüzeyde sürekli bir ince yağ tabakası oluşturur.

9. *Gres ile yağlama* : Ağır yük, düşük hız ve yüksek sıcaklık nedeni ile sıvı yağın yüzeylerde tutulmasının zor olduğu ve yeterli bir film kalınlığının oluşturulmadığı uygulamalarda gres ile yağlama tavsiye edilir. Gres ile yağlamada;

- basit gres kutusu,
- hava veya yay baskılı gres kutusu,
- gres presi (elle çalışan) veya
- birçok yağlama noktası aynı anda yağlanabilen ve gres miktarı her yağlama yeri için ayarlanabilen otomatik gres presi kullanılabilir.

2. YAĞLAYANLAK VK ÖZKLLİKLERİ

Yağlayıcı Maddeler

Yağlayan, yük altında hareket eden iki yüzey arasında bir tabaka oluşturabilen herhangi bir madde olabilir. Yağlayanlar gaz, sıvı ve katı olarak sınıflandırılabilirler.

- 1- Gaz yağlayanlar : I lava, helyum, azot, hidrojen, karbon dioksit vb.
- 2- Sıvı yağlayanlar : Madeni yağlar, doğal yağlar, sentetik yağlar.
- 3- Katı yağlayanlar : Grafit, molibden disülfid, naylon, talk, mika, politetrafloretlen (PTFE), poliklorotrifloretlen (I'CFI), çeşitli titanyum, selenyum ve tungsten sülfitleri.

Bunlara ek olarak yarı-katı yağlayunlardan gres ve petrol jölesi de kullanılı¹.

Gaz Yağlayanlar

Genellikle hava, gaz yağlayan olarak kullanılır. Ancak kapalı bir sistem içinde çalışan yüzeylerin yağlanmasında çalışma ortamındaki gaz ve akışkanların buharları yağlayan olarak kolaylıkla kullanılabilir. Gaz

YAĞLAMA

la'im sıvı yağlayıcıları göre viskoziteleri çok küçük olduğundan yük taşıma kapasiteleri az ve yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı çok küçüktür. Gazlı hidroslalük yataklarda sürtünme katsayısı sıfıra yakındır. Bu nedenle genellikle yüksek hızda ve çok hafif yüklerde hassas çalışırna gerektiren sistemlerde kullanılır.

Sıvı Yağlayanlar

Sıvı yağlayanlar elde edilışlerine göre başlıca iki grupta toplanabilir.

- 1 - Doğal yağlar
- 2- Sentetik yağlar

Doğal yağlar da kendi aralarında elde edildikleri ham maddelere göre ayrılabilir. Bitkisel yağlar bitkilerden (zeytin, hurma, çam, vb.), bitki tohumlarından (pamuk, susam, soya, yer fıstığı, mısır vb.) ve bitki köklerinden; hayvansal yağlar çeşitli hayvanların (balina, ayı balığı, balık, domuz vb.) iç yağlarından elde edilir.

Madeni (mineral) yağlar ham petrolden, kömürden, bitümlü linyitten, ziftli çamurdan, fosilleşmiş bitkilerden elde edilen yağlar içerir. Ancak 19. yüzyılın son yarısında endüstrideki yağ kullanımının önemli miktarda artmasıyla gerekli olan yağ büyük bir çoğunlukla Inun petrolden elde edilmiştir. Ham petrol yaklaşık %83-87 karbon, % 11-14 hidrojen, değişik oranda su ve az miktarda kükürt, oksijen ve azot içerir. Diğer bir deyişle yağlar hidrokarbonlardır. Ancak karbon ve hidrojen bağları çok çeşitli şekillerde alabilir ve bu da petroldaki farklı özelliklerin nedeni olur. İlam petrol temel olarak parafinler, olefinler, ariomalikler, naflanlardan asfaltiklere kadar değişen çok karmaşık hidro-karbonların karışımından oluşur.

Sentetik yağlar ileri teknoloji gerektiren uzay araçları, nükleer, uçak vb. endüstrilerdeki gelişmeler karşısında madeni yağların özelliklerinin yeterli olmaması nedeni ile kimyasal olarak laboratuvarlarda geliştirilmiştir. Sentetik yağların madeni yağlara göre en büyük özelliği yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesidir. Bu yağlar genellikle yanmayan yağlar olduğundan hidrolik yağı olarak da kullanılır. Sentetik yağlar sağlığa zararlı olabileceğinden gerekli önlemler alınmalıdır. Madeni yağlara göre fiyatları yüksektir. Bu yağların karşılaştırmalı olarak çalışma sıcaklıkları Çizelge. 1 de verilmiştir (1).

Katı Yağlayanlar

Katı yağlayanlar alışlagelmiş yağlar ve greslerin yağlama görevlerini yerine getiremedikleri yüksek sıcaklıktaki çevre koşullarında kullanılır. Bu yağlayanlar atomlarının tabakalar halindeki yerleşimleri nedeni ile çok düşük kayma gerilmelerinde kolaylıkla kayarlar. Sürtünmeyi azaltmalarının yanı sıra yüzeylerde bir tabaka oluşturdukları için korozyonu da önlerler. Katı yağlayanlar toz, macun, sıvı içinde çamurlaştırılarak, toz halinde greslere ve yağlara katkı olarak, plastik ve sinler metallere yedirilmiş olarak kendinden yağlama sağlarlar. Yüksek sıcaklıkta çalışan makinalarda örneğin, roket motorlarında, fırın içindeki konveyör yataklarında ve zincirlerinde, veya çok soğuk ortamlarda çalışan makinalarda örneğin, yükseklerde uçan uçaklarda, uzay araçlarında kullanılır.

Çizelge.1- Sentetik Yağların çalışma Sıcaklıklıkları (1)

Yağlar	Uzun süreli ("C)	Kısa Süreli ("C)
Madeni yağlar	93-121	135-149
Süper-rafine madeni yağlar	177-232	316-343
Sentetik hidrokarbonlar	177-232	316-343
Organik eslerler	177-190	218-232
Poliglikoller	163-177	204-218
l'olifenil eterler	316-371	427-482
Alkil fosfat eslerleri	93-121	135-149
Alil fosfat eslerleri	149-177	204-232
Puli-silikonlar	190-218	260-288
Silikonlar	218-274	316-343
Silikat esterleri	177-232	316-343
llalojenli poli-ariller	204-260	288-316
riorokarbonlar	288-343	399-454
Perfloroglikollar	232-260	288-343

YAĞLAMA

Katı yağlayanlar elde edildikleri kaynaklara göre sınıflandırılabilir.

- 1 - Organik : Grafit ve molibden disülfür
- 2- İnorganik : Polimerler (PTFE, PTCFE vb.)
- 3- Metalik : Kurşun, indiyum, baryum, gümüş, altın vb.

Uygulamada bu maddeler bileşikler halinde de kullanılır.

Grafit Doğada toz veya pul şeklinde bulunan karbon esaslı bir yağlayıcıdır. Grafit yapısında karbon elemanı kristal halinde bulunur ve atomları tabakalar halinde yerleşmiştir. Sürtünen yüzeylerin pürüzlerine dolarak düz ve pailak bir yüzey oluşturur. Sürtünmeyi azaltmak için yağa ve grese toz halinde katkı olarak kullanıldığı gibi suya karıştırılmış olarak da kullanılabilir.

Grafit genellikle yüksek basınçta ve sıcaklıkta sürtünmeyi azaltmak için kullanılır. 2000°C nin üzerinde ergidiği için sıcaklığa karşı çok dayanıklıdır. Grafit genellikle karbon (kömür yatak) veya metaller içine yedirilerek yatak, makina elemanı veya sızdırmazlık elemanı olarak istenilen şekilde ve ölçüde işlenebilir. Bu malzemelerle hava içinde 600°C, asal gazlı bir ortam içinde 3000°C ye kadar kullanılabilir. Bu malzemeler kırılğan oldukları için çarpma yüklerinin olduğu yerlerde veya arkasında rijit metal olmadan kullanılmamalıdır. Kimyasal olarak aktif bir malzeme olmadığından asit veya diğer kimyasal sıvıların bulunduğu sistemlerde, pompalarda ve sürtünen yüzeylerde yatak malzemesi olarak kullanılır. Ortalama yüzey basıncının 1.38 MPa dan düşük değerlerinde, çok yavaş kayma hareketi olan yüzeylerde ise 6.89 MPa ya kadar uygulamalarda kullanılabilir. Elektrik iletkenliği yüksektir.

Molibden disülfür (MoS₂) pullan grafit pullarından daha küçük olması nedeniyle sürtünen yüzeylerin pürüzlerini ve çukurlarını daha iyi doldurur. Grafitten daha yumuşak, ancak yoğunluğu grafitin iki katıdır (5 g/cm³). Kristal yapısında molibden ve kükürt atomları farklı paralel tabakalara yerleştiklerinden tabaka halinde bir yapısı vardır. Kimyasal yapısındaki iki kükürt atomu ile yüzeye yapışır, diğer iki kükürt atomu ile molibden disülfür molekülleri arasında kayma sağlanır. Bu yapı ile yatak yüzeylerinde korozyon da önlenir. Yüzeydeki filminin bozulması ancak 1000 MPa temas basıncında olduğundan, plastik metal şekillendirme işlemlerinde olduğu gibi, çok yüksek temas basıncı olan uygulamalarda yüzeyler arasında soğuk kaynak oluşumu önlenir.

MoS₂ toz halinde veya yağlarda ve greslerde katkı maddesi olarak (yaklaşık %10 kadar) veya az bir miktarda madeni veya sentetik yağ karışımı ile macun olarak kullanılır. MoS₂ 400°C de oksitlenir. Bu nedenle normal atmosfer koşullarında -100°C ile +400°C arasında yağlama yapılabilir. Hava ile temasın az olduğu yerlerde 630°C ye kadar çıkılabilir. Yüksek vakumda, hidrojen ya da asal gaz ortamlarında 1100°C ye kadar yağlama yapılabilir. MoS₂ de bir miktar nem bulunması kinetik sürtünme katsayısını düşük hızlarda artırır ve yüksek hızlarda üretilen ısı nedeniyle nemin azalması ile kinetik sürtünme katsayısı azalır. Normal atmosferik koşullarda sürtünme katsayısı 0.05 den yüzey basıncının artmasıyla 0.03 e kadar düşer. Grafitin aksine, MoS₂ ün düşük tuzlardaki çok düşük statik ve kinetik sürtünme özellikleri nedeniyle tutuklu kama veya yapış-kay (stick-slip) titreşim özelliği yoktur.

Katı yağlayıcıların çeşitli çalışma sıcaklıklarındaki sürtünme katsayıları Çizelge.2 de verilmiştir (1). Bu değerler mika ve talk için 0.41m/s kayma hızı ile 0.9 N yük altında, diğerleri için ise 3,05 m/s kayma hızı ile 3,2 N yük altında elde edilmiştir. Katı yağlayıcılar arasında en düşük kinetik sürtünme katsayısı 1400 MPa basınçta 0,009 ile tantalum disülfür (TaS₂) ile elde edilir.

Çizelge.2- Katı Yağların Sürtünme Katsayıları (1)

Yağlayan	8ü°F (2(>.7°C)	50Ü°F (26(°C)	1000°F (538°C)
LİF	0,3-0,4	0,9	0,65-0,75
AlPO4	0,6		0,51
PbS	0,47	0,2-0,47	0,15-0,19
PbS/MoS ₂	0,16-0,13	0,13	0,37
PbS/Grafit	0,20	0,29	0,21
Grafit	0,14-0,30	0,06-0,12	0,20-0,27
MoS ₂	0,43	0,10	
BN	0,3	0,15	
PbF ₂	0,6	0,6	
TİS ₂	0,7	0,6	
WS ₂	0,7-1,6	0,2	
Mika	0,38-0,89		
Talk	0,13-0,89		

YAĞLAMA

Yağlayan olarak kullanılan *yumuşak metaller* genellikle sert yüzeyler üzerinde ince bir kaplama olarak kullanılır. Kayma ile oluşan ısı ile ergiyerek yüzeylerin pürüzlerini doldurur ve sürtünme katsayısını azaltırlar. Bu nedenle ağır şartlarda kayma ile yüksek sıcaklığın olduğu uygulamalarda kullanılır. Çizelge.3 de yağlayıcı olarak kullanılabilen metallerin ergime sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge.3- Yağlayıcı Metallerin Özellikleri

Metal	Ergime Sıcaklığı (°C)
Galyum	30
İndiyum	155
Kalay	232
Talyum	300
Kurşun	327
Baryum	704
Gümüş	961
Alün	1063

Naylon, teflon, asetal, poliamid ve fenolikler gibi *organik polimerlerin* de yağlayıcı özellikleri vardır. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları genellikle düşüktür. Yük taşıma kapasitelerini ve ısı iletim katsayılarını artırmak amacıyla fibreglas, grafit, metal tozları vb. dolgu malzemeleri ile birlikte kullanılır. Çizelge.4 de polimer yağlayanların özellikleri verilmiştir. Sürtünme katsayıları çalışma koşullarına bağlı olarak çizelgede verilen değerler arasında değişebilir.

Çizelge.4- Polimer Yağlayanların Özellikleri

Polimer	Sürtünme Katsayısı	Ergime Sıcaklığı (°C)
PTFE (teflon)	0,03-0,12	290
PTFE+dolgu	0,1-0,6	290
PTFCE	0,12-0,3	200
Naylon 6	0,2-0,3	100
Naylon 6+dolgu	0,2-0,4	150
Polisülfon	0,14-0,22	260
PPS	0,2-0,5	280
Poliyamid	0,2-0,1	350
Asetal	0,1-0,4	110

Madeni Yağlar ve Özellikleri

Viskozite

Viskozite akışkan tabakalarının birbirine göre kaymaya karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanır. Kayma gerilmesi T, kayma yönüne dik yöndeki kayma oranı (hız gradyanı) du/dn ile doğru orantılı olup bu ilişki Newton viskozite yasası ile verilir.

$$t=H \cdot du/dn$$

Burada orantı katsayısı *n dinamik viskozite* ya da *mutlak viskozite katsayısı* olarak tanımlanır ve genellikle kısaca viskozite olarak bilinir. Akışkanların viskozitesi çapı küçük olan bir boruda kendi ağırlığının etkisi ile oluşan akım ile ölçüldüğünden *kinematik viskozite*

$$v = \mu / \rho$$

YAĞLAMA

olarak tanımlanır. Burada p yağın yoğunluğudur.

Viskoziteler çeşitli birim sistemlerine göre tanımlanabilir.

SI Birimi	c.g.s. Birimi	İngiliz Birimi
Pa.s	dyn. s/cm ² = Poise (P)	lb. s/in ² = Reyn
ν m ² /s	cm ² /s = Stoke (St)	İn ² /s

Ayrıca mPa.s = 10³ Pa.s, centipoise (cP) = 0,01 P, centistoke (cSt) = 0,01 St, microreyn (μ Reyn) = 10⁻⁶ Reyn de kullanılır.

Çok yüksek temas basınçlarının olduğu elastohidrokinamik yağlama koşullarında madeni yağlar sıkıştırılabilir akışkanlardır. Dowson ve Higginson tarafından yoğunluğun basınç ile değişimi

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{0,6 p}{1 + 1,7 p} \right)$$

olarak verilir. Burada p_0 atmosfer basıncındaki yoğunluk ve basınç GPa olarak alınmalıdır. Çok yüksek basınçlarda bu eşitlikten yaklaşık %35 yoğunluk artışı elde edilir.

Viskozite-Sıcaklık Bağlantıları

Madeni yağların diğer önemli bir özelliği de viskozitenin sıcaklığa göre değişmesidir. Genel bir kural olarak viskozitesi yüksek olan yağın viskozitesi düşük olan yağa göre sıcaklıkla değişmesi daha fazladır. Kinematik viskozite, ν , ile mutlak sıcaklık, T, arasındaki bağlantı Walther eşitliği ile verilir.

$$\nu + \gamma = \beta 10^{1/T^{\circ}C}$$

Bu bağıntıdaki üç parametre ν , p ve C verilen bir yağın $U\dot{C}$ ayrı sıcaklıktaki kinematik viskozite değerleri kullanılarak bulunabilir. ASTM tarafından bir çok yağ için ν (cSt) alınarak $y = 0,6$ bulunmuş ve bu bağıntı iki defa logaritması alınmış şekliyle önerilmektedir.

$$\log \log (\nu + 0,6) = A - C \log T$$

Bu şekilde, verilen bir yağın iki ayrı sıcaklıktaki kinematik viskozite değerleri kullanılarak A ve C katsayıları bulunabilir.

Bu tür eşitlikler kullanarak istenilen bir sıcaklıktaki bilinmeyen viskozitenin bulunması en doğru şekilde Vogel eşitliği ile elde edilmektedir. Bu eşitlikte dinamik viskozite, μ , ile mutlak sıcaklık, T, arasındaki ilişki

$$\mu = A e^{B/(T+C)}$$

olarak verilir. Buradaki A, B ve C katsayıları, verilen bir yağın üç ayrı sıcaklıktaki dinamik viskoziteleri kullanılarak bulunur.

Viskozite İndeksi

Madeni yağlar ilk kullanılmaya başlandığında naftanik yağların viskozitesinin parafinik yağların viskozitesine göre sıcaklığın artması ile daha çok azaldığı görülmüştür. Viskozite indeksi, (VI), viskozitenin sıcaklıkla değişimini göreceli olarak belirtmek için tanımlanmıştır. Ham petrolünden elde edilen ve sıcaklık değişimiyle viskozitesi az değişen parafinik yağların viskozite indeksi 100, sıcaklık değişimiyle viskozitesi çok değişen naftanik yağların viskozite indeksi 0 olarak tanımlanmıştır. Diğer yağların viskozitelerinin sıcaklıkla değişimi bu referans yağlara göre VI ile belirlenir. Viskozite indeksi 100°C deki kinematik viskoziteleri aynı olan yağlar için tanımlanır ve referans yağlar ile viskozite indeksi bilinmeyen yağın 40°C deki kinematik viskozite değerleri kullanılarak Dean ve Davis eşitliği ile hesaplanır.

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

YAĞLAMA

L : viskozite indeksi düşük (VI=0) olan yağın kinematik viskozitesi
H : viskozite indeksi yüksek (VI=100) olan yağın kinematik viskozitesi
U : viskozite indeksi bilinmeyen yağın kinematik viskozitesi

Burada kinematik viskozite değerleri 40°C deki değerler olarak alınmalıdır. 100°C deki kinematik viskozite değerleri aynı olan madeni yağlar için 40°C de, viskozite indeksi en yüksek (VI=100) olan yağın kinematik viskozitesi, H, ve viskozite indeksi en düşük (VI=0) olan yağın kinematik viskozitesi, L, Çizelge.5 de verilmiştir. Burada 100°C deki kinematik viskozite değerleri 2 eSt dan 70 cSt kadar verilmiştir. Verilen değerler arasında interpolasyon yapılabilir ve 70 eSt dan büyük değerler için

$$I = 0.8353 Y^2 + 14.67 Y - 216$$

$$II = 0.1684 Y^2 + 11.85 Y - 97$$

eşitlikleri kullanılır.

40°C deki viskozitesi II değerinden küçük olan bazı sentetik yağların VI değeri 100 den fazladır. Bu sınıflar için VI, 100°C deki kinematik viskozite değeri, Y, ile yeni bir parametre, N, tanımlanarak hesaplanır.

$$N = (\log II - \log U) / \log Y$$

$$VI = 100 + 140x(\log - 1 N - 1)$$

Çizelge.5- H ve L kinematik Viskozite (eSt) Değerleri (AS TM D 2270)

100 °C de	40 °C de		100 °C de	40 °C de	
	L	H		L	H
2,00	7,994	6,394	27.0	84 7,0	360,5
3,00	15,49	12,15	28.0	904,1	380.6
4,00	25,32	19,56	29.0	963,4	401,1
5,00	40,23	28,49	30.0	1023	421,7
6,00	57,97	38.19	32.0	1151	464,9
7,00	78,00	48.57	34.0	1286	509,0
8,00	100,0	59,60	36.0	1427	555,6
9,00	123,3	71,10	38.0	1575	603,1
10,0	147,7	82,87	40.0	1730	651,8
11,0	173,9	95,19	42.0	1892	701,9
12,0	201,9	108.0	44.0	2064	754,4
13,0	231,9	121.5	46.0	2243	808,2
14,0	263,3	135.4	48.0	2426	863.0
15,0	296,5	149,7	50.0	26.18	919.6
16,0	331,9	164.6	52.0	2817	977,5
17,0	369,4	180.2	54.0	3020	1036
18,0	408.6	196,2	56.0	3233	1097
19,0	449,9	212.7	58,0	3452	1159
20,0	493,2	229.5	60.0	3676	1222
21,0	538.4	247,1	62.0	3908	1286
22,0	585.2	264.9	64.0	4147	1352
23,0	633,6	283,3	66.0	4392	1419
24,0	683.9	301.8	68.0	4645	1488
25,0	736,5	320.9	70.0	4905	1558
26,0	790,4	340.5			

Örnek : 100°C deki kinematik viskozitesi 10 cSt ve 40°C deki kinematik viskozitesi 110 cSt olan yağın viskozite indeksinin bulunması :

Çizelge.5 den 100°C de 10eSt yağ için II = 82.87 eSt ve I. = 147.7 cSt bulunur ve

$$VI = \frac{147.7 - 110}{147.7 - 82.87} \times 110 = 58$$

olarak hesaplanır.

YAĞLAMA

Viskozite-Basınç Bağlamışı

Çuk yüksek Hertz temas basıncının (100 MI'a ve daha yüksek) oluştuğu yuvarlanma elemanh yataklar ve dişliler gibi uygulamalarda viskozite basınç ile de değişir. Viskozitelerin basınç ile değişimi

$$\mu = \mu_0 e^{ap}$$

ile verilir. Burada μ_0 atmosfer basıncındaki viskozite, p (Pa) basınç ve *abasınc-viskozite katsayısı*

$$a = (0,6 + 0,965 \log \mu_0) 10^8$$

olarak alınır. Bu eşitlikte μ_0 (eP = mPa.s) alınarak a(1/Pa) olarak bulunur.

Katkılar

Yağların özelliklerini geliştirmek ve yeni özellikler kazandırmak amacıyla eklenen kimyasal maddeler katık olarak tanımlanır. Oksitlenmeyi önleyici, reaksiyon önleyici, korozyon önleyici, viskozite indeksini yükseltici, aşınmayı azaltıcı, yüksek basınç taşıyıcı (EP), yapışkanlık verici, köpük önleyici, emülsiyon yapıcı, donma noktasını düşürücü vb. katıklar kullanılır.

3. YAĞLARIN SINIFLANDIRILMASI

Endüstride makinelerin çok değişik çalışma koşullarında yağlanması için değişik özellikleri olan madeni yağlar gerekmektedir. Yağların sınırlandırılması kinematik viskozite değerleri temel alınarak yapılmaktadır. Günümüze kadar bir çok kuruluş tarafından yağların sınıflandırılması yapılmıştır. Ancak tüm mühendislik kuruluşları tarafından kabul edilebilen ortak bir sınıflandırmaya endüstrileşmenin başlangıcında geçilememiş olması bugün oklukça büyük karışıklığa neden olmaktadır.

ISO Sistemi

ISO (International Standards Organization) yağ sınıflandırma sisteminde, yağların 40°C deki cSt (mm²/s) cinsinden kinematik viskozite değerleri temel alınmıştır. Viskozite numarası (yağ sınıflandırma numarası) VG (Viscosity Grade) harfleri ile ifade edilir ve bir önceki yağ sınıflandırma numarasından %50 artırılarak elde edilen sayının standard sayıya yuvarlanması ile elde edilmiştir. Örneğin : 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100 ve bu sayıların onluk katları, iler viskozite numarası belli bir bölgedeki viskozite değerlerinin orta değeridir. Bu bölge orta viskozite değerinin %10 değişimi ile belirlenir. Bu sınıflandırma sisteminin özelliği viskozitenin 40°C de verilmesidir. Diğer sıcaklıklardaki viskozite, hidrokarbon yapısı, katık oranı, özel uygulamalar için uygunluğu gibi yağ kalitesini belirten diğer özellikleri için hiç bir bilgi verilmez. Bu sınıflandırma sistemi ASTM (American Society for Testing and Materials) ve ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından da kabul edilmiştir. Şekil.2 de ISO VG yağlarının dinamik viskozitelerinin sıcaklığa göre değişimi verilmiştir. 40°C deki kinematik viskozite eksenine yağ yoğunluğu 900 kg/m³ alınarak bulunmuş ve ISO VG numaralarında bu değerler temel alınmıştır.

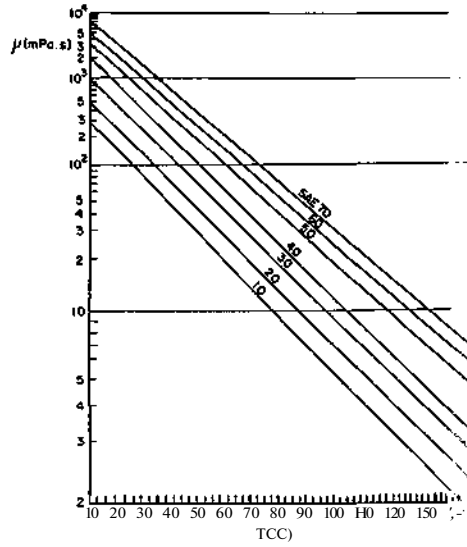
AGMA Sistemi

AGMA (American Gear Manufacturers Association) yağ sınıflandırma sistemi 1981 de ISO sınıflandırma sistemine göre yenilenmiştir. Bu sınıflandırmada viskozite bölgeleri aynı olmakla birlikte kullanılan sınıflandırma numaraları 1 den 9 a kadar değişmektedir. Şekil.2 de AGMA numaralı yağların sıcaklıkla değişimi verilmiştir.

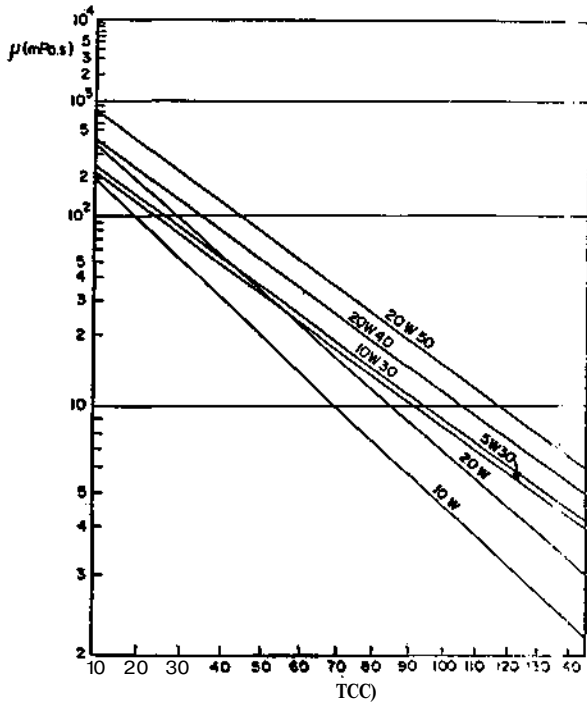
SAE Sistemi

SAE (Society of Automotive Engineers) yağ sınıflandırma sisteminde yağlar karter ve dişli (otomotif transmisyon) yağları olmak üzere kullanıldıkları yere göre iki ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Bu sistemde sınıflandırma 210°F (99°C) deki. W (Winter) harfi ile olanlar için ise 0°F (-18°C) deki viskozite değeri temel alınarak yapılmıştır, viskozitenin ISO sistemine göre farklı sıcaklıkta verilmesi nedeni ile yağ numaraları tam uyumsuz. Şekil.3 de SAE yağ sınıflarının, Şekil.4 de ise alçak sıcaklık yağlarının sıcaklığa göre değişimleri verilmiştir. Şekil.2 de SAE yağ numaraları 218°F (99°C) de gösterilmiştir.

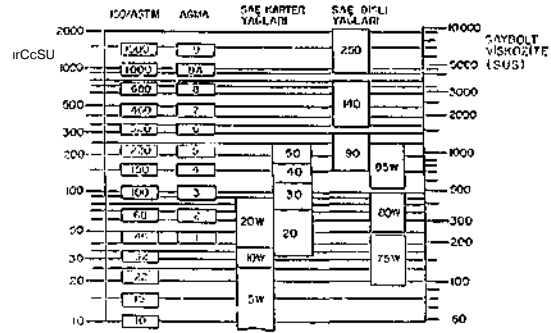
YAĞLAMA



ŞekiU - SAE yağları ve visko/.ite-sıcaklık değışimi



Şekil.4- SAE multi-visko/.ile yağları ve viskozite-sıcaklık değışimi



*jckil.5- Yağ sınıflandırma sistemlerinin karşılaştırılması

YAĞLAMA VE YATAKLAR

Çizelge.6 Gres Türlerinin Özellikleri

Kalınlaştırıcı sabun	Temel yağ	Çalışma sıcaklığı (°C)	Damlama noktası (°C)
Lityum sabunu	Madeni yağ	-20/60	170-190
	üsler yağı	-50/120	170-190
	Silikon yağı	-50/160	170-190
Kalsiyum sabunu	Madeni yağ	-20/60	70-90
Kalsiyum kompleks sabunu	Madeni yağ	-30/150	260
Sodyum sabunu	Madeni yağ	-20/120	170-190
Sodyum kompleks sabunu	Madeni yağ	-20/130	260
Alüminyum sabunu	Madeni yağ	-20/70	66-104
Alüminyum kompleks sabunu	Madeni yağ	-40/150	260
Baryum sabunu	Madeni yağ	-20/150	190
Baryum kompleks sabunu	üsler yağı	-60/130	190
Karışık sabunlu (Na+Ca,Na+Al,Li+Ca. Li+Na,vb.)	Madeni yağ	-20/80	160-190
Sabunsuz gresler	Madeni yağ	-10/150	240
	Sentetik yağ	-10/250	240

Gres türünün seliminde kıvam (konsistans), çalışımı sıcaklığı ve gresin suya karşı dayanıklılığı göz önünde tutulmalıdır. Gresin yumşaklığı kıvam (konsistans) sayısı ile belirlenir (IMN 51804. 51818 ve ASTM D217). Kıvam, gresin dışardan etki eden kuvvet ile şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Bu direnç boyutu ve ağırlığı belirli bir koninin gres içimle batma derinliği (penalrasyontı) ile ölçülür ve 0.1 mm nin katları olarak *kıvam sayısı* ile gösterilir. Gres kıvamı Amerika'da NLGI (National Lubricating Greases Insitule) tarafından 000 dan (akışkan halde), 0 (yumuşak gres). 6 ya (katı gres) kadar sınırlandırılmıştır ve bu numaralar kıvam sayılarına karşılık olarak kullanılır. Çizelge.7 de 77°1' (25°C) deki kıvam sayılarına karşılık eşdeğer NLGI numaralan verilmiştir. Greslerin kıvamı gresin yapıldığı temel yağın cinsi ve viskozitesine, kalınlaştırıcı olarak kullanılan madde- nin cinsine ve miktarına ve imalat yöntemine bağlıdır.

Çizelge.7- NLGI Numaraları ve ASTM Kıvam Sayıları

NLGI Numarası	Kıvam Sayısı
000	475-445
00	430-400
0	385-355
1	340-310
2	295-365
3	250-220
4	205-175
5	130-160
6	85-115

YAĞLAMA

Gresler Newton akışkan yasasına uymayan yağlayanlardır. Kayma gerilmesi belirli x_0 değerini aştığı zaman kaymaya başlar. Kayma gerilmesi ile kayma yününe dik yöndeki hız gradyanı (kayma oranı), du/dn , arasındaki bağıntı

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \frac{du}{dn} \quad \tau > \tau_0 \quad \text{için}$$

şeklinde verilir. Burada T_p plastik viskozitedir ve gres içindeki kalınlaştırıcı maddenin miktarı ile değişir. Bu tür akışkanlar *Bingham akışkanı* olarak tanımlanır.

4. YAĞLAYANIN SEÇİMİ

Genelde çalışma ortam sıcaklığı sıvı yağlayanlar için çok yüksek ise, uzun ve sürekli çalışma isteniyorsa, yağ yenileme yapılmadan en iyi çözüm katı yağlayıcılardır. Soğulma bir sorun değilse, sızdırmazlık için yeterli önlem yoksa ya da yüzeyler kirli bir ortamda çalışıyorsa gres kullanılmalıdır.

Tasarımcıya ilk aşamada yol göstermek amacıyla Şekil.6 da ortalama yatak basıncı ve kayma hızına bağlı olarak katı (kuru), gres ve sıvı yağlayanlar için emniyetli çalışma bölgeleri tanımlanmıştır (2). burada belirtilen sınırlar yatak tipine, çalışma sıcaklığı ve ömrüne göre geniş bir band oluşturmaktadır. Özellikle sıvı yağlayıcılar için çalışma sıcaklığında gerekli yağ viskozitesinin doğru seçildiği kabul edilmiştir.

Yağ seçimi

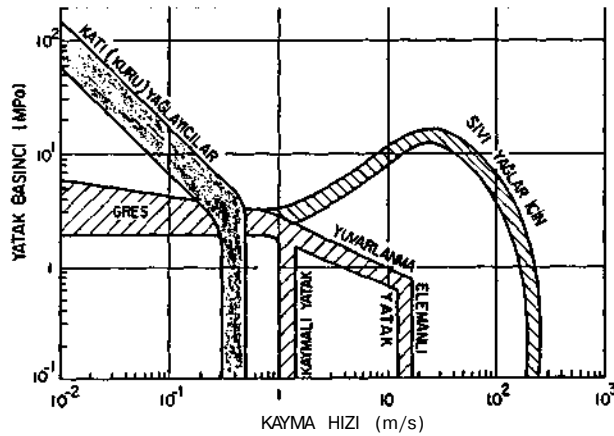
Kullanılacak yağ viskozitesinin doğru olarak seçimi makinanın performansı için çok önemlidir. Çalışma sıcaklığında viskozite ne çok yüksek, ne de çok düşük olmalıdır. Viskozitenin çok yüksek olması durumunda yük altında kayma hareketi olan yüzeyler arasında sürtünme artacağı için güç kaybı artar ve buna bağlı olarak yüzey sıcaklığı artabilir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise yüzeyler arasında yeterli kalınlıkta yağ filmi oluşamayacağı için yük taşıma elde edilemez ve yağlamadan beklenen işlev yerine getirilemez.

Yük taşıyan kaymalı yataklarda yeterli bir film kalınlığı elde edilebilmesi için yatağın çalışma sıcaklığında gerekli minimum yağ viskozitesi, μ_{min} , Şekil.7 de yüzey kayma hızına, U ve ortalama yatak basıncına, P, bağlı olarak verilmiştir (2). Burada

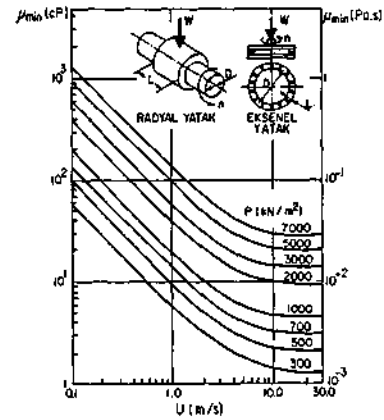
$$\begin{aligned} U &= \pi D n \\ P &= W/LD && \text{radyal yataklar için} \\ p &= 0.4 W/LD && \text{eksenel yataklar için} \end{aligned}$$

n (d/dak) mil dönme hızı, L yatak boyu (eksenel yataklar için lokma genişliği) ve D yatak çapı (eksenel yataklar

için ortalama çap olarak alınmalıdır. Eksene! yataklar için minimum yağ viskozitesi $\mu_{min}(D/L)$ dir. Bu şekil yardımı ile bulunacak viskozite yaklaşık bir değer olup yatak geometrisi ve çalışma koşullarına göre seçilen yağ ile ısı denge hesabı ile ortalama sıcaklıktaki visko/ile değeri kontrol edilmelidir.



Şekil.6- Çeşitli yağlayanlar için hız ve yük sınırları (2)



Şekil.7- Kaymalı yataklar için gerekli en az yağ viskoziteleri (2)

YATAKLAR

1. YATAKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Yatakların temel işlevi makinalarda hareketli ve sabit parçalar arasında yük iletimini sağlamak ve bu parçaları birbirine göre sabit bir konumda tutmaktır. Bu işlevi yerine getirmek üzere çalışma koşullarına bağlı olarak yüzeyler arasındaki hareket tipine göre farklı çalışma ilkeleri olan iki yatak çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar yatak parçaları arasında kayma hareketi olan *kaymalı yalıklar* ve yatak parçaları arasında yuvarlanma elemanlarının yerleştirilmesi ile oluşan *yuvarlanma elemanlı yalıklarda*. Kaymalı yataklar da yüzeyler arasındaki yağlama tipine göre sınıflandırılırlar. Kuru ve sınır yağlama koşullarında çalışan yataklar *sürtünmeli yalıklar*, yüzeyler arasında kalın bir yağ tabakası oluşumu ile çalışan yataklar *hidrodinamik ve hidrositalik yataklar* olarak tanımlanır.

Yalıklar uygulanan yükün yönüne göre de sınıflandırılabilir. Mil eksenine dik yöndeki (yanal) kuvvetleri karşılayan yataklar *radyal yalıklar*, mil eksenine paralel kuvvetleri karşılayan yataklar *eksenel yalıklar* ve düz bir çizgi üzerinde ileri-geri (git-gel) hareketi yaparak yük taşıyan yataklar *doğrusal (linear, kılavuz kayıt) yataklar* olarak sınıflandırılır. Kaymalı ve yuvarlanma elemanlı yataklar kendi aralarında uygulanan yük yönüne göre de alt sınıflara ayrılabilir.

2. YATAK SEÇME İLKELERİ

Genellikle tasarımın ilk aşamasında kullanılacak yatak çeşitleri arasında bir seçim yapmak gereklidir. Bu aşamada tasarımcının en genel hatları ile kullanılacak yatak çeşidini verecek yönlendirici bilgilere gereksinimi vardır. Yatak çeşidi belirlendikten sonra bu yatak için istenilen koşullar sağlayacak ayrıntılı bir hesap yapılmalıdır.

Yataklardan hangisinin hangi koşullarda kullanılması gerektiğinin belirlenmesi için birçok parametrenin karşılaştırılması olarak incelenmesi gereklidir. Bu parametreler şöyle sıralanabilir :

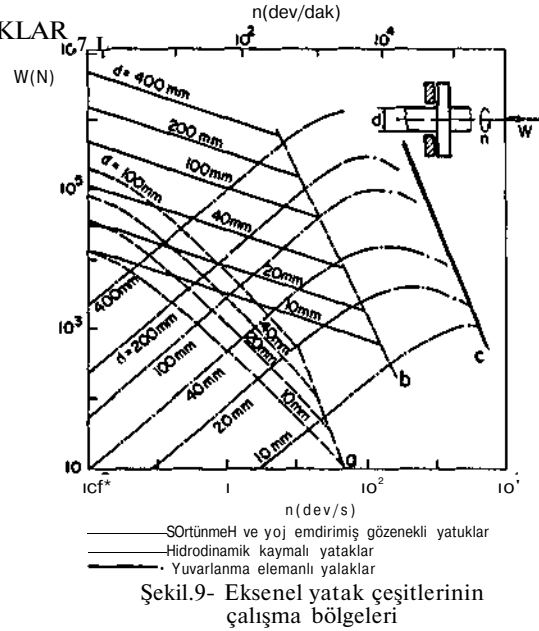
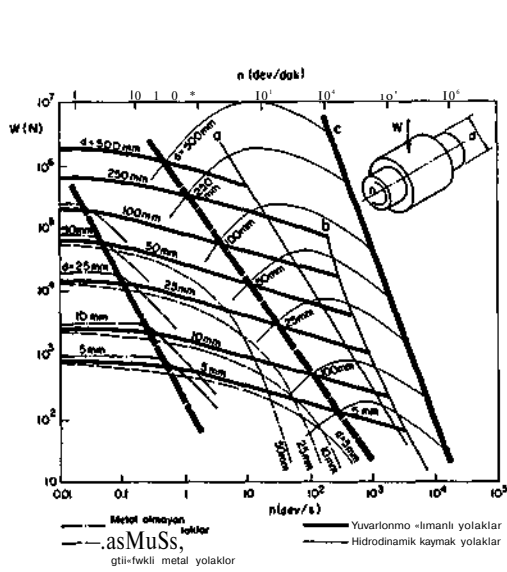
1. Yük-hız karakteristiği
2. Sürtünme momenti (çifti)
3. Konum ve çalışma duyarlılığı
4. Yer durumu
5. Maliyet
6. Diğer özel çalışma koşulları.

Yük-Hız Karakteristiği

Bir yatağın temel işlevi yüzeylerin yük altında birbirine göre hareket etmesini sağlamak olduğuna göre uygulanabilecek yük ile hız arasındaki ilişkinin incelenmesi yatak seçiminde en önemli bir ölçüttür. **Tasarımcıyı ilk** aşamada yatak seçiminde yönlendirmek amacıyla yük-hız diyagramları hazırlanmıştır. Bu diyagramlar ile tasarımcı yük ve hız parametrelerinin hangi yatak çeşidine uygun olduğunu ve çalışma sulularını aşır aşmadığını kolaylıkla denetler. Genellikle verilen bir tasarım probleminde uygulanacak yük ve çalışma hızı bilinir ve kullanılması gereken en uygun yatak çeşidinin belirlenmesi istenir. Birçok durumda en küçük yatak çapı, mil üzerine uygulanan yükler ile mukavemet, eğilme vb. ölçütler gözününc alınarak hesaplanan mil çapı olarak alınır.

Şekil.8 de dört çeşit radyal yatağın çeşitli çalışma hızlarında ve çaplarında taşıyabileceği yük değerleri verilmiştir (3). Bu diyagramlar oda sıcaklığında 10 000 çalışına saati için verilmiştir. Yuvarlanma elemanlı yataklar hariç, diğer yataklar için yatak boyu çapma eşit olarak alınmıştır. Hidrodinamik yataklar için orta viskozitede madeni yağ kullanıldığı kabul edilmiştir.

Şekil.8 de diyagram yukarıdan aşağıya eğik kalın çizgilerle üç bölgeye ayrılmıştır. Hızın düşük olduğu birinci bölgede metal olmayan, yağ emdirilmiş gözenekli metal yataklar ve yuvarlanma elemanlı yataklar kullanılabilir. İkinci bölgedeki hızlarda sürtünmeli yatakların (metal olmayan ve yağ emdirilmiş gözenekli metal yatakların) çalışması sıcaklık ile sınırlanmaktadır. Standart (normal) yuvarlanma elemanlı yatakların hız sınırı "a" çizgisi ile gösterilmiştir. Gaz türbinlerinde kullanılan özel imal edilmiş yalıkların hız sınırları daha yüksek olup sınır "b" çizgisi ile gösterilmiştir. Üçüncü bölge temel olarak hidrodinamik kaymalı yalıkların çalıştığı bölge olmakla birlikte bir bölümünde de yuvarlanma elemanlı yataklar kullanılabilir. Hidrodinamik yatakların yük kapasitesi hız ile artar. Ancak belli bir hızdan sonra sıcaklığın etkisiyle viskozitenin düşmesi nedeniyle yük kapasitesi düşer. Yatakların kullanılacakları en yüksek hız çelik malzemenin merkezkaç kuvvetinin etkisiyle dağılması (patlaması) ile sınırlanmaktadır. Bu sınır şekil üzerinde "c" çizgisi ile gösterilmiştir.



Aynı şekilde eksenel yatakların hız ve çapa bağlı olarak yük taşıma kapasiteleri Şekil.9 da verilmiştir (4). Yuvarlanma elemanlı yatakların aynı çap için yük taşıma kapasiteleri ve erişebilecekleri hız sürtünmeli ve yağ emdirilmiş gözenekli metal yataklara göre daha yüksektir. Sürtünmeli ve yağ emdirilmiş gözenekli metal yatakların hız sınırı "a" çizgisi ile, standart yuvarlanma elemanlı yatakların hız sınırı "b" ile gösterilmiştir. Hidrodinamik eksenel yatakların yük kapasiteleri diğer yatak çeşitlerinin tersine hız ile artmakta ve yine çelik malzemenin merkezkaç kuvvetlerin etkisi ile dağılması (patlaması) ile sınırlanmaktadır ("c" çizgisi).

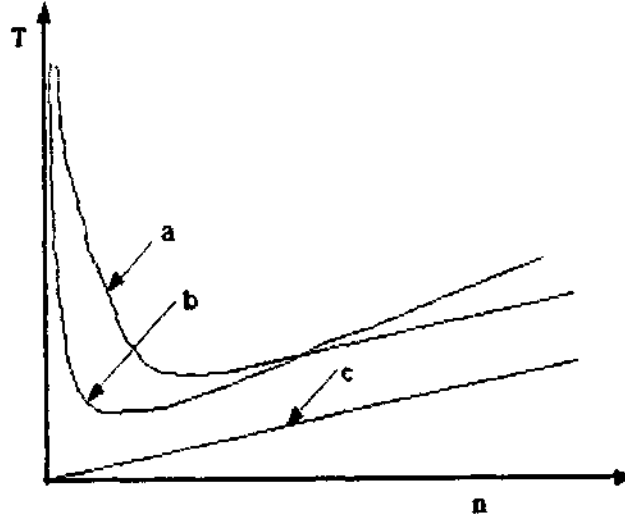
Bu eğriler genellikle karşılaşılan mühendislik uygulamaları ve kolaylıkla bulunabilen malzemeler için verilmiştir. Daha yüksek yük kapasiteleri ve çalışma hızları veya daha küçük mil çapları standart üstü mühendislik uygulamalarında (yüksek teknoloji tasarım ve yapımında) özel malzemelerle elde edilebilir. Genel bir kural olarak, düşük hızlarda hidrodinamik basıncın yeterli bir yük taşıma sağlayamadığı durumlarda sürtünmeli yataklar kullanılır. Yuvarlanma elemanlı yataklar düşük hızlarda, kaymalı yataklar ise yüksek hızlarda tercih edilir. Mil çapı arttıkça yuvarlanma elemanlı yataktan kaymalı yatağa geçiş daha düşük hızlarda olur. Dıştan basınçlı (hidrostatik) yataklar uygun bir tasarım ile tüm yük ve hız değerlerinde kullanılabilir.

Bu diyagramlar genel olarak düşük hız, orta hız ve yüksek hız olmak üzere üç bölümden oluşur. Sürtünmeli yataklar esas olarak düşük hız bölgesinde kullanılır. Yağ emdirilmiş gözenekli metal yataklar ile hız sınırı artırılabilir. Yuvarlanma elemanlı yataklar hemen hemen tüm hız bölgelerinde kullanılabilir. Ancak erişilebilecek en yüksek hız mil çapına bağlı olarak sınırlanmaktadır. Gaz türbinleri için özel imal edilmiş bilyalı yatakların hız sınırını, standart imal edilmiş olan yataklardan daha yüksektir. Hidrodinamik kaymalı yataklar düşük hız bölgelerinde yeterli yağ film kalınlığı oluşmaması nedeni ile genellikle yük-hız eğrisinin en yüksek olduğu bölgede kullanılır. Bu yatakların çalışma hızı, yağ film kararsızlığı ya da çelik milin yüksek hızda merkezkaç kuvvetin etkisiyle dağılması ile sınırlanmaktadır.

Sürtünme Momenti (Çifti)

Tüm yataklar sürtünmeden dolayı güç kaybına neden olurlar. Bu güç kaybı sürtünme momenti ile belirlenir. Hidrodinamik yatakların zayıf yanı, çalışma başlangıcında mil ve yatak yüzeylerinde metalin metale sürtünmesidir. Yağ filmi oluşumundan sonra sürtünme azalmakta fakat çok yüksek hızlarda tekrar artmaktadır. Bunun nedeni de yüksek hızlarda sıcaklığın artmasıyla yağın viskozitesinin düşmesi ve film kalınlığının azalmasıdır. Hidrostatik yataklarda sürtünme kayma hızı ile doğru orantılı olduğundan çok küçük hızlarda pratik olarak sürtünme sıfırdır. Yüksek hızlarda da diğer yatak çeşitlerine göre en az sürtünme elde edilir. Yuvarlanma elemanlı yataklarda sınır yağlama koşullarının oluştuğu çok düşük hızlarda sürtünme katsayısı yüksektir. Hız artmasıyla karışık yağlama oluşur ve sürtünme azalır. Ancak, hızın artması ile elastohidrostatik yağlama koşulları oluşur ve sürtünme hız ile tekrar artar. Sürtünme katsayısı yuvarlanan malzemelerin histerezis özelliği nedeniyle belirli bir değerden daha küçük olamaz. Yatak çeşitleri için sürtünme momentinin karşılaştırmalı olarak hızla göre değişimi Şekil. 10 da verilmiştir. Burada "a" hidrodinamik, "b" yuvarlanma elemanlı ve "c" hidrostatik yataklar göstermektedir.

YATAKLAR



Şekil. 10- Sürtünme- momentinin (türkünün) l/a göre değişimi

Konum ve Çulumu Duyarlılığı

Milin çalışma duyarlılığı, kullanılan yatağın çeşidine ve geometrisine bağlıdır. Yuvarlanma elemanlı yataklar ile milin duyarlı bir şekilde konumlanması mümkündür. Ancak yatağın geometrik yapım hataları nedeniyle milin bu konum çevresindeki çalışması sırasında titreşim hareketi oluşur. Ön yüklemeli yuvarlanma elemanlı yataklar ile milin çalışmada duyarlı bir şekilde konumlanması ve titreşimlerinin önlenmesi mümkündür. Ancak ön yüklemeye ile yatağın sürtünme katsayısı artmakla ve temas bölgesindeki gerilmeler arttığı için de yatağın ömrü azalmaktadır.

Hidrodinamik yataklarda inilin yatak boşluğu içindeki konumu çalışma parametrelerinden bir veya birkaçının değişmesiyle kolaylıkla değişir. Ancak, bu konumda yük kalın bir yağ tabakası ile taşındığından yüzeylerde herhangi bir geometrik hata olmaması durumunda mil ekseninde bir titreşim oluşmaz. Milin yatak içindeki konumuna göre yatak direngenliği değişmektedir. Genellikle yatak direngenliği merkezden kaçıklık oranının 0-0,5 arasındaki değerlerinde çok düşüktür. Bu nedenle direngenliği artırmak için daha yüksek merkezden kaçıklık oranlarında tasarım yapılmalıdır.

Sürtülmeli yataklarda yapım toleransları yeteri kadar dar ise aşınmanın çok az olduğu ilk çalışma süresinde milin çalışma duyarlılığı oldukça iyidir. Ancak bu yataklarda düşük hızlarda tutuklu kayma (yapış-kay) hareketi nedeni ile titreşimler oluşabilir.

Yer Durumu

Yataklar için gereken yerin belirlenmesinde dış çap (d_o), u/unluk (I) ve yük taşıma kapasitesinin (W) mil çapına (d) oranlarının karşılaştırılması faydalıdır. Bu oranlar çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilmekle birlikte uygulamadaki tipik radyal yataklar için yaklaşık olarak aşağıdaki değerler verilir:

	Sürtülmeli Yatak	Kalın Yağ Tabakalı Yatak	Yuvarlanma Elemanlı Yatak
d_o/d	1,15	13	2,0
L/d	1,0	13	0,6
W/d	0,75	10	0,5

Maliyet

Yatakların kendi maliyeti ile birlikte, yatağın kullanılacağı makinanın yapım ve işletme maliyeti (bakım, değiştirme ve arızanın neden olacağı maliyet) de düşünülmelidir. Yapım yöntemi ve istenilen duyarlılık makinanın maliyetini belirler. Bu nedenle makinaı oluşturan parçalardaki şekil ve konum toleransları önemlidir. Yuvarlanma elemanlı yatakların yerleştirileceği mil ve yuvanın ince toleranslarla işlenmesi gerektiğinden maliyet yüksektir. Hidrostatik yataklardaki kalın yağ tabakası yatak yüzeylerindeki geometrik hataların etkisini azaltır.

YATAKLAR

Bakım maliyeti yağlama tipine, yatak ömrüne ve değiştirme maliyetine (parça, işçilik ve makinanın çalışma süresi kaybı) bağlıdır. Genellikle, gres ile yağlanmış yuvailanma elemanlı yataklar ve kendinden yağlamalı sürtünmeli yataklar en az bakım gerektiren yataklardır.

Tasarım, birçok tasanın parametreleri arasında en uygun çözümü verecek bir uzlaşma noktası bulmaktır. Genellikle yukarıda verilen yatak seçim parametrelerinin tümünün göz önüne alınması gerekirken bazı durumlarda bunlardan sadece biri ya da birkaçının sağlanması yeterli olabilir ve sadece bu parametrelere bağlı olarak yatak seçimi yapılabilir. Örneğin, yüksek hızda çalışma yamsıra düşük başlangıç ve çalışma momenti gerektiren bir uygulamada hidrostatik (dıştan basınçlı) yatak en uygun çözümdür.

3. KAYMALI YATAKLAR

Hidrodinamik Yağlama Teorisi

Hidrodinamik yağlamanın matematiksel teorisi Osborne Reynolds tarafından 1886 yılında geliştirilmiştir. Reynolds hidrodinamik yağlamayı birbirine göre kayan yüzeylere yapışan yağın yüzeyler arasında daralan bölgeye sıkıştırılması sonundaki basınç artışı ile açıklamıştır. Yağlama teorisinin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılır.

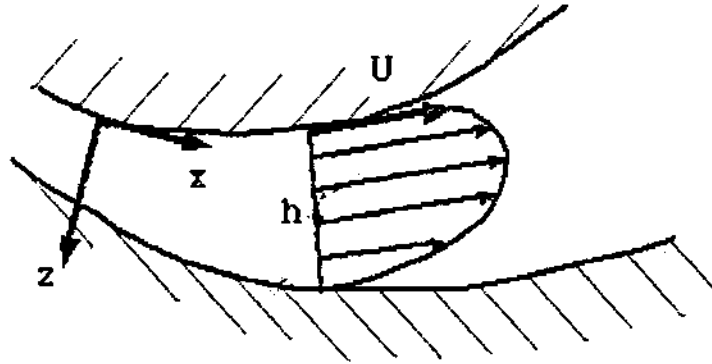
- Yağ tabakasının kalınlığının yatağın nominal ölçülerine göre çok küçük olması nedeni ile yatak yüzeylerinin eğriliği ihmal edilir.
- Yüzeylerle temas eden yağ elemanları yüzeye yapışır ve yağ ile yüzeyler arasında kayma yoktur.
- Yağ akışı lamincıdır.
- Yağ akışı Newton viskozite kuralına uyar.
- Yağ sıkıştırılmayan akışkan olarak kabul edilir.
- Yağın eylemsizlik kuvvetleri viskoz kuvvetler yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- Yağ viskozitesi yatak içinde sabit kabul edilir.
- Yağ tabakasının kalınlığının çok küçük olması nedeni ile yağ basıncının yağ tabakası aralığında değişimi yoktur.

Şekil.1.1 de gösterildiği gibi herhangi bir (x) konumunda (x) yönünde (U) hızı ile hareket eden yüzey ile sabit yüzey arasında (h) film kalınlığında akışkan hız dağılımı

$$U(z) = \frac{1}{2H} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} z(z-h) + \left(1 - \frac{z}{h}\right) U \quad (D)$$

olarak verilir. Bu (x) konumundaki hız denkleminin yağ filmi kalınlığına integrali (x) yönündeki birim derinlikteki debiyi verir:

$$q_x = \int_0^h U(z) dz = -\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{h}{2} U \quad (2)$$



Şekil...! 1- Kayan yüzeyler arasında yağ hızı dağılımı

YATAKLAR

y yönünde (eksenel yönde) yüzeyler arasında kayına hızı olmadığından biz dağılımı $V(z)$ ve debi q , sadece basınç değişimine bağlı olarak benzer şekilde yazılabilir.

$$V(z) = \frac{1}{12 \mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} z(z-h) \quad , \quad q_y = \int_0^h V(z) dz = -\frac{h^3}{12 \mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3)$$

Debilerin süreklilik denkleminde

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

yerine koyularak eşitliğin yeniden düzenlenmesi ile

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{12 \mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h^3}{12 \mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{11}{2} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5)$$

elde edilir. Bu diferansiyel denklem *Reynolds denklemi* olarak adlandırılır. Yüzeyler arasındaki film kalınlığı $h(x,y)$, yüzey kayına hızı U ve yağın viskozitesi biliniyor ise yüzeyler arasında olunacak basınç dağılımı $V(x,y)$ yağın yatak sınırlarındaki basınç değerleri de kullanılarak çözülebilir.

4. RADYAL YATAKLAR

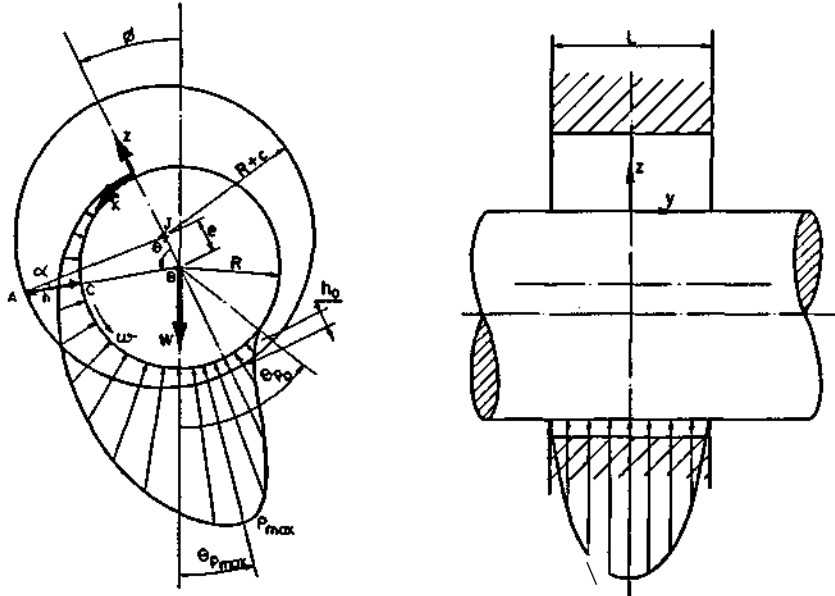
Hidrodinamik basınç oluşumu için muylu ile yatak birbirine boşluklu geçine yapılır. Yatak yarıçapı, $U+e$, ile mil yarıçapı, R , arasındaki fark *radyal (yançapsal) boşluk*, e , olarak tanımlanır ve genellikle *yatak boşluk oranı (bağlı yatak boşluğu)* $e/R = 10^{-4}$ mertebesinde alınır. Yatak boşluğuna yağ genelde, yüklemenin olmadığı taraftaki bir delikten ya da aksenal kanaldan sağlanır. Yük, W , altında muylu dönmediği zaman muylu ile yatak yüzeyi arasında metal teması oluşur. Muylunun dönmesi ile birlikte mil yatak yüzeyi üzerinde yuvarlanarak yükselmeye başlar ve yükün temas noktasında yüzeye paralel bileşeninin melalin-metale sürtünme kuvvetine eriştiği noktada mil yatak yüzeyinde geriye doğru kaymaya başlar. Mil ile yatak arasında dönme yönünde oluşan daralan boşlukta yağ sıkışarak, basıncı artırır. Daralan boşluktan geçen yağ miktarı genişleyen boşluktaki hacmi dolduramaz ve basınç düşerek yatak kenarlarından atmosfer basıncındaki hava yatak içine girer. Milin dönme yönünde genişleyen yatak bölgesinde oluşan bu hava boşluğuna *kavilasyon bölgesi* denir. Çalışma koşullarının sabit tutulduğu durumda, mil ekseni yatağın düşük basınç olan bölümünde, mil etrafındaki basınç dağılımının uygulanan yükü dengelediği belirli bir konumda çalışmaya devam eder. Böylelikle, Şekil. 12 de gösterildiği gibi yatak merkezi ile mil merkezi arasında oluşan uzaklık *merkezden kaçıklık (eksantrisite)* (e) veya *eksantrisite oranı (bağlı eksantrisite)* ($e=e/c$) ile tanımlanır.

Muylu ile yatak yüzeyi arasında herhangi bir B konumundaki yağ film kalınlığı h , A, B üçgeni yardımı ile bulunabilir.

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \overline{Al} \cos a + \overline{JB} \cos 0 \\ \overline{AB} &= h + R \quad , \quad \overline{AJ} = R + C \quad , \quad \overline{JB} = e \text{ ve } e/R = 10^{-4} \text{ olması nedeni ile } a \approx 0^\circ \\ h &= c + e \cos \alpha \end{aligned} \quad (6)$$

olarak bulunur. Şekil.12 den de görüleceği gibi *en ince yağ kalınlığı* $h_0 = c-e$. merkezler doğrusu üzerinde yüklenmiş bölgede oluşur. *Bağlı en ince yağ kalınlığı* $h_0/c = 1-f$ olarak tanımlanır.

YATAKLAR



a. Radyal basınç dağılımı

b. Aksel basınç dağılımı

Sekil. 12- Radyal kaymalı yatak geometrisi ve basınç dağılımı

Reynolds denkleminin ilk analitik çözümü 1904 yılında Sommerfeld tarafından sonsuz uzunluktaki radyal yataklar için eklenmiştir. Bu çözümde dönme yönünde daralan yağ film bölgesinde pozitif basınç elde edilirken genişleyen film bölgesinde negatif basınç elde edilir. Pratik geçerliliği olmayan bu çözüm ancak teorik çalışmalar açısından önemlidir.

Reynolds denkleminin sonlu genişlikteki yataklar için tam çözümü ise 1950 li yıllarda bilgisayar yardımı ile sayısal yöntemler kullanılarak elde edilmiş ve sonuçlar Raimondi ve Boyd tarafından boyutsuz yatak performans parametrelerinin boyutsuz tasarım parametrelerine göre değişimleri grafik olarak verilmiştir. Bu grafiklerin tümü boyutsuz parametreler ile verildiğinden farklı çalışma koşullarında ve geometrideki tüm radyal yataklar için kullanılabilir.

Tasarımcının doğrudan kontrol edebileceği yatak geometrisi (R, L, c) ve çalışma koşulları [$W, N(d/s), \mu$] ile ilgili parametrelere *tasarım parametreleri* veya *bağımsız parametreler* denir. Yatak geometrisi tanımlanmış ve çalışma koşulları belirlenmiş bir yatağın performansını belirleyen eksantrisite (e), en az film kalınlığı (h_0), en az film kalınlığının konumu (θ_p), sürtünme katsayısı (f), yağlama için gerekli yağ miktarı (Q), yatak kenarlarından dışarı çıkan yağ miktarı (Q_s), maksimum yağ basıncı (P_{max}) ve konumu (θ_{pmax}), yağ filminin sona erdiği konum (θ_{p0}), yağ sıcaklık artışı (ΔT) ise *performans parametreleri* olarak tanımlanır. Bu parametreler üzerinde tasarımcının doğrudan kontrolü yoktur. Ancak tasarım parametrelerini değiştirilerek performans parametreleri değiştirilebilir. Bu nedenle bu parametrelere *bağımlı parametreler* de denir.

Bu parametrelerin boyutsuz şekilleri aşağıda verilmiştir.

Boyutsuz tasarım parametreleri :

$$\text{Sommerfeld sayısı ya da boyutsuz yük sayısı} \quad : \quad S = \frac{\mu N}{P} \left(\frac{R}{c} \right)^2$$

$$\text{Yatak boy-çap oranı} \quad : \quad L/l$$

Boyutsuz performans parametreleri :

$$\text{Minimum film kalınlığı oranı} \quad : \quad h_0/c$$

$$\text{Minimum film kalınlığının konumu} \quad : \quad \theta$$

$$\text{Sürtünme katsayısı faktörü} \quad : \quad \frac{f}{L} l$$

YATAKLAR

Debi faktörü değişkeni	:	$Q / Re NL$
Dışarı akan yağ debi oranı	:	Q_s/Q
Maksimum yağ basıncı oranı	:	l' / P_{maks}
Yağ tabakasının sona erdiği konum	:	θ_{D_0}
Maksimum yağ basıncı konumu	:	öhuaks
Sıcaklık artış değişkeni	:	$\rho C [AT/P]$

Bu tanımlarda.

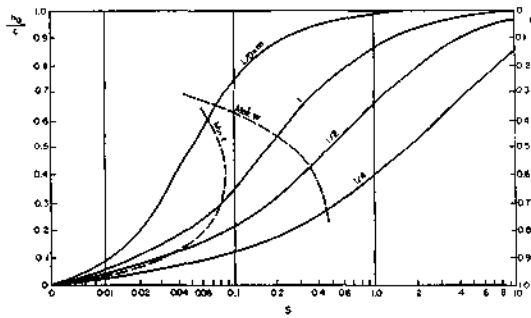
Yatak ortalama basıncı	:	$P = W / LD$
mil hızı	:	$N (d/s)$
yağ yoğunluğu	:	$\rho = 860 \text{ kg / m}^3$
yağ özgül ısısı	:	$C_H = 1760 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

olarak alınır.

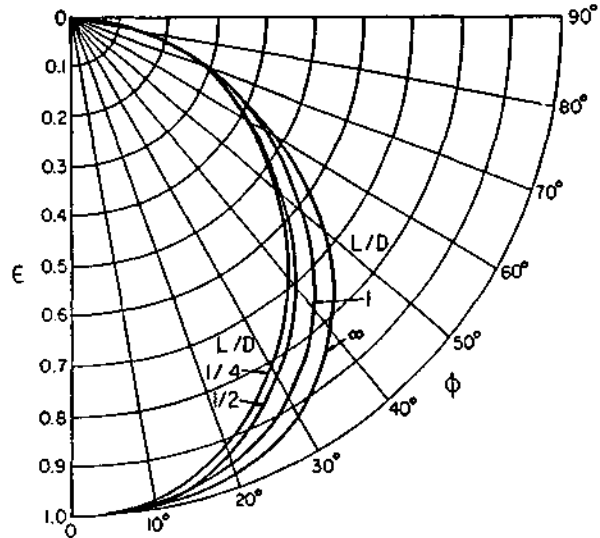
Boyutsuz performans parametrelerinin boyutsuz tasarım parametrelerine göre değişimleri Şekil.13-21 de verilmiştir (5). Bu şekillerde yatay eksen (S ekseni) logaritmik olup yalnızca 0,0-0,01 arası doğrusaldır. Performans parametreleri şekillerde L/D oranının 1/4, 1/2, 1 ve ∞ değerleri için verilmiştir. Bu değerlerden farklı L/D oranları için interpolasyon yöntemi kullanılır. Herhangi bir performans parametresinin ara bir L/D için değeri

$$y = \frac{1}{(IVD)^3} \left[-\frac{1}{8} \left(1 - \frac{L}{D}\right) \left(1 - 2 \frac{L}{D}\right) \left(1 - 4 \frac{L}{D}\right) y_1 + \frac{1}{3} \left(1 - 2 \frac{L}{D}\right) \left(1 - 4 \frac{L}{D}\right) y_1 \right. \\ \left. - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{L}{D}\right) \right] \quad (7)$$

olarak verilir. Burada y , $y_{1/2}$ ve $y_{1/4}$ sözkonusu performans parametresinin $L/D = \infty$, 1, 1/2 ve 1/4 oranlarındaki aynı S sayısı için değerleridir.

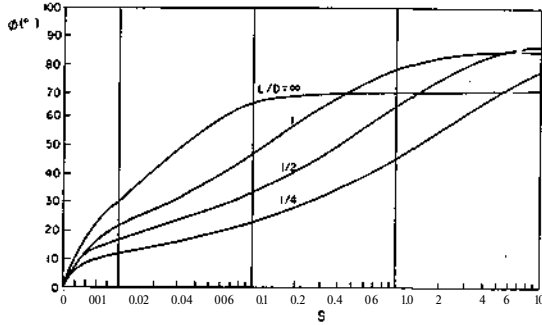


Şekil. 13- Mil merkezinin yatak boşluğundaki yörüngesi

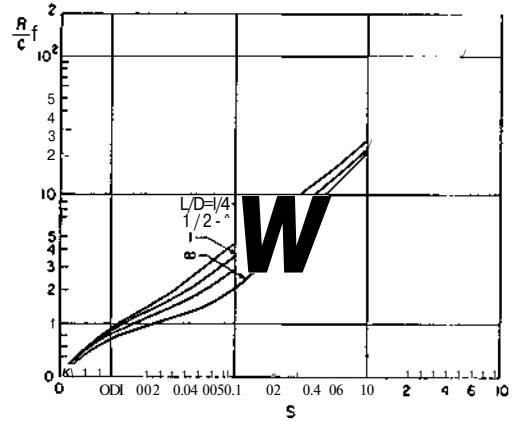


Şekil. 14- En ince yağ kalınlığı ve eksantrisite oranının değişimi

YATAKLAR



Şekil.15- En ince yağ kalınlığı konumunun değişimi



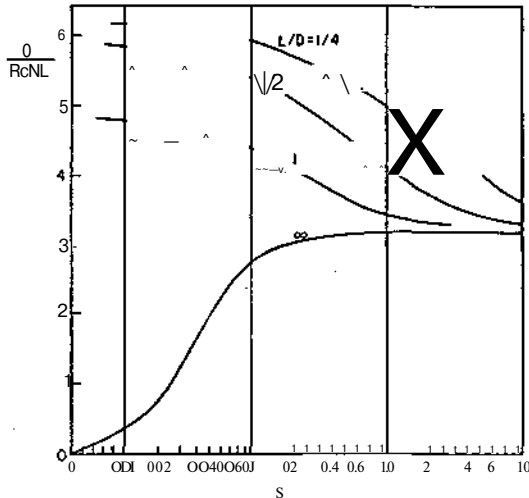
Şekil. 16- Sürtünme katsayısı faktörü

Çalışma Sıcaklığı ve Viskozitenin Belirlenmesi

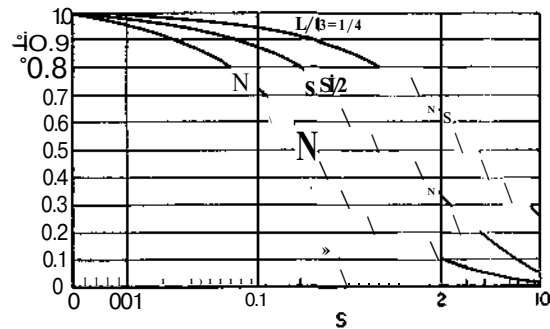
Performans parametrelerinin tümü şekillerde tasarım parametrelerine (S, L/D) bağlı olarak verilmiştir. Bu nedenle ilk önce tasarım parametreleri belirlenmelidir. Sommerfeld sayısının hesaplanmasında çalışma sıcaklığındaki viskozite gereklidir. Ancak ilk hesaplamada yağ ortalama sıcaklığı bilinmediği için yağ giriş sıcaklığı (T_{in}) üzerinde tahmini bir ortalama sıcaklığa karşılık $\mu - T$ eğrisinden μ değeri alınarak S sayısı hesaplanır. Bu S değeri ve L/D değeri kullanılarak Şekil.21 den sıcaklık artışı hesaplanır ve ortalama yağ sıcaklığı

$$T_{on} = T_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (8)$$

olarak alınır. Kabul edilen μ değerine karşılık bulunan bu ortalama sıcaklık $\mu - T$ (Şekil.4) grafiği üzerinde bir nokta olarak işaretlenir. Bu nokta kullanılan yağın çizgisinin üzerinde ya da altında olabilir. Bu durumda ikinci bir tahminde bulunmak gerekir. Eğer bu nokta $\mu - T$ çizgisinin üzerinde ise daha düşük bir μ değeri, $\mu - T$ çizgisinin altında ise daha yüksek bir μ değeri seçilerek işlem tekrarlanır ve $|I - T$ grafiği üzerine ikinci bir nokta olarak işaretlenir. Birisi $\mu - T$ çizgisi üzerinde diğeri altında olmak üzere bulunan iki nokta bir doğru ile birleştirilerek $\mu - T$ çizgisini kestiği noktadaki n ve T gerçek ortalama yağ viskozitesi ve sıcaklığı olarak alınır. $\mu - T$ değişiminin doğrusal olmaması nedeniyle bu çözüm tam doğru olmayabilir. Bu nedenle bulunan çözümün bir kez daha kontrol edilmesi gereklidir. Birinci ve ikinci tahminlerde bulunan noktalar ne kadar $\mu - T$ çizgisine yakın ise keşiştirme ile bulunan noktadaki değerler de o derece gerçek değere yakın olacaktır.



Şekil. 17- Debi faktörünün değişimi



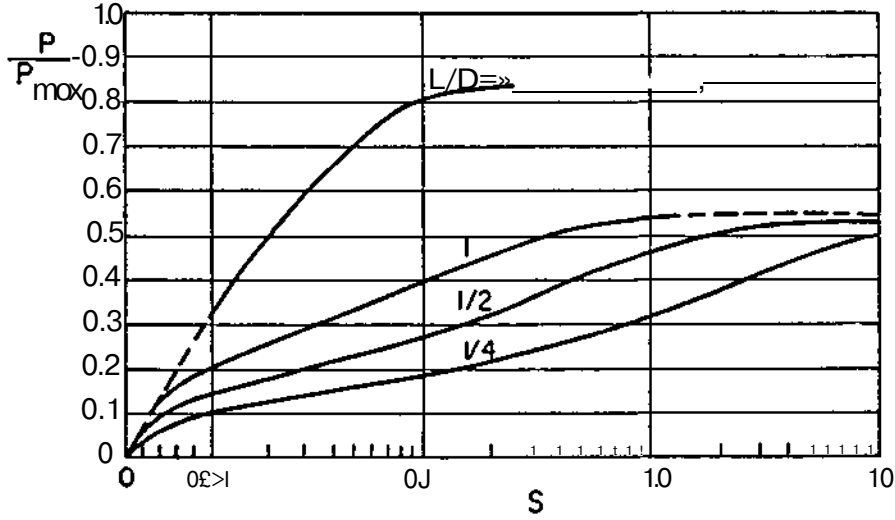
Şekil. 18- Dışarı akan yağ debi oranı

YATAKLAR

Çevresel Yağ Kanallı Yataklar

Bazı çalışma koşullarında yatak içindeki hidrotlinamik yağ akımı yatakla oluşan ısıyı, $11 = 1W (N/2\pi) R$, taşımak için yeterli olmayabilir. Bu durumda yalağın sıcaklığını düşürmek için yatağın ortasına yaklaşık 3-5 mm genişliğinde ve derinliğinde *çevresel yağ kanalı* açılır. Bu kanala yüksek basınçta (l 's) yağ gönderilerek yataktan eksenel yönde dışarı akan yağ miktar artırılır ve böylelikle yağ sıcaklık arlısı düşürülebilir.

Yağ kanal derinliği yatak boşluğuna göre çok büyük olduğundan bu bölgede hidrodinamik basınç oluşmaz. Bu nedenle genişliği L olan iki yatakta birbirinin aynı basınç dağılımları oluşur.



Şekil. 19- Maksimum yağ basınç oranı

Yatak eksenî yönünde birim genişlik için debî (3) numaralı denklem ile verilmiştir. Eksenel yönde sabit yağ kalınlığı nedeni ile basınç lineer olarak değişir ve $dp/dx = -\rho \omega L$ alınır. Bu durumda yalağın iki tarafında tüm çevresinden akan yağ debîsi yaklaşık olarak

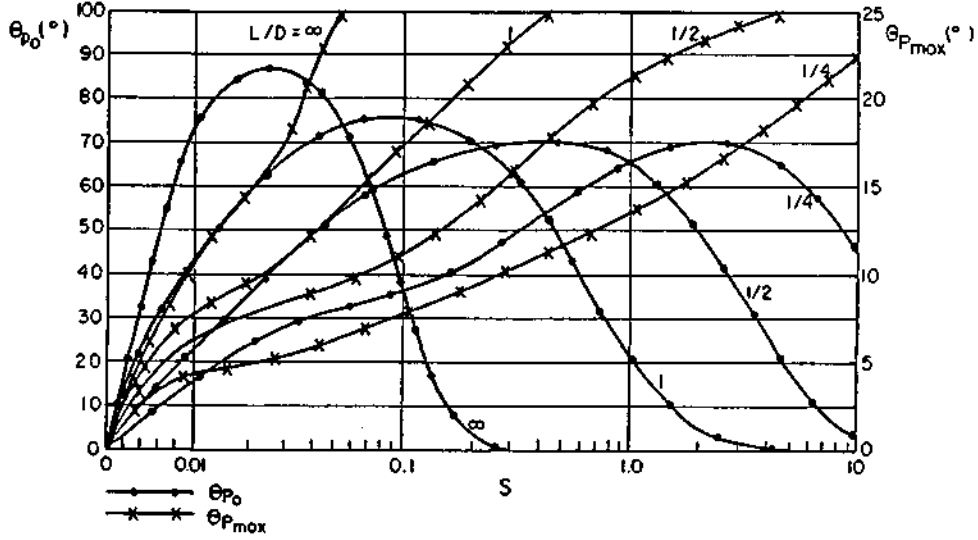
$$Q_i = \int_0^L \rho \omega R dx = \frac{\rho \omega R c}{3\mu} (1 + 1.5 E^2) \quad (9)$$

bulunur. Yağ sıcaklık arlısı ise

$$\Delta t = \frac{11}{\rho C_p} = \frac{1.5 \left(\frac{R}{c} \right) \cdot S \cdot W}{\rho C_p L}, R^4 (1 + 1.5 E^2) \quad (10)$$

olarak elde edilir. Burada $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$; $C_p = 1760 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$; W , Nesvton; l 's, Pa ve R , m olarak alınmalıdır. Verilen bir yatak geometrisi ve giriş sıcaklığı için tahmini bir l 's alınır ve S sayısı hesaplanarak (R/c) faktörü Şekil.19'dan bulunur. (10) numaralı denklemlen sıcaklık arlısı ve (S) numaralı denklemden T_o n hesaplanır. Tahmin edilen ile hesaplanan sıcaklıklar arasındaki fark kabul edilebilir bir küçüklüğe erişinceye kadar hesap tekrarlanarak çalışma sıcaklığı bulunur.

YATAKLAR



Şekil.20- Yağ basıncının sona erdiği ve maksimuma eriştiği konumlar

Gövde İçinde Yağlamalı Yataklar

Endüstride bir çok uygulamada yatak gövdesi içindeki bir bölümde yağ depolanan yataklar kullanılır. Yağ banyosu, bilezik ile yağlama ya da fitil ile yağlama gibi yöntemler kullanılarak gövde içinde yağlama yapılabilir. Böylece yatak ve yağlama sistemi aynı gövde içine yerleştirilir.

Yatak içinde sürtünme nedeni ile oluşan ısı yağ akımı ile gövde içindeki depoya taşınır. Yatak gövdesinden iletkenlik yolu ile gövde yüzeyine ve oradan da çevreye konveksiyon ve radyasyon yolu ile iletilir. Sürekli çalışma koşullarında ısı akımı denge denklemi

$$\dot{Q} = f WR (2\pi N) = h_c A (T_H - T_A) \quad (11)$$

olarak verilir. Burada

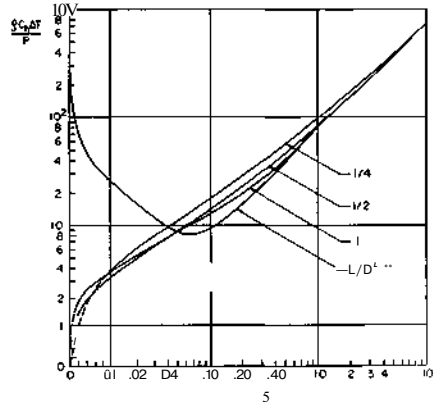
h_c : konveksiyon katsayısı

T_H : yuva dış yüzey ortalama sıcaklığı

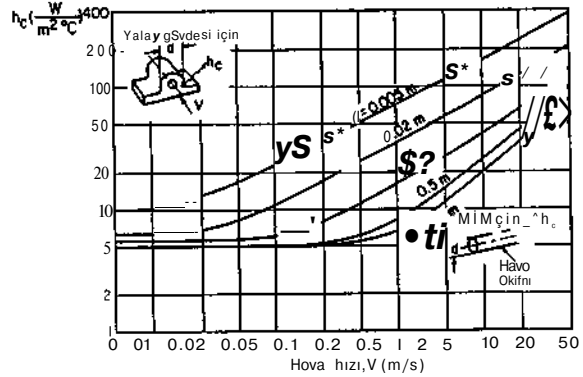
A : yatak yuvasının dış yüzey alanı

T_A : çevre (ortam) sıcaklığı

Konveksiyon katsayısı Şekil.22 de yatak gövdesinin ortalama dış çapına (d) ve gövde etrafındaki hava hızına (V) bağlı olarak verilmiştir (2). Isı akımı denge koşulu nedeniyle yatak sıcaklığı-gövde yüzey sıcaklığı farkı ile gövde yüzey sıcaklığı-çevre farkı arasında bir ilişki doğmaktadır. Bu ilişki Şekil.23 de gövde içindeki yağlama yöntemine ve gövde etrafındaki hava hareketine bağlı olarak verilmiştir (6). Burada "a" sınırları gövde etrafında durgun hava "b" sınırları ise hava akımı olması durumu için geçerlidir.



Şekil.21- Sıcaklık artış değişkeni



Şekil.22- Yatak gövdesi üzerindeki konveksiyon katsayısı (2).

YATAKLAR

Yatak ve yağlama sistemi aynı gövde içinde olan yataklarda yağ giriş sıcaklığı ortalama gövde sıcaklığı olarak alınır. Tasarımın ilk aşamasında gövde sıcaklığı bilinmediği için tahmini bir değer alınarak yatak içindeki ortalama yağ sıcaklığı yukarıda belirtilen yöntemle bulunur ve yatak içinde oluşan ısı hesaplanır. Gövde geometrisi ve çevre koşulları yardımı ile (11) numaralı ısı akımı denge denkleminde T_u hesaplanır. Hesaplanan ve tahmin edilen T_H değerleri arasındaki fark kabul edilebilir bir değere düşüncüye kadar bu hesap tekrarlanır. Şekil.23 den ise (TB-TA) ve (TH-TA) değerleri girilerek çevre koşullarına uygun yağlama sistemi seçilebilir.

Eğer yağlama sistemi ve çevre koşulları biliniyor ise gövde sıcaklığı tahmin edilerek Şekil.23den bulunan TB değerine göre (11) numaralı ısı akımı denge denkleminde T_H değeri hesaplanır. Hesaplanan ve tahmin edilen değerler arasındaki fark kabul edilebilir bir değere düşüncüye kadar bu hesap tekrarlanır.

Radial Yatak Tasarım İlkeleri

Sommerfeld sayısı radyal yatak boşluğunun karesi ile ters orantılıdır. Bu nedenle yatak tasarım parametrelerinden radyal boşluk ,yatak performansını belirleyen en önemli parametredir. Yatak tasarımında izlenmesi gereken aşamalar şöyle sıralanabilir:

1. Mil çapı genellikle mil tasarımında mukavemet hesaplarından bulunur.
2. Yatak boyu, milin yük altında elastik esnemesi sonucu oluşan eğim düşünülerek seçilmelidir. Genellikle başlangıç değeri olarak $L/D = 0,5$ alınarak yatak boyu bulunur.
3. Yatak ortalama basıncı ve mil yüzeyi kayma hızı yardımı ile Şekil.7 den ortalama yatak sıcaklığındaki gerekli en az yağ viskozitesi bulunur.
4. Yağ giriş sıcaklığından daha yüksek bir yağ ortalama sıcaklığı tahmin edilir .Şekil 2,1 ya da 4 yardımı ile kullanılması gerekli en yakın yağ numarası seçilir.
5. Bu seçilen yağ için yatak performans parametrelerinin yatak boşluğunun çeşitli değerlerine göre değişim eğrileri aynı düşey eksen üzerine çizilir.
6. Genellikle yağın kirliliğinin, duruş ve kalkışların neden olacağı aşınma düşünülerek en ince yağ kalınlığı eğrisinin maksimum noktasının sol tarafında bir Hölge en uygun (optimum) yatak boşluğu olarak seçilir. Mil ve yatak yüzeyi imalat kalitesine uygun olarak belirlenecek toleransların oluşturacağı maksimum ve minimum yatak boşluğu en uygun yatak boşluğu bölgesi içinde olmalıdır. Seçilen yatak boşluğu için diğer performans parametrelerinin istenilen değerleri sağladığı kontrol edilmelidir.
7. Bu yöntem sonucunda elde edilen en ince yağ kalınlığı yeteri kadar kalın değilse
 - daha kaim bir yağ seçilerek ya da,
 - L/D oranı artırılarak ya da,
 - D artırılarak

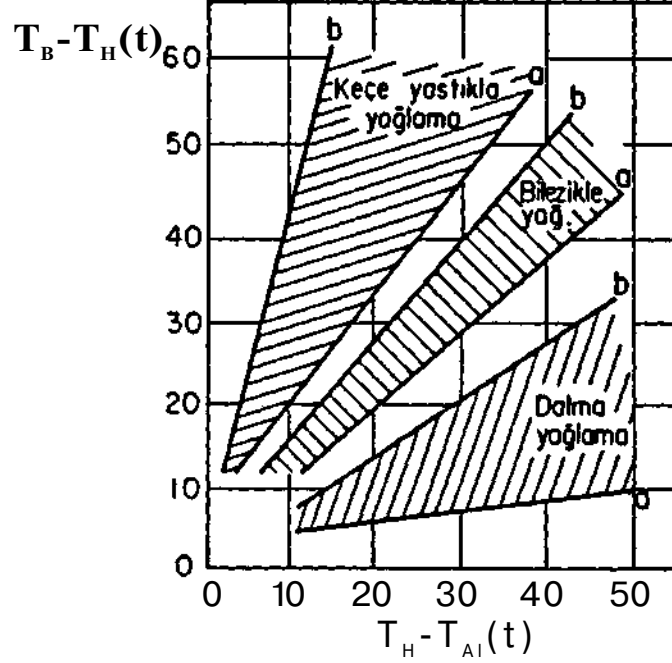
istenilen koşullar sağlanıncaya kadar başa dönülerek tasarım tekrarlanır.

Hidrodinamik kaymalı yatak tasarımında aşağıdaki diğer faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır :

1. Yüksüz bölgeden yatağa giren yağın tüm yatak eksenini boyunca dağılımı sağlanmalıdır. Bunun için yağ deliği yeterli olmuyorsa yağ kanalı açılmalıdır.
2. Kullanılan yağ yeteri kadar temiz olmalıdır. Yağın içindeki sert maddelerin boyutları en ince yağ film kalınlığından daha küçük olmalıdır.
3. Yağ giriş sıcaklığının doğru olarak bilinmesi gereklidir. Yağ giriş sıcaklığının yüksek olması durumunda, yük taşımak için yeterli hidrodinamik basınç oluşumu sağlanamayabilir.
4. Maksimum yağ sıcaklığının yaklaşık 90°C altında olmasına dikkat edilmelidir.
5. Yatak içindeki en ince yağ kalınlığı (hu), kayma sırasında yüzey pürüzlülüklerinin tepelerinin birbirine sürtünmesini önleyecek kadar büyük olmalıdır. Yüzeylerde sürtünme olmadan hidrodinamik basınç oluşumu için gerekli en ince yağ kalınlığı, yatak ve muylu yüzey pürüzlülüklerinin toplamının yaklaşık 7-10 katı olarak verilir. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça en ince yağ kalınlığı da artırılmalıdır . ince taşlanmış yatak ve muylu yüzeyleri için en ince yağ kılınalığı 3-5 µ m alınabilir.
6. Kaymalı yataklarda $E < 0.6$ değerinde yağ film direngenliği ve sönümleme katsayıları genellikle küçük olduğundan yatakta kararsız çalışmaya neden olur. Bu nedenle tasarım $e > 0,6$ olacak şekilde yapılmalıdır.

YATAKLAR

7. Sürtünme katsayısı mümkün olduğunca küçük olmalıdır.
8. Mil ve yatak yuvasındaki esnemeler ve yatak eksenleri arasındaki kaçıklıklar önlenmelidir. Özellikle L/D oranının 1 den büyük değerlerinde, yatak performansı aşırı derecede etkilenebilir.
9. Mil yük altında çalışmaya başlamadan önce ve çalışma bitiminde yatak yüzeyine oturacağı için yatak malzemesi seçiminde malzeme dayanımı, kalkış ve duruştaki sürtünme özellikleri göz önüne alınmalıdır.



Şekil.23- Gövde içinde yağlamalı yatakların sıcaklık artışları ($\langle S \rangle$).

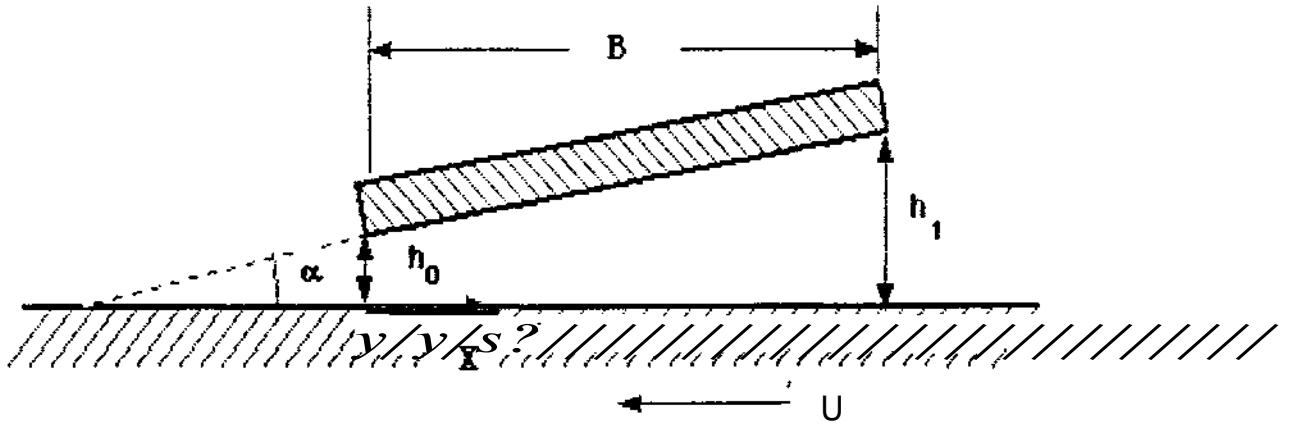
5. EKSENEL YATAKLAR

Eksenel yataklar temelde birden fazla eğik düzlem yatak yüzeyinin birbiri ardısıra yerleştirilmesi ile oluşur. Kayan yüzey ile eğik düzlem yüzeyleri arasında kayma yönünde daralan yağ filmlerinin oluşturulması ile hidrodinamik basınç dağılımı elde edilir.

Eğik Düzlem Yataklar

Şekil.24 de kayma yönündeki uzunluğu B ve dik yönde sonsuz genişlikteki ($L = \infty$) bir eğik yüzeyli yatak için Reynolds denkleminin tek boyutlu çözümü ile elde edilen basınç dağılımı çeşitli eğimler için Şekil.25 de verilmiştir (6). Burada *boyutsuz basınç* $P = \rho h^2 / 6\mu UB$ ve *bağlı eğim* $m = (h_1 - h_2) / h_0$ olarak tanımlanmıştır. Şekilden de görüleceği gibi yatak bağılı eğimini artırmak ile basınç dağılımı ilk önce artmakta ve sonradan azalmaktadır. Bu nedenle en fazla yük taşıma yaklaşık $m = 1,18$ değerinde elde edilmektedir.

YATAKLAR



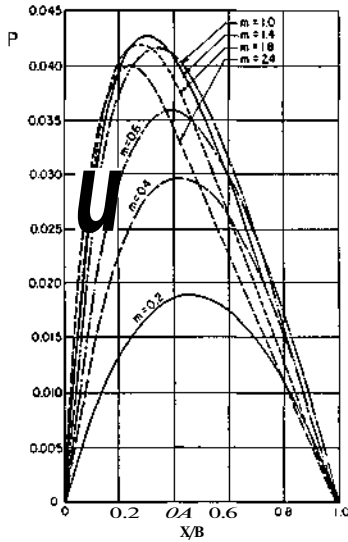
Şekil.24- Eğik düzlem yatak geometrisi

Genişliği L olan sonlu bir eğik yüzeyli yatağa, yağ yanlardan akacağı için basınç dağılımı düşer. Şekil.26 da sonlu bir yataktaki basınç dağılımı gösterilmektedir. Reynolds denkleminin iki boyutlu çözümü ile elde edilen basınç dağılımının yatak yüzeyinde integrasyonu ile eğik yüzeyli yatağın yük kapasitesi elde edilir. Şekil.27 de boyutsuz yük kapasitesi ve sürtünme katsayısı faktörünün IJB ile m değerine göre değişimi verilmiştir (7).

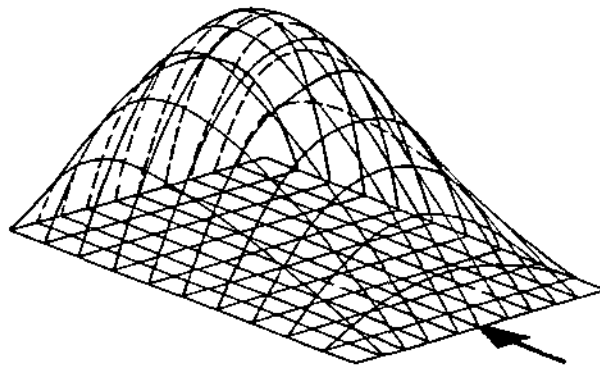
Burada

$$6 W^* = \frac{w/L}{\mu U} \left(\frac{h_0}{B} \right)^2$$

olarak tanımlanmıştır.



Şekil.25- Eğik yüzeyli sonsuz genişlikteki yataкта basınç dağılımı



Şekil.26- Eğik yüzeyli yataklarda basınç dağılımı (Sonlu yatak) (6)

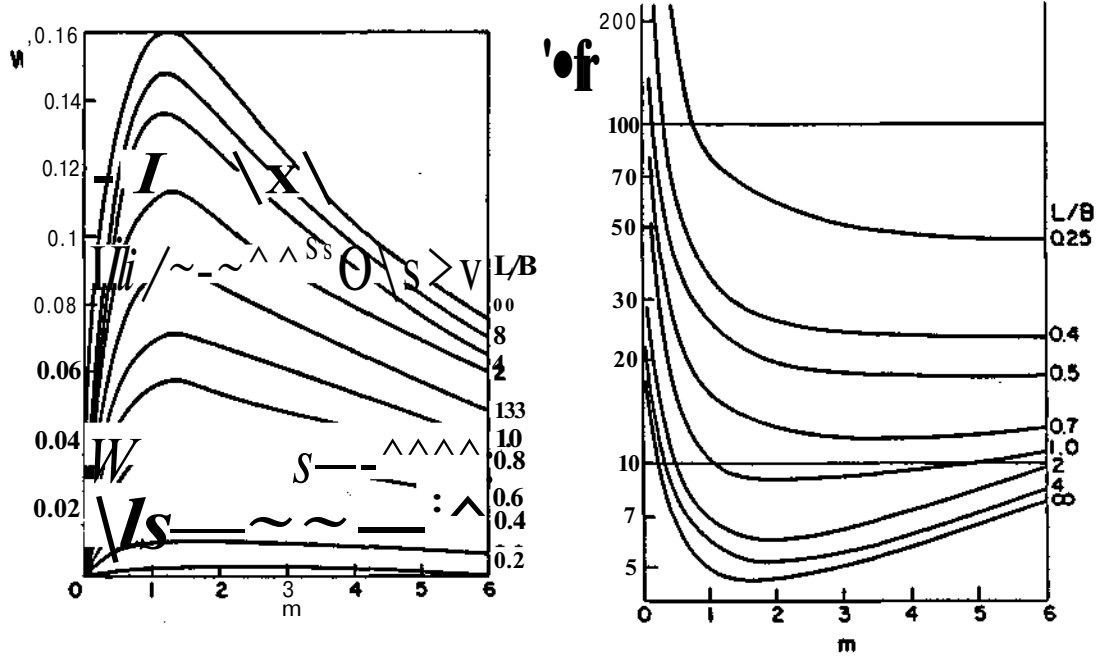
Lokmalı Yataklar

Bu yataklar dış ve iç kenarları R_1 ve R_2 yarıçaplı daireler üzerine yerleştirilmiş, ortalama yarıçapı $R_0 = (R_1 + R_2)/2$, üzerindeki uzunluğu B olan eğik düzlemlerden oluşan daire kesmeleridir. Eğik düzlemler kayan

YATAKLAR

yüzey ile kayma yönünde daralan yağ kalınlığı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir. Yağ, lokmalar arasındaki radyal yağ kanallarından lokmaların girişine gönderilir. Lokmalı yataklar Şekil.28 de gösterildiği gibi *sabit lokmalı (sabit eğimli)* ve *değişken eğimli (oynak)* olabilir.

Reynolds denkleminin kutupsal koordinat sistemine göre yazılması ve sayısal yöntemlerle çözümü ile lokmalar üzerinde oluşan basınç dağılımı Raimondi ve Boyd tarafından elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda boyutsuz performans parametrelerinin boyutsuz tasarım parametrelerine göre değişimleri grafikler halinde verilmiştir.



a. boyutsuz yük kapasitesi

b. Sürtünme katsayısı faktörü

Şekil.27- Eğik yüzeyli yatakların performans parametreleri

Sabit Lokmalı Yataklar

Sabit lokmalı yataklarda tasarım parametreleri :

- Lokma sayısı
- Ortalama yarıçap
- Lokma genişliği
- Ortalama yarıçaplı çember üzerinde uzunluk
- Eğim
- Ortalama yatak basıncı
- Ortalama kayma hızı

Boyutsuz tasarım parametreleri :

- Lokma genişlik-uzunluk oranı

Boyutsuz yük sayısı

- : n
- : $R_o = (R_1 + R_2) / 2$
- : $L = R_1 - R_2$
- : B
- : $a = (h - h_0) / B$
- : $p = W / n LB$
- : $U = 2 \pi n R_o$

: L/B

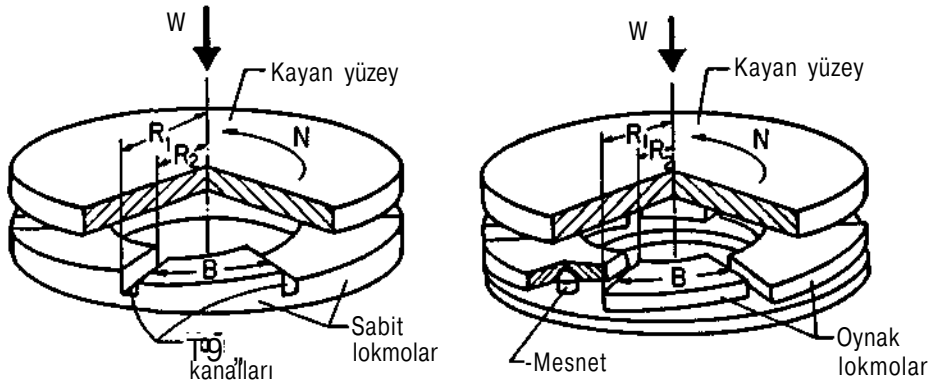
$$: K_f = \frac{L}{c t^2 p B} = \frac{\mu U n L B^2}{W (h - h_0)^2}$$

YATAKLAR

Şekil.29 da boyutsuz performans parametrelerinin değişimleri verilmiştir (8).

Bunlar:

Bağıl en ince yağ kalınlığı	: h_0/oB
Sürtünme faktörü	: f/a
Debi değişkeni	: $Q/BLUa$
Dışarı akan yağ debi oranı	: Q_2/Q
Sıcaklık artış değişkeni	: $p C_H AT/p$



a. Sabit eğimli

b. Değişken eğimli

Şekil.28- Lokmalı (Eksenel kaymalı) yataklar

Örnek : Çalışma koşulları verilen eksenel kaymalı yatak için kullanılacak yağı belirleyiniz. $W/n = 1780 \text{ N}$, $U = 30,5 \text{ m/s}$, $B = L = 25 \text{ mm}$. $ot = 0.001 \text{ rad}$, $T_{in} = 70^\circ \text{C}$, $pC_H = 1.36 \times 10^6 \text{ N/m}^3 \text{C}$

Verilen değerlerden

$$\frac{L}{B} = 1, \quad p = \frac{W/n}{LB} = \frac{1780}{25 \times 25} = 2,85 \text{ MPa}$$

$$K_f = \frac{1}{a^2} \cdot \frac{\mu U}{pB} = \frac{1}{10^6} \cdot \frac{\mu \times 10^3 \times 30,5}{2,85 \times 10^6 \times 25 \times 10^{-3}} = \frac{\mu}{2,334}$$

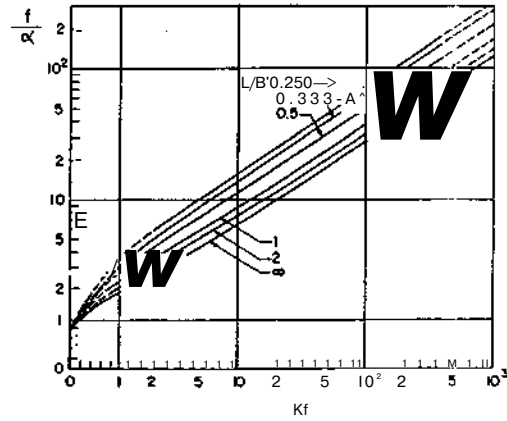
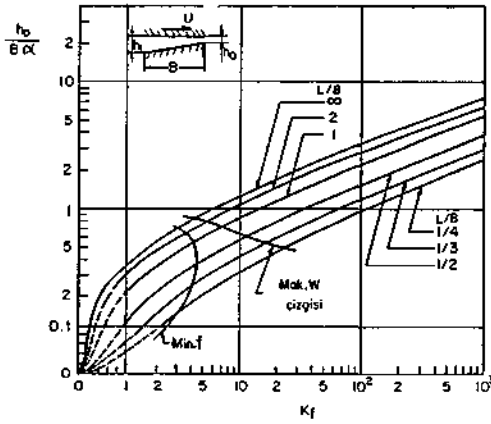
Burada μ (mPa.s) alınmıştır. Çeşitli μ değerleri için hesaplanan $K_f T$ (Şekil.29 e) $teTon = T_{jn} + AT/2$ değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

H (mPa.s)	K_f	$pC_H AT$		
		p	AT	T_{jn}
10	4,28	11	23,0	8,15
20	8,57	13	27,2	83,6
40	17,14	16	33,5	86,7
80	34,27	20	41,9	90,0
100	42,84	21	44,0	92,0

YATAKLAR

μ ve T_{ori} değerleri Şekil.3 üzerinde işaretlenerek elde edilen eğrinin SAE yağlarını kestiği değerler ilgili yağlar için çalışma sıcaklığını ve viskozite değerlerini verir. Bu yağlar için elde edilen minimum yağ film kalınlıkları da aşağıda verilmiştir.

SAE	T_{ori} (°C)	H (mPa.s)	K_f	$h_o/B\alpha$	Mum)
10	80	7	3,00	4,5	11,3
20	81	9	3,86	5,0	12,5
30	82	12	5,14	6,0	15,0
40	82,5	15	6,43	6,8	17,0
50	84	22	9,43	8,0	20,0
60	86	28	12,00	9,0	22,5
70	87	35	15,00	10,0	25,0



a. Bağlı en ince film kalınlığı parametresi

b. Sürtünme faktörü

Şekil.29- Sabit iokmalı eksene] yatakların performans parametreleri (8)

Böylelikle verilen çalışma koşullarında çeşitli yağlar kullanılarak elde edilebilecek en ince yağ film kalınlıkları bulunur. Yatak ve karşılığı yüzeylerin işlenmesinde elde edilecek toplam pürüzlülüğün yaklaşık 5-7 katı mikronik kullanılacak yağ tipi belirlenir.

Oynak Lokmalı Yataklar

Oynak lokmalar milin hızına, yağ sıcaklığına, yük değerine göre en ince yağ kalınlığını ve eğimlerini kendiliğinden ayarlarlar ve en uygun yağ filminin otomatik olarak meydana gelmesini sağlarlar. Dönme yönüne göre daralan bir yağ kalınlığının oluşabilmesi için dayanak noktası, lokmanın ortası ile yağ çıkış kenarı arasında olmalıdır.

Boyutsuz tasarım parametreleri :

Lokma genişlik-uzunlukoranı : L/B

Dayanak noktası konumu : $X/B = \frac{\mu U n L}{W} = \frac{\mu U}{PB}$

Yük faktörü : $K_f = \frac{W}{PB}$

Boyutsuz performans parametreleri:

En ince yağ film kalınlığı: $\frac{h_o}{B \sqrt{K_f}}$

YATAKLAR

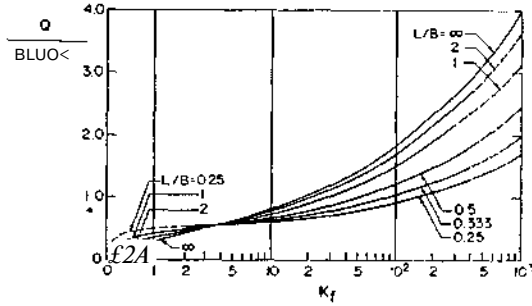
$$\text{Bağü eğim} : -S3 = \frac{h_r \cdot h_o}{b_0 \sqrt{K_f}}$$

$$\text{Debi değişkeni} : \frac{Q}{BLU \sqrt{K_f}}$$

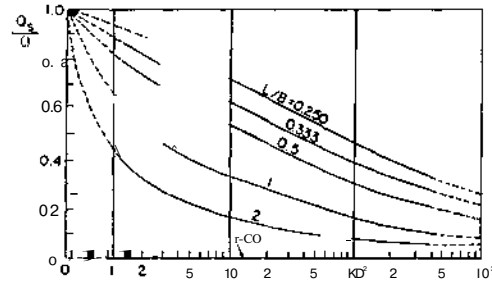
$$\text{Dışarı akan yağ debi oranı} : Q_z / Q$$

$$\text{Sıcaklık artış değişkeni} : p_{CH AT} / p$$

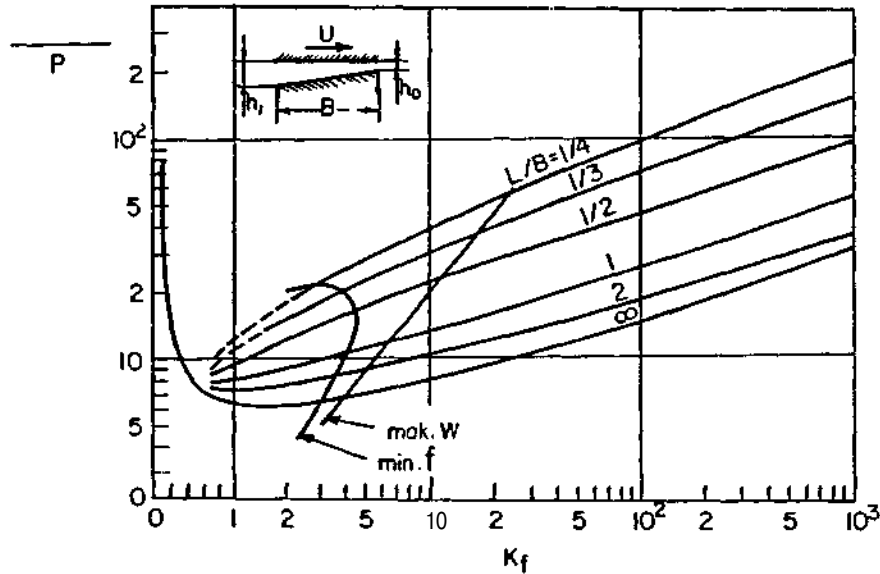
Oynak lokmalı yatakların performans parametrelerinin değişimleri Şekil.30 da verilmiştir (8). Verilen bir L/B oranı ve yük faktörü için Şekil.30 dan maksimum yük taşıma durumundaki mesnet konumu ve bu konum için en ince yağ film kalınlığı, Şekil.30(b) den de çalışma koşullarında oluşan eğim bulunur.



c. Debi faktörü



d. Dışarı akan yağ debi oranı



e. Sıcaklık artış değerleri

Şekil.29- Sabit lokmalı eksene! yatakların performans parametreleri (8).

Eksenel Yatakların Direngenliği

Dönel makinalarda rotorun dinamik davranışlarını yatakların direngenliği etkilemektedir. Kaymalı yataklarda yağ filminin yay gibi davranma özelliği nedeni ile *direngenlik katsayısı*, k ,

YATAKLAR

$$\frac{d}{h}$$

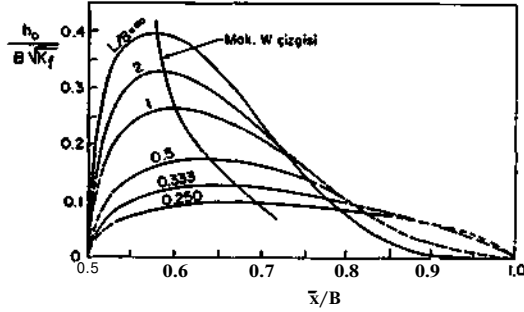
olarak tanınlanır. Verilen bir eğik düzlemlı yatak geometisi için yük kapasitesi

$$W = \frac{6\mu UB^2L}{h} W^*$$

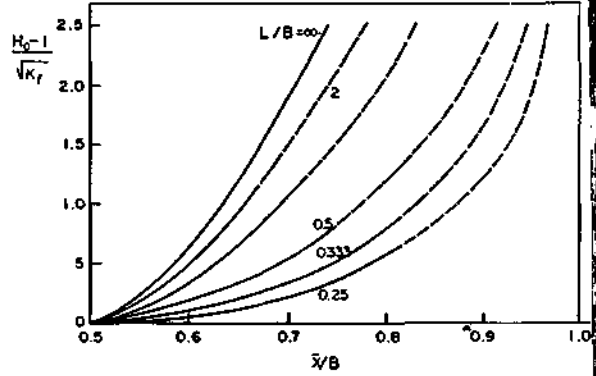
olarak yazılabilir. (12) eşitliğinden eğik düzlemlı yatak için direngenlik

$$k = 2 \frac{W}{h_0}$$

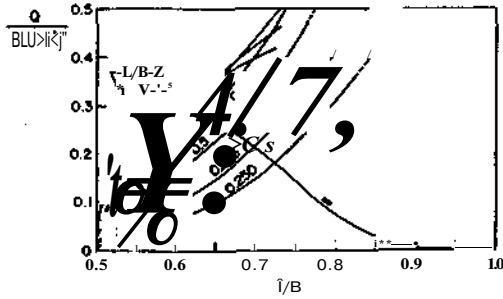
olarak bulunur. Bu eşitlik lokmalı yataklar için de geçerlidir.



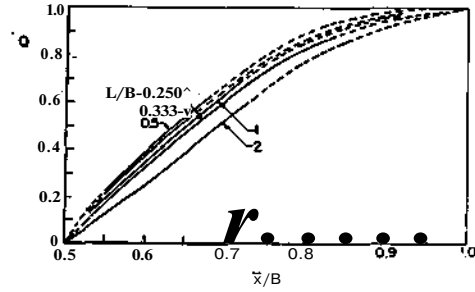
a. En ince yağ film kalınlığı



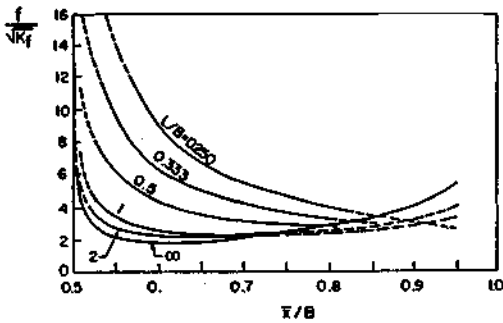
b. Yağ filmi kalınlık oranının değişimi



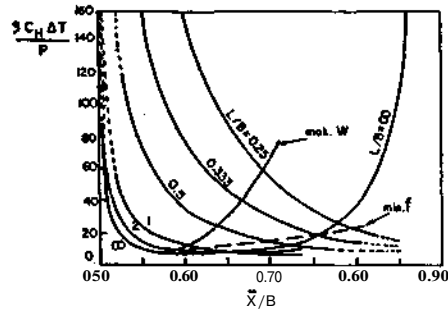
c. Debi faktörü



d. Dışarı akan yağ debi oranı



e. Sürtünme faktörü



f. Sıcaklık artış değişkeni

Şekil JO Değişken eğimli eksene I yatakların performans parametreleri (8).

YATAKLAR

Eksenel Yatak Tasarım İlkeleri

Eksenel lokmalı yatakların tasarımında izlenecek yöntem şöyle sıralanabilir :

1. Genellikle $L/B=1$ alınarak tasarıma başlanır. Yatağın yerleştirildiği yer ve lokmalar arasındaki yağ kanal genişliği de dikkate alınarak lokma sayısı (n) ve lokma nominal ölçüleri (R1, K2 ve D) belirlenir.
2. Verilen bir yağ ve giriş sıcaklığı için, giriş sıcaklığı üzerinde tahmini bir ortalama sıcaklık alınır.
3. Ortalama sıcaklığa karşılık λ değeri verilen yağ için μ -T grafiğinden okunur (Şekil.3).
4. Maksimum yük ve minimum sürtünme katsayısı ölçütlerinden biri seçilerek verilen çalışma koşullarında oluşacak h ve h_1 grafiklerden hesaplanır.
5. Sıcaklık artış değişkeninden ortalama sıcaklık hesaplanır. Kabul edilen ortalama sıcaklık ile hesaplanan ortalama sıcaklık arasındaki fark kabul edilebilir bir değere düşünceye kadar hesaplanan yeni ortalama sıcaklık ile 3. aşamaya geri dönülerek hesap tekrarlanır.
6. Bu yöntem sonucunda elde edilen en ince yağ filmi yeteri kadar kalın değilse :
 - yağ viskozitesi ve/veya hız artırılarak,
 - yük ve/ya da daha iyi bir işlem ile yüzey pürüzlülüğü azaltılmak, tasarıma yeniden başlanmalıdır.
7. Yeterli bir en ince yağ filin kalınlığı elde edildikten sonra diğer performans parametreleri grafiklerden bulunur.

6. HİDROSTATİK YATAKLAR

Birbirine karşı yüklenmiş yüzeyler arasında düşük kayma hızlarında yükü taşıyacak kadar hidrodinamik basınç oluşamaz. Kayma hareketinin olmadığı ya da çok düşük olduğu durumlarda yüzeyler arasında teması önleyecek kalın bir yağ tabakası oluşturmak amacı ile yatak içindeki bir bölgeye (cebe) yüksek basınçta yağlayıcı akışkan gönderilerek hidrostatik (dıştan basınçlı) yağlama yapılır.

Hidrostatik yatakların, geometrileri ve cep şekilleri ile alışlagelmiş hidrodinamik kaymalı yataklara göre daha karmaşık yapımı ve çalıştırılması daha pahalı olmalarına rağmen birçok üstünlükleri vardır. Bunlar :

1. Çalışma duyarlılığı yüksektir. Radyal kaçıklıklar kolaylıkla 0,1 μ m ya da altında tutulabilir.
2. Yatak direngenliği ve sönümlenme özelliği oldukça yüksektir. Uygun bir yağ viskozitesi ve yağ film kalınlığı seçimi ile istenilen değerler elde edilebilir.
3. Yatak sıcaklığı kısa bir sürede sürekli çalışma değerine erişir. Bu özellik, sayısal denetimli tezgahlar için oldukça önemlidir.
4. Yatağa hiç bir zaman metalin-metalale teması olmadığından, çalışma ömrü sınırsızdır.

Hidrostatik yatakların performansı yük taşıma kabiliyeti, yağ debisi, gerekli güç gereksinimi ve yatak direngenliği ile belirlenir.

Eksenel Hidrostatik Yataklar

Geometrisi tanımlanmış hidrostatik yataklarda cep basıncı, P , gerekli yağ debisi, Q , ve pompa gücü, G , gereksinimi yatak katsayıları kullanılarak ifade edilir.

$$P = K_p \cdot \frac{W}{A}$$

$$Q = K_q \cdot \frac{h^3}{12 \mu} \cdot \frac{W}{A}$$

$$G = K \left(\frac{W}{A} \right) \cdot \frac{v^3}{P \cdot M}$$

Burada

A : toplam yatak yüzey alanı

W : yatak yükü

h : film kalınlığı

K_p : basınç katsayısı

K_q : debi katsayısı

$K = K_p \cdot K_q$: Güç katsayısı

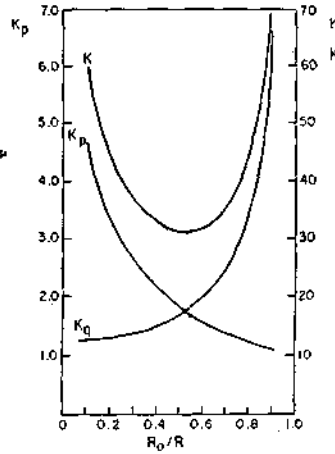
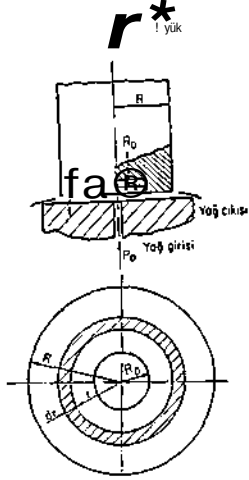
YATAKLAR

Şekil.31-34 de geometrileri tanımlanmış çeşitli hidrostatik yatak ve cep şekilleri için basınç, debi ve güç katsayıları verilmiştir (6). Güç katsayıları genelde en az bir değere eriştiğinden her yatak geometrisi için *en uygun (optimum)* yatak ve cep boyut oranları belirlenebilir. Birden çok cepli diğer yatak geometrileri için gerekli cep basıncı, debi ve pompa gücü Reynolds denkleminin sayısal çözümü ile elde edilir.

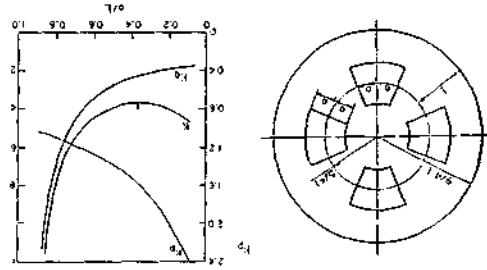
Hidrostatik yataklarda direngenlik

$$k = - \frac{dW}{dh}$$

olarak tanımlanır.

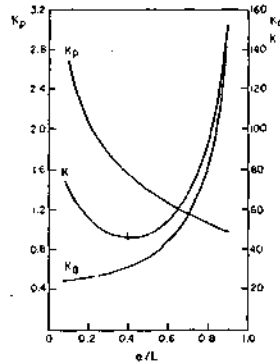
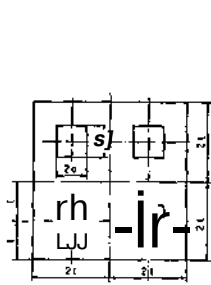


Şekil.31- Cepli dayiresel yatak (6).

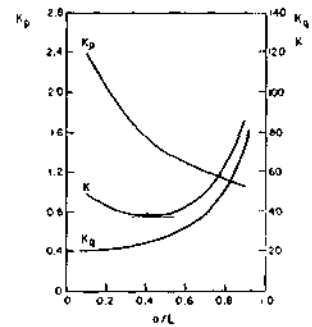
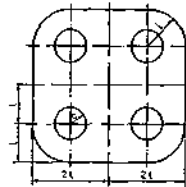


Şekil.32- 4-sektör cepli dayiresel yatak (6).

Genel olarak hidrostatik yataklarda yağ bir pompa yardımı ile cebe gönderilir ve yüzeyler arasındaki boşluktan dışarı çıkar. Boyutları küçük olan yataklarda yükteki eksen kaçıklığının neden olacağı film kalınlığı değişimi de küçük olacağından tek cepli yataklar kullanılır. Geniş yüzeyli yataklarda yükteki eksen kaçıklığının oluşturacağı devrilme momentini karşılayabilmek için farklı basınçların uygulanabileceği birden fazla cep kullanılır. Bu ceplere sabit debide yağ gönderilerek yükün devrilme momentine daha iyi direnerek yağ film kalınlığının oldukça sabit tutulması mümkün olmaktadır.



Şekil.33- Kare cepli kare yatak (6).



Şekil.34- Dayire cepli köşeleri yuvarlatılmış kare yatak (6).

YATAKLAR

Sabit Debili Sistemler

Sabit debili sistemlerde yağ doğrudan yatak cebine bir pompa ile gönderilir. Pompanın sabit debide çalışmasına basıncı P_s ile sınırlıdır. Belirli bir yük için *tasarım filin kalınlığında*, h_u ; (14) ve (15) numaralı denklemlerden *tasarım cep basıncı* P_{10} ile debi arasındaki ilişki

$$I_{10} = \frac{12 \mu Q}{h^3} \frac{K_p}{K_q} \quad (17)$$

olarak yazılır. Yağ film kalınlığının herhangi bir nedenle h değerine değişmesi ile *cep basıncı*

$$I_{10} = \frac{12 \mu Q}{h^3} \frac{K_p}{K_q} \quad (18)$$

olarak yazılabilir.

Boyutsuz parametreler :

$$\begin{aligned} \text{Boyutsuz film kalınlığı} &: \Pi_1 = h / h_u \\ \text{Cep basınç oranı} &: \Pi_2 = I_{10} / P_s \\ \text{Tasarım cep basınç oranı} &: r = I_{10} / P^* \end{aligned}$$

$$\text{Boyutsuz debi} : Q = \frac{12 \mu Q}{P_s h^3} \frac{K_p}{K_q}$$

$$\text{Boyutsuz yük kapasitesi} : \bar{W} = W / (P_s K_p)$$

$$\text{Boyutsuz direngenlik} : \bar{K} = \frac{K_p}{K_q}$$

Boyutsuz parametreler kullanılarak cep basıncı, yük kapasitesi, debi ve direngenlik

$$\begin{aligned} \bar{P}_c &= r / \Pi_1^3 \\ \bar{W} &= \bar{P}_c \\ \bar{Q} &= \bar{P}_c \Pi_2 \\ \bar{K} &= 3 \Pi_1^3 = 3 \Pi_2^3 \end{aligned} \quad (19)$$

olarak bulunur (7).

Dirençli Sistemler

Çok cepli sistemlerde her cep için ayrı ayrı pompa ile yağlama devresi kurulması pahalı bir çözümdür. Genellikle tek bir pompadan gönderilen yağ cep girişlerinden önce direnç elemanlarından geçirilir. Böylece ceplerin bulunduğu yatak yüzeylerine farklı kuvvetlerin uygulanması (devrilme momenti) nedeniyle yağ aralığının azaldığı yatak yüzeyinde debi azalacağı için cepteki basınç düşer. Ancak direnç elemanları nedeniyle pompa çıkışında (ana yağ besleme kanalında) basınç etkilenmez. Böylelikle devrilme momentine karşı bir moment oluşarak eğilme önlenmiş olur.

Hidrostatik yataklarda direnç elemanı olarak kılcal (kapiler) boru ya da konik delikli diyafram (orifis) ya da sabit debili vana kullanılır.

Kılcal (Kapiler) Boru Denkleştiricili Sistemler

Küçük çaplı uzun bir boru yağ kısıtlayıcı (direnç) elemanı olarak basınç düşümü sağlar. Çapı d_c , boyu L_c olan bir boruda yağ giriş, çıkış etkileri ve viskozite değişimi ihmal edilerek laminer akım için debi denklemi

$$Q_c = k_c \Delta P_c \quad (20)$$

YATAKLAR

olarak verilir. Burada $k_c = \frac{\pi d_c^2}{12 \sigma L J C}$ ^ Genellikle boru boyu $L \ll 100$ de olarak alınır. Laminer akım borular için Reynolds sayısının 2000 den küçük değerleri için geçerlidir. Reynolds sayısının debi ile tanımı

$$R_c = \frac{\dot{Q} d_c}{\mu} < 2000$$

olmalıdır. Kılcal boru denkleştiricili sistemlerde kılcal borudan geçen ve (20) numaralı denklem ile verilen debi, yataktaki (18) numaralı denklem ile verilen debiye eşitlenerek cep basıncı sabit pompa çıkış (ana yağ besleme boru) basıncı, P_c , cinsinden yazılır.

$$P_c = \frac{P_0}{1 + h' / K_c} \quad (21)$$

burada $\bar{K}_c = \frac{1,2 K_p}{K_c \cdot K_d}$ dür.

Cep basıncı, yük kapasitesi, debi ve direngenlik boyutsuz parametreler ile

$$\begin{aligned} \bar{P}_c &= 1 / \left(1 + \frac{1-r}{r} H^3 \right) \\ \bar{V}_y &= \bar{P}_c \\ \bar{Q}_j &= H^3 \bar{P}_c \\ \bar{K} &= \frac{\hat{K}}{H} \bar{P}_c (1 - \bar{P}_c) \end{aligned} \quad (22)$$

olarak yazılır (7).

Konik Delikli Diyafram (Orifis) Denkleştiricili Sistemler

Çapı do olan konik delikli (keskin kenarlı) diyafram denkleştiriciden geçen debi

$$Q_0 = k_0 (P_z - P_c)^{1/2}$$

olarak verilir. Burada

$$k_0 = \frac{\pi C_d d_0^2}{\sqrt{8 \rho}}$$

p akışkan yoğunluğu ve diyafram akım katsayısı C_d Reynolds sayısına bağlı olarak verilir. Reynolds sayısı basınç farkı ile

$$R_c = \frac{i [2p (P_z - P_c)]^{1/2}}{\mu}$$

olarak tanımlanır ve

$$Re > 15 \text{ için } C_d = 0,6$$

$$Re < 15 \text{ için } C_d = 0,20 \sqrt{Re}$$

alınır. Diyafram delik çapı, diyaframın yerleştirildiği boru çapının en fazla 1/10 u olmalıdır, do < 0,5 mm değerlerinde diyaframın tıkanma tehlikesi yüksektir.

Konik delikli diyafram denkleştiricili sistemlerde, diyaframdan geçen ve (23) numaralı denklem ile verilen debi yataktaki (18) numaralı denklem ile verilen debiye eşitlenerek cep basıncı sabit pompa çıkış basıncı cinsinden yazılır. Boyutsuz cep basıncı

$$\bar{P}^? H \ll \bar{K}_0 (1 - \bar{P}_c) \quad (25)$$

denkleminin pozitif kökü

$$\bar{P}_c = \frac{\bar{K}}{2 H^6} \left[\left(1 + 4 \frac{H^6}{\bar{K}_0} \right)^{1/2} - 1 \right] = \frac{1}{2 H^6} \left(\frac{r^2}{1 - r^2} \right) \left[\left(1 + 4 \frac{1-r}{r^2} H^6 \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (26)$$

YATAKLAR

olarak verilir. Burada

$$\bar{K}_0 = X \left(\frac{12 \mu \bar{k}_0 \bar{K}_p}{P_z \bar{K}_q} \right)^2$$

Boyutsuz parametreler kullanılarak yük, debi ve direngenlik

$$\bar{W} = \bar{P}_c$$

$$\bar{Q} = H^3 \bar{P}_c$$

(27)

$$\bar{K} = \frac{6 \bar{P}_c}{H} \left(\frac{1 - \bar{P}_c}{2 - \bar{P}_c} \right)$$

olarak bulunur (7).

Denkleştiricili Sistemlerin Karşılaştırılması

İ-ilm kalınlığının çalışma koşullarında herhangi bir nedenle tasarım değerinden değişmesi sonucunda cep bu sınıcı, yük kapasitesi, debi ve direngenlik de değişir.

Yatak direngenliği yükteki değişmeye karşı yağ film kalınlığındaki değişmeyi belirlediği için hidrostatik yalıtım tasarımı çok önemli bir tasarım parametresidir. Genellikle yatak çalışma koşullarında direngenlik maksimum değerde olacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Sabit debili, kılcal borulu ve diyafram denkleştiricili sistemlerde direngenlik sırasıyla (19), (22) ve (27) numaralı eşitlikler ile verilmiştir. Bu eşitliklerde direngenliği etkileyen iki parametre cep basınç oranı ve yağ film kalınlığı olduğundan hidrostatik yatak tasarımında bu iki parametrenin etkisi göz önünde tutulmalıdır.

Cep Basınç Oranının Belirlenmesi

Cep basınç oranının değeri direngenliği belirleyen en önemli faktördür. Şekil.35 de tasarım film kalınlığı (H=1,0) için boyutsuz direngenliklerin tasarım basınç oranına (r) göre değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (7). Kılcal boru ve konik delikli diyafram denkleştiricili sistemlerde direngenlik bir maksimum noktaya erişirken sabit debili sistemlerde direngenlik doğrusal olarak artar.

Tasarım film kalınlığında direngenliklerin maksimum değerleri ve bu değerlerdeki cep basınç oranları

	$\frac{K}{P_z}$	iv	m	$\frac{W}{P_z}$	F
Kılcal borulu	3r(1-r)			0,75	0,50
Konik delikli diyafram	6r(1r)/(2-r)			1,03	0,586

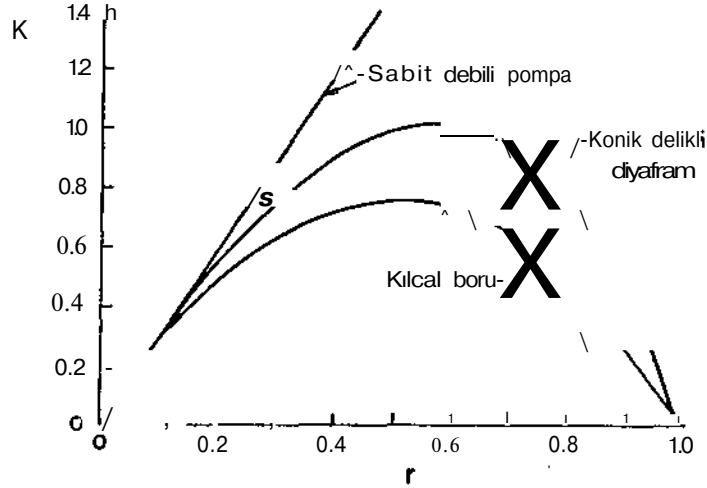
olarak bulunur. Bu nedenle tasarım film kalınlığında cep basınç oranı kılcal borulu sistemler için 0,5 ve diyaframlı sistemler için ise 0,586 değerleri tercih edilmelidir. Direngenliğin maksimum değerlerine eriştiği bölgelerde basınç oranına göre değişimi çok azdır. Maksimum direngenliğin elde edildiği bölgede konik delikli diyaframlı sistemlerde direngenlik yaklaşık olarak %33 daha fazladır.

Film Kalınlığının Etkisi:

Şekil.36 da cep basıncı (yük kapasitesi), debi ve direngenliğin karşılaştırmalı olarak film kalınlığına göre değişimleri verilmiştir (7). Burada karşılaştırma, *tasarım film kalınlığında* kılcal boru ve diyaframlı sistemlerde maksimum direngenliği veren cep basınç oranlarında, sabit debili sistemler için ise bu iki maksimum değerini erişebileceği basınç oranlarında yapılmıştır. Şekil üzerindeki numaralar ve sistemlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

No.	Sistemler	Km.ta	r
1	Kılcal borulu	0,75	0,5
2	Diyaframlı	1,03	0,586
3	Sabit debili	0,75	0,25
4	Sabit debili	1,03	0,333

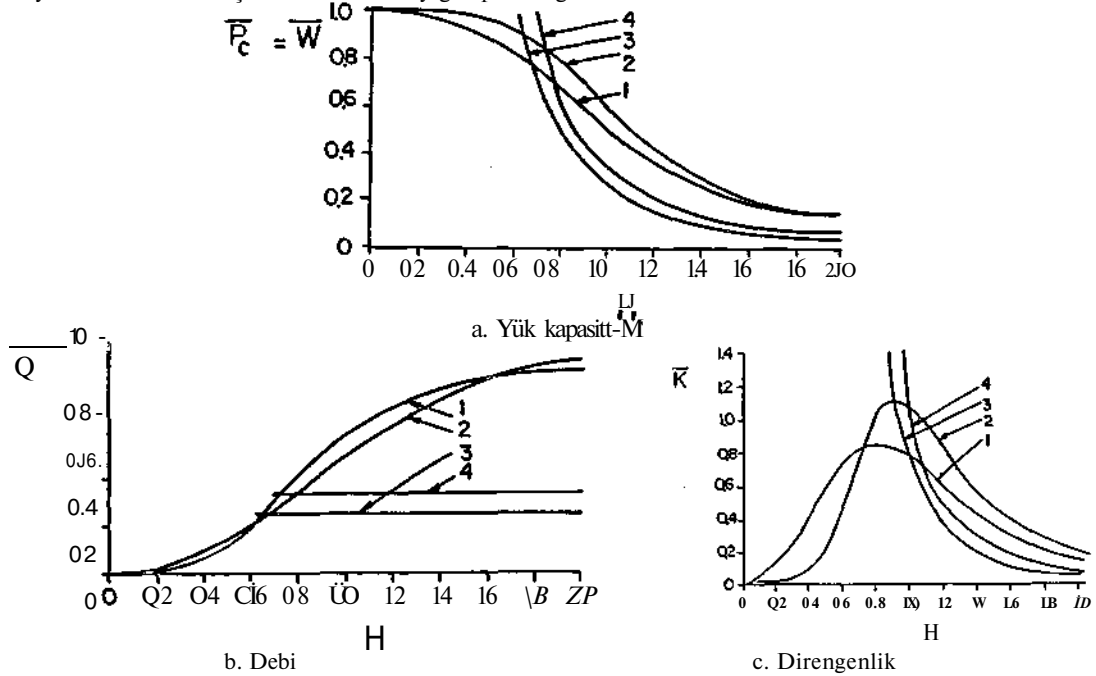
YATAKLAR



Şekil-35- Dirençli sistemlerin direngenliklerinin basınç oranına göre değişimi (7).

Şekil.36a da kılcal borulu ve diyaframlı sistemlerde cep basıncı film kalınlığının 0,6 dan küçük değerlerinde besleme basıncı değerine ve yük kapasitesi de maksimum değerlere yaklaşır. Diyafram denkleştiricili yataklar genelde tüm film kalınlığı değerlerinde kılcal borulu sistemlere göre daha yüksek yük taşırlar. Ancak sabit debili sistemlerde cep basıncı ve yük kapasitesi film kalınlığının azalmasıyla çok hızla artmakta ve cep basıncı 1,0 değerini aşmayacağı için film kalınlığındaki azalma sınırlanmaktadır. Örneğin: 0,25 cep basınç oranı için film kalınlığının 0,63 den, 0,333 cep basınç oranı için ise film kalınlığının 0,7 den daha küçük olması durumunda sistem pompa basıncı ile sınırlanmaktadır.

Şekil.36b de diyafram ve kılcal boru denkleştiricili sistemlerin debileri arasındaki fark çok küçüktür. Sabit debili sistemlerde film kalınlığı cep basıncının 1,0 değerine eriştiği yerde sona erer. Film kalınlığı azalırken yağın büyük bir miktarı basınç alma vanasından yağ deposuna geri döner.



Şekil J6- Denkleştiricili sistemlerin karşılaştırılması (7).

YATAKLAR

Film kalınlığının değişmesi yatak cep basıncını da etkiler. Kılcal burulu sistemler için direngenlik denkleminin ikinci tarafından $r=0,5$ için

$$\bar{K} = 3 \left(\frac{11}{3 + 11^3} \right)^2 \quad (28)$$

elde edilir (7). Bu eşitlikte direngenliğin film kalınlığı ile değişimi Şekil.36c de verilmiştir. Maksimum direngenlik film kalınlığının 0,7937 ve cep basıncının 0.666 değerinde 0.837 olarak bulunur.

Diyaframlı sistemlerde film kalınlığı azalırken direngenlik kılcal borukı sistemlere göre daha hızlı artarak maksimum değere erişir. Direngenlik denkleminde $r = 0,586$ koyularak ve (11) ya göre türevi alınarak $11=0,9$ değerinde maksimum direngenlik 1,09 olarak bulunur. Bu koşullardaki cep basıncı (26) numaralı denklemin ikinci tarafından (ya da Şekil.36a dan) 0,691 olarak bulunur.

Tasarım film kalınlığında diyafram ile daha yüksek direngenlik ekle edilebilmesine karşın, film kalınlığının azalmasıyla direngenlik çok daha hızlı azalmaktadır. Bu nedenle pratikte daha az değişim gösteren kılcal borulu denkleştiriciler kullanılır. Sabit debili sistemlerde direngenlik film kalınlığının azalmasıyla aşırı derecede artar. Ancak, bu artış film kalınlığının minimum değeri ile sınırlanmaktadır.

7. SÜKTÜNMKLİ YATAKLAR

Kuru ya da sınır yağlama koşullarında çalışan kaymalı yataklar sürtünmeli yatak olarak tanımlanırlar. Ağır yüklerde ve/veya yavaş kayma hızlarında yatağın yağlanması rağmen yeterli büyüklükte hidrodinamik basınç oluşamaz. Bu koşullarda çalışan yataklarda kayan ve sabit yüzeyler birbirine sürterler. Bu yatakların çalışması aşın ısınına ve inilin yatak sarması, yatak malzemesinin mekanik özelliklerinin değişmesi ile sınırlanmaktadır. Sürtünen yüzeylerde sürtünme kuvveti direnci nedeni ile oluşan ısının yüzeylerden malzemelerin içlerine ısı iletimi ile yayılması gereklidir. Sürtünme (ya da izdüşüm) alanı A. yüzey kayma hızı V. iki malzeme arasındaki sürtünme katsayısı f olan bir sürtünen yatağa W yükü uygulanırsa, yüzeyler arasında oluşan ısı fWV ile ifade edilir. Bu ısı, TD sıcaklığındaki yatak yüzeyinden yatak gövdesi ve mil ile T_A sıcaklığındaki çevreye ısı iletimi, konveksiyonu ve radyasyonu ile yayılır. Toplam ısı yayılım katsayısı k ile gösterilirse ısı denge denklemi

$$f W V = k A (T_B - T_A) \quad (29)$$

şeklinde yazılır. Bu denklem yatak tasarım parametreleri ortalama yatak basıncı $p = W/A$ ve kayma hızı çarpımı şeklinde yazılırsa

$$pV = \frac{k}{f} (T_u - T_A) \quad (30)$$

denkleminin sağ tarafındaki k, f ve T_u yatak malzemesinin özellikleri ile belirlenmektedir. Verilen bir yatak malzemesinin dayanabileceği en yüksek yatak malzemesinin dayanabileceği en yüksek yatak sıcaklığı T_{max} olduğundan pV çarpımı için en yüksek bir $(pV)_{max}$ değeri tanımlanmaktadır. Bu nedenle sürlünmeli yataklarda yatak parametresi pV

$$pV \leq (pV)_{max}$$

olarak tasarım yapılmalıdır.

Kayma hızının çok düşük olduğu ya da kayma durumunun olmadığı durumlarda yatak malzemesinin uygulanan ortalama basınçta yorulma ve statik basına dayanım değeri ile sınırlanmaktadır.

$$P \leq P_{stat}$$

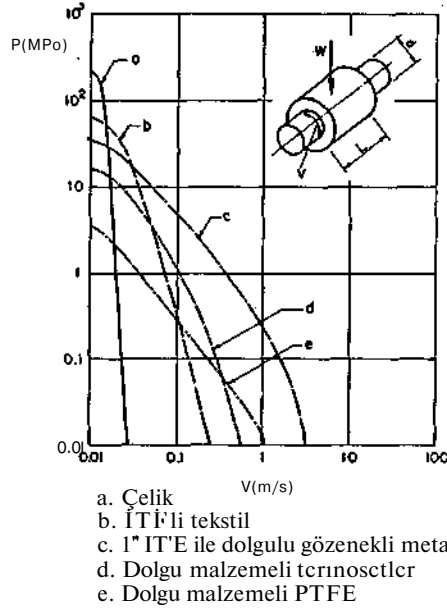
Aynı şekilde yatak basıncının çok düşük ve kayma hızının yüksek olduğu durumlarda yatakta oluşan ısı kolaylıkla çevreye iletilemediği için yatak malzemesine bağlı olarak kayma hızı bir üst limit ile sınırlanmaktadır.

$$V \leq V_{su}$$

Kuru ve sınır sürtünme koşullarında çalışan sürlünmeli yataklarda melal olmayan malzemeler, gözenekli ya da yağlayıcı dolgulu metal malzemeler de kullanılır. Şekil.37 de sahil bir yük altında salınım hareketi yapan rad-

YATAKLAR

yal yataklar için yatak ortalama basıncının kayma hızına göre değişimleri verilmiştir (9). Burada çelik mile karşı çalışan çeşitli yatak malzemelerinin emniyetli çalışma bölgeleri eğrilerin altındaki bölgeler olarak tanımlanmıştır, aynı koşullarda çalışan yuvarlanma elemanlı yatakların yük kapasitesi yaklaşık 10 MPa'dır.



Şekil.37- Salınım hareketi için sürtünlü yatak malzemeleri (9).

8. YATAK MALZEMELERİ

Genci Özellikler

Hidrodinamik ve sınır sürtünme koşullarında yatağın işlevini yerine getirebilmesinde yatak malzemesinin özellikleri önemlidir. Yatak malzemesi seçiminde yük ve kayma hızı dışında diğer çalışma ve çevre koşulları, güvenilirlik, mil esnemesi ve eksen kaçıklığı gibi faktörler de göz önüne alınmalıdır. İyi bir yatak malzemesinin şu özellikleri olmalıdır :

1. Yatak üzerindeki maksimum statik yüke ve değişken yüke dayanabilecek derecede basma (statik) ve zorlama dayanımına sahip olmalıdır.
2. Yarı-sıvı sürtünme koşullarında sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı az olmalıdır.
3. Isı iletim katsayısı yüksek olmalıdır.
4. Isıl genleşme katsayısı düşük ve genleşme düzgün olmalıdır.
5. Yatak malzemesi eksen eğimleri ve diğer geometrik hatalar için muylu ile kolaylıkla alıştıırılabilir olmalıdır.
6. Yatak malzemesi muylu ile yük altında bölgesel kaynak bağları oluşturmayan, yapışma (adhezyon) özelliği olmayan, benzemez malzemedir olmalıdır.
7. Tam sarmanın önlenmesi için, malzemenin ergime sıcaklığı çalışma sıcaklığının üstünde fakat düşük olmalıdır.
8. Muyludaki aşınmanın önlenmesi için yatak malzemesi muyluya göre daha yumşak olmalıdır.
9. Yatak malzemesi yatak içindeki sert yabancı maddelerin kolaylıkla gömülebileceği derecede yumşak olmalıdır.
10. Yağ ile ıslatılabilme özelliği olmalıdır.
11. Korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.
12. Malzemenin kolaylıkla işlenebilme özelliği olmalıdır.
13. Malzeme kolaylıkla bulunabilir ve ucuz olmalıdır.

YATAKLAR

Metal Yatak Malzemeleri

Kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılan malzemeler yumşak malzemelerin alaşımlarıdır. Çizelge.8 de genellikle kullanılan malzemelerin özellikleri ve çalışma üst sınır değerleri verilmiştir (10, 11). Burada aşınma faktörü, K, kullanılarak aşınma miktarı, $V(m^3)$, kayma mesafesi, L(m), ve yük, W(N) ile $V = K.WL$ eşitliğinden hesaplanabilir.

Bronz esas malzemesi bakır olan ve kalay, kurşun, çinko ve alüminyum gibi maddelerin biri ile ya da birden fazlasının alaşımıdır. Kurşunlu bronzun dayanımı ve sınır sürtünme koşullarındaki sürtünme katsayısı düşük ve sert malzemelerin gömülebilme kabiliyeti yüksektir. Kalay ve alüminyum bronzlarının dayanımları ve sertlikleri daha yüksektir, ancak sert maddelerin gömülebilme kabiliyeti daha azdır. Genelde kalay, alüminyum ve demir gibi alaşım elemanları statik ve yorulma yük kapasitelerini; sertlik, aşınma direncini artırır.

Babıt ya da beyaz metal olarak bilinen kalay ya da kurşun esaslı alaşımlar en eski malzemelerdir. Alaşımın yaklaşık %80 i esas malzemeden oluşur. Bu metaller yumşak olduğundan mile zarar vermeden kolaylıkla alıştırılabilirler. Yağlanarak kullanılmalı ve sınır yağlama koşullarında çok küçük sürtünme katsayısı gösterirler. Mekanik dayanımları düşüktür ve bu nedenle bakır ve antimon gibi maddeler katılarak kuvvetlendirilebilir. Babiller genellikle daha kuvvetli bir metal (demir, çelik ya da bronz) zarf üzerine ince bir tabaka olarak kaplanabilir ya da kalın bir tabaka olarak dökülebilir. ince babit tabakasının yorulma dayanımı kalın tabakaya göre daha yüksektir. Bu metallerle çalışacak milin sertliği en az 150-200 BUN olmalı ve mil yüzeyi ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,25-0,30 um olacak şekilde taşlanmalıdır.

Alüminyum alaşımlı yataklar sert, statik yük taşıma kapasiteleri, yorulma dayanımları ve korozyon direnci yüksek, fiyatları düşük malzemelerdir. Diğer malzemelere göre alıştırma, gömülme ve yapışma özellikleri daha az olduğundan bu yataklar yağlanmak kullanılmalıdır. Birlikte çalışacak milinin iyi bir yüzey kalitesi ve sertliği en az 160 BUN olmalıdır. Bu yataklar özellikle içten yanmalı motorlarda krank mili yatakları olarak kullanılır.

Çizelge.8- Metal Yatak Malzemelerinin Özellikleri (10, 11)

Malzeme	σ_{maks} (MPa)	T_{maks} (°C)	$(pV)_{maks}$ (MPa.m/s)	f	$10^4 a$ (1/°C)	Sertlik (BHN)	$10^3 K$ (m ³ /N.m)
Kalaylı Bronz	35	150	1750	0,05	18	75	1,7
Kurşunlu Bronz	28	150	1045	0,05	18	65	3,5
Alüminyum Bronz	138	150	1750	0,07	16	170	0,7
Kurşun Babıt	35	150		0,05	25	10	1,2
Kalay Babıt	35	150		0,05	23	10	1,2
Alüminyum Kalay	28	120		0,06	24	40	
Berilyum Bakır	690	315	10450	0,07	17	(40R _c)	0,3

Gözenekli Metal Yatak malzemeleri

Gözenekli metaller metal tozlarına presleme ve sinterleme uygulanarak elde edilen geçirgen metal malzemelerdir. Bu malzemeler birbiri ile bağlantısı olan ve tüm hacminin %10 ile %35 i arasında değişen oranda gözeneklerden (boşluklardan) oluşur. Yağ, gözenekli metallere emdirilerek boşluklarda depolanır ve yalağın çalışması sırasında yük ve sıcaklığın etkisi ile birbirine bağlı gözenekler arasından kılcallık etkisi ile akarak yatak yüzeyini yağlar. Bu nedenle bu yataklar *kendinden yağlamak yalak* olarak da tanımlanır. Bu yataklar içindeki emdirilmiş yağ ile uzun süre yağ eklenmeden çalışabildiğinden yağlamanın kolaylıkla yapılamadığı yerlerde tercih edilirler. Kendinden yağlamalı yatakların özelliklerini geliştirmek için % 1-3,5 grafit eklenebilir. Ancak, grafit yatak malzemesinin dayanımını azaltır. Salınım hareketi ya da git-gel hareketi yapan yüzeyler için yağ miktarı az, ancak grafit oranı yüksek olan yataklar kullanılmalıdır. Yüksek hızda az yük altında çalışan yataklarda ise maksimum yağ tutabilmek için yüksek gözenek oranlı yataklar kullanılmalıdır. Çizelge.9 da sınır yağlama koşullarında çalışan gözenekli metal yatakların çalışabilecekleri üst sınır değerleri verilmiştir.

YATAKLAR

Çizelge.1)- Gözenekli Metal Yatakların Özellikleri (10, 11)

Malzeme	V_{maks} * (M'l'a)		V_{maks} (m/s)	T_{maks} (°C)	$(pV)_{maks}$ (M'l'a.nl/s)	f
	Statik	Yorulma				
Bronz	55	14	6.1	150	1,75	0,10
Kurşun-Bronz	24	5,5	7.6		2.1	
Bakır-Bronz	138	28	1,1		1.2	
Demir	69	21	2,0	150	1,05	0,12
Bronz-Demir	72	17	4,1		1,2	
Kurşun-Demir	28	7	4,1		1,75	
Sertleşti rilcbilir						
Bakır-Demir	345	55	0,2		2,6	
AlUminyum	28	14	6,1		1,8	

Metal Olmayan Yatak Malzemeleri

Metal olmayan birçok malzemenin yatak malzemesi için gerekli özellikleri vardır. Grafit ve çeşitli plastik malzemelerin düzgün metal yüzeylerle çok düşük sürtünme katsayısı olduğundan bu malzemeler *kendiliğinden yağlamak* ya da *kendi kendini yağlayan* malzemeler olarak da bilinir. Sürtünme katsayısının küçük olması, yüksek sıcaklıkta bozulmadan çalışabilme, çözücülere karşı direnci ve fiyatlarının düşük olması gibi nedenlerle tercih edilirler. Naylon, *V/VII* gibi plastiklerin ağır yüklerde ezilmeleri ve düşük ısı iletim katsayıları nedeni ile aşın ısınmaları en olumsuz özellikleridir. Ancak bu malzemeler, çeşitli katkı ve dolgu maddeleri ile ya da metal yatak üzerine kaplama yapılarak orta-yüksek hızlarda ve yüklerde kullanılabilir.

Çizelge.10 da metal olmayan yatak malzemelerinin çalışabilecekleri en yüksek basınç, sıcaklık, (pV) faktörü ile sürtünme ve ısı genleşme katsayıları verilmiştir (2). Buradaki $(pV)_{maks}$ ve sürtünme katsayısı değerleri kuru sürtünme koşulları için verilmiştir. Alışlagelmiş yağlayıcılar ya da çalışma ortamındaki sıvılar ile yağlama yapılması durumunda $(pV)_{maks}$ değerlerinden daha yüksek ve sürtünme katsayılarında daha düşük değerler elde edilebilir. Örneğin, gres ile yağlanmış grafit dolgu metallerde 0.02 ve su ile çalışan dolgu termoset plastiklerde 0,006 sürtünme katsayısı değerleri elde edilebilir. Aşınma oranı yük, kayma hızı, sıcaklık, malzeme ve yüzeylerin pürüzlülüğü ile değişmektedir. Bu çizelgede verilen $(pV)_{maks}$ değerleri 100 saatlik bir çalışma süresi içinde 25 μ m aşınma derinliği için geçerlidir. Özel uygulamalarda daha fazla ya da daha az aşınma oranı elde edilebilir. Bu durumlarda üreticiye danışılmalıdır.

Karbon-grafit özellikle yüksek sıcaklıktaki kuru sürtünme koşullarında kullanılır. Sürekli kuru çalışma koşullarında V_{maks} 1,25 m/s olmalıdır. Çizelge. 10 da V_{maks} ve $(pV)_{maks}$ için verilen ilk değerler sürekli kuru çalışmaya koşullarındaki, ikinci değerler ise kısa süreli periyotlarla çalışma içindir.

Naylon, asetal, teflon, fenolikler, polielilen, poliamid gibi çok çeşitli plastik bileşikler yatak malzemesi olarak kullanılabilir. Yağlama ve aşınma özelliklerini geliştirmek amacı ile MOS₂, grafit tozu ve çeşitli reçineler ile karıştırılarak kullanılırlar. Bu malzemeler yumşaktır ve mekanik dayanımları düşüktür. Mekanik dayanımların artumak için cam elyafı ve metal dolgu malzemeleri ile kuvvetlendirilerek ya da metal yatak üzerine ince bir tabaka kaplanarak kullanılırlar. Korozyona karşı dirençli olmalarına karşın birçok eriyik, asit ve bazik sıvılardan etkilenirler.

Teflon (polietilene difenil, PTFE) en önemli özelliği diğer katı maddelerle çok az yapışma (adhezyon) eğilimi olması nedeniyle sürtünme katsayısının çok küçük olmasıdır. Saf teflon olarak mekanik dayanımı, ısı iletim katsayısı düşük ve ısı genleşme katsayısı yüksek olan bir malzemedir. Bu nedenlerde düşük hız ve yük uygulamalarında kullanılabilir. Ancak bu özellikler teflonun gözenekli metal yapı içinde ya da bir metal yapı içinde dolgu malzemesi olarak ya da metal bir yalıtıcı zarfı üzerine kaplama olarak kullanılması ile geliştirilebilir. Böylelikle mekanik dayanımı ve ısı özellikleri metal malzemenin ya da esas malzemenin özelliklerine, yüzey özellikleri ise teflonun özelliklerine sahip olur. Teflonun yüzeye yapışma özelliği olmadığından ancak fenolik reçine ile yüzeylere yapıştırılabilir.

Polyamid plastikler içinde yüksek sıcaklığa (400°C) dayanabilen ve kimyasal olarak aktif olmayan bir maddedir. Mekanik dayanımını arttırmak için grafit ve diğer dolgu malzemeleri ile sinterlenerek kullanılabilir.

Fenolik yataklar kompozit malzemelerdir. Pamuklu tekstil, asbest ya da diğer dolgu maddeleri fenolik reçine ile tabakalar (katmanlar) halinde yapıştırılarak elde edilir. Ağır yüklere dayanabilen gözenekli bir yapıları vardır.

YATAKLAR

Isı iletim katsayılarının diis.uk olması nedeniyle düşük kayma hızlarında kullanılabilir. Fenolik yataklarda genellikle su ile yağlama ve soğutma yapılır. Yatak su ile şişerek şekil değiştireceğinden normal olarak kullanılan yatak boşluklarından daha fazla boşluk kullanılmalıdır.

Çok yüksek sıcaklıkların olduğu nükleer reaktörlerde ve fırınlarda sertliği, korozyona ve aşınmaya karşı dirençli yüksek seramikler, sermetler (90 R₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) ve bor-silisyum camı çok küçük sürtünme momenti gerektiren saatçilik ve cihaz imalatında kullanılmaktadır.

Çizelge.10- Sürtünmeli Yatak Malzemelerinin Özellikleri (2)

Malzeme	P _r ,K,ks (MPa)	T _{nüks} ^u (°C)	(pV) _{nüks} ^u (kPa.n1/s)	f	10*a (1/°C)
Karbon-grafit	1,4-3.0	500	110-180	0,10-0,25	1,5-5,0
Karbon-grafit metal dolgu ile	3-5	250	145-220	0,10-0,35	4,0-5,0
Grafit dolgulu demir	70	600	280-350	0,10-0,15	12-13
Grafit dolgulu bronz	30	500	"280-350	0,02	16-20
Grafit-termoset reçine	2	250	350	0,13-0.5	3,5-5,0
Dolgulu termoset plastikler	35	200	350	0,1-0,4	25-28
Termoplastikler	10	100	35	0.1-0,45	100
Dolgulu termoplastikler	10-14	100	35-110	0,15-0.40	80-100
Metal zarflı dolgulu					
termoplastikler	140	105	35	0,20-0,35	27
Dolgulu PTFE	7	250	35	0,05-0,35	60-100
Çelik üzerine dolgulu FTFE	140	250	1750	0.05-0,30	20
Metal üzerine kaplanmış					
cam elyafı ile PIT E	420	250	1600	0.03-0,30	

9. YUVARLANMA İLKMANLI YATAKLAR

Genel Özellikler

Yuvarlanma elemanlı yatakların kaymalı yataklara göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir :

- 1- Kalkışta ve duruşta sürtünme çok düşüktür. Bu özellik çok sık durup kalkan makineler için önemlidir.
- 2- Dil çok yuvarlanma elemanlı yatak radyal ve eksenel yükleri birlikte taşıyabilir.
- 3- Yatağın genişlik/çap oranı çok daha küçüktür.
- 4- Yuvarlanma elemanları ile bileziklerin temas alanı çok küçük olduğundan gerekli yağ miktarı çok azdır ve bu nedenle de yağlanması kolaylıkla yapılabilir.
- 5- Mil yuvaya göre daha hassas olarak merkezlenebilir.
- 6- Yuvarlanma elemanlı yataklar geometrileri, yük kapasiteleri ve sembolleri ile standart makina elemanları olduğundan kolaylıkla değiştirilebilir.

Zayıf tarafları ise :

- 1- Çalışma ömürleri malzemenin yorulma özelliği nedeni ile sınırlıdır.
- 2- Yuvarlanma elemanları ile bilezikler arasındaki temas bölgeleri çok küçük olduğundan mildeki titreşimlerin sönmümlendirilmesi çok azdır ve bu nedenle titreşim kolaylıkla gövdeye iletilir.
- 3- Milin çalışma konumundaki titreşim ve gürültü düzeyi kaymalı yataklara göre daha fazladır.
- 4- Montajda mil ve gövdedeki geometrik hatalara karşı duyarlıdır.
- 5- Dairesel lek parça yapıları ile iki parçalı kaymalı yataklara göre montajda zorluk çıkartabilir.
- 6- Eşil çaplı kaymalı yataklara göre daha pahalıdır.

YATAKLAR

Yatak Geometrisi ve Tanımlar

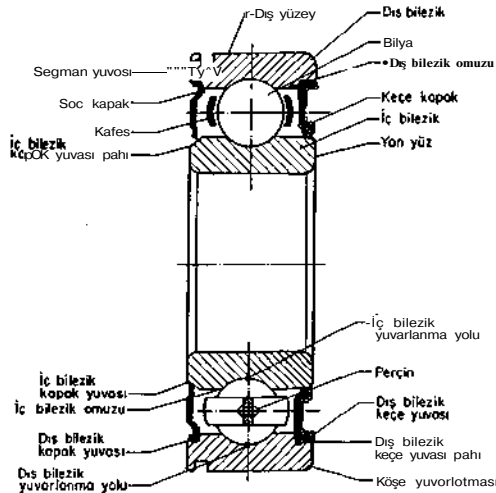
Uygulamada çeşitli koşullar için birbirinden farklı yuvarlanma elemanlı yataklar geliştirilmiştir. Ancak, temelde bu yatakların tümü yuva içine yerleştirilen *dış bilezik* (*gövde ya da yuva bileziği*), mil üzerine yerleştirilen *iç bilezik* (*ya da mil bileziği*), bilezikleri birbirinden ayıran *yuvarlanma elemanları* ve bu elemanların birbirine sürtünmesini önleyen *kafesten* oluşur. Şekil.38 de tipik bir radyal yatağın kesiti üzerinde yatağı oluşturan parçalar ve özellikleri gösterilmiştir. Yuvarlanma elemanları iç ve dış bilezik içindeki *yuvarlanma yollarında* hareket ederler. Yuvarlanma elemanlarının yük altında birbirlerine sürtünmelerini önlemek amacı ile yatak eksenine etrafında yuvarlanma elemanları ile birlikte dönen kafes içine yerleştirilirler. Yük iletiminde kafesin hiçbir rolü yoktur. Kafesler genellikle çelik ya da pirinç saçtan presle şekil verilerek, masif çelik ya da pirinç ya da plastikten işlenerek elde edilir. Kafesler iç ya da dış bileziğe kılavuzlu olarak yerleştirilir. Yatak bileziklerinin köşeleri mil ve yuva tam olarak oturtulabilmesi için yuvarlatılmıştır. Mil ve yatak yuvasındaki yuvarlatma değeri bileziklerin imalatçı katalogunda belirtilen *köşe yuvarlatma ölçüsünden* daha küçük olmalıdır. Yatakların dış ölçüleri standartlaştırılmıştır. İç yapılan, yuvarlanma elemanlarının boyutları ve sayıları, kafes tipi imalatçıya göre değişebilir.

Yatak Tipleri

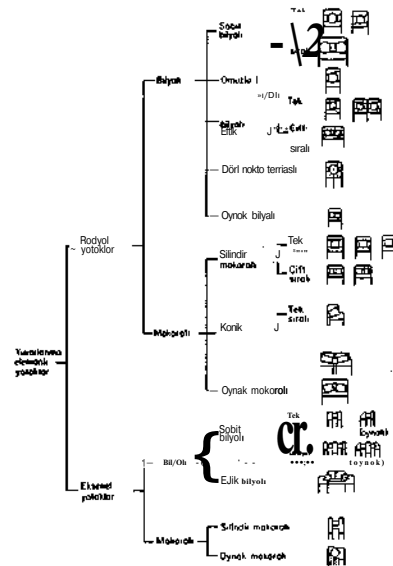
Yuvarlanma elemanlı yataklar uygulanan yük yönüne göre temelde iki gruba ayrılabilir. Mil eksenine dik yöndeki (yanal) kuvvetleri taşıyan yataklar *radyal yataklar* ve mil eksenine yöndeki yükleri taşıyan yataklar da *eksenel yataklar* olarak adlandırılırlar. İç geometrik tasarımları nedeni ile radyal yataklar radyal yüke ek olarak eksenel yük, eksenel yataklar da eksenel yüke ek olarak radyal yük taşıyabilirler. Radyal ve eksenel yataklar da kendi aralarında yuvarlanma elemanının şekline göre sınıflandırılabilirler. Şekil.39 da yuvarlanma elemanlı yatak tiplerinin sınıflandırılması ve kesit şekilleri verilmiştir.

Radyal Yataklar

Sabit bilyalı yataklar çok sık olarak kullanılan yataklardır. İç ve dış bilezikteki yuvarlanma yollarının yarıçapı bilya yarıçapından çok az büyük olduğundan nokta teması sağlanır. Sürtünme katsayısının düşük olması nedeni ile yüksek hızlarda güç kaybı az olur. Sabit bilyalı yatak geometrisi ile diğer yatak tiplerine göre daha hassas yatak yapımı mümkün olduğundan düşük titreşimli ve gürültü seviyeli yataklar yapılabilir. Tek tarafı ya da iki tarafı temassız kapaklı, temassız contalı ve/veya dış bileziği yatak yuvasına eksenel olarak tesbit edilemek için segman yuvalı ve segmanlı olan tipleri de vardır.



Şekil.38- Yuvarlanma elemanlı yatağın parçaları



Şekil J9- Yuvarlanma elemanlı yatakların sınıflandırılması

Çift sıra bilyalı yatakların genellikle bilya doldurma kanalı vardır. Tek sıra bilyalı yataklara göre radyal yük kapasiteleri daha fazladır, ancak eksenel yük kapasitesi bilya doldurma kanalı nedeni ile sınırlıdır.

YATAKLAR

Omuzlu bilyalı yataklar sabit bilyalı yatak ile aynı iç bileziğe sahiptir. Tek sualı sabit bilyah yataklardan farkı dış bileziğinin yuvarlanma yolunun bir tarafının açık olmasıdır. Bu nedenle yatak parçalarına ayrılabilir ve ancak tek yönden gelen eksenel kuvvetleri karşılayabilir. Genellikle bu yatakların ikisi bir inil üzerine yerleştirilir, iç ve dış bileziğin ayrı ayrı takılması montajda kolaylık sağlar.

Eğik bilyalı yatakların iç ve dış bilezik yuvarlanma yollarının birer yanı birbirlerinin ters yönünde açıktır. Böylelikle bilya doldurma kanalı olmadan çok sayıda bilya yerleştirilebilir ve yatak parçalarına ayrılamaz. Yüksek bilyalardan mil eksenine eğik olarak iletilir ve böylelikle radyal ve bir yöndeki eksenel yükleri birlikte taşımaya uygundur. 15°, 30° ve 40° temas açılı eğik bilyalı yataklar vardır. Radyal yükün yatak üzerinde oluşturacağı eksenel kuvveti ya da iki yönden de gelebilecek eksenel kuvvetleri karşılayabilmek amacıyla iki tane eğik bilyalı yatak kullanılmalıdır. Bu yataklar mil üzerinde iki ayrı konumda ve farklı ölçüde olabileceği gibi aynı bir konumda eşleştirilmiş çift olarak da yerleştirilebilirler. Eğik bilyalı yataklar *0-düzeninde (sırt-sırta)*, *X-düzeninde (yüz-yüze)* ya da *landan düzeninde (aynı yönde)* ön yüklemeye ile yerleştirilirler. Yüksek devirlerde ve yüklerde hassas bir çalışma sağlaması nedeni ile takım tezgahlarında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Çift sıralı eğik bilyalı yataklar iç yapı bakımından 0-düzeninde yerleştirilmiş bir çift tek sıralı eğik bilyalı yataktır. Standard yapıdakilerin bilya doldurma kanalı yoktur ve temas açısı 32° dir. Tek sıralı bilyalı yataklara göre daha yüksek radyal yükleri ve iki yönde eksenel yükleri karşılayabilirler.

Dört nokta temaslı yataklar tek sıra bilyalı ve iki parçalı iç bileziği olan yataklardır. Bilya sayılan diğer tek sıralı yataklara göre daha çok olduğundan yük kapasiteleri daha yüksektir. İç bilezik parçalarına ön yüklemeye uygulanarak bilyalar ile bilezikler arasında eğik kuvvet iletimi elde edilerek yerleştirilir. Standard yataklarda temas açısı 35° dir. Bu yataklar her iki yönde de eksenel yük taşırlar.

Oynak bilyalı yatakların çift sualı bilyaları kafes ile birlikte iç bilezik üzerindeki yuvarlanma yollarına yerleştirilmiştir. Dış bilezikteki yuvarlanma yolu iç bükey küre şeklinde olduğundan yatak parçalarına ayrılamaz ancak 4° ye kadar eksen kaçıklıklarından kaynaklanan yerleştirme hataları ya da mil ve yuva esnemelerinden etkilenmez. İç delik yüzeyi silindirik ve manşon (kovan) ile yerleştirilmek üzere konik olanları seri olarak üretilmektedir.

Silindirik makaralı yataklar iç ve dış bilezikleri birbirinden ayrılabilen radyal yataklardır. Silindirik makaralı yatakların makaraları tutan dudakların iç bilezikte ve/veya dış bilezikte olmasına göre N, NU, NJ NUP tipte olanları vardır. Çapı boyuna göre çok küçük silindirik makaralı yataklar *iğneli yataklar* olarak adlandırılır.

Konik makaralı yatakların iç ve dış bilezikleri birbirlerinden ayrılabilen radyal yataklardır. Silindirik makaralı yatakların makaraları tutan dudakların iç bilezikte ve/veya dış bilezikte olmasına göre N, NU, NJ NUP tipte olanları vardır. Çapı boyuna göre çok küçük silindirik makaralı yataklar *iğneli yataklar* olarak adlandırılır.

Konik makaralı yatakların iç ve dış bilezikleri birbirlerinden ayrılabilen radyal yataklardır. Silindirik makaralı yatakların makaraları tutan dudakların iç bilezikte ve/veya dış bilezikte olmasına göre N, NU, NJ NUP tipte olanları vardır. Çapı boyuna göre çok küçük silindirik makaralı yataklar *iğneli yataklar* olarak adlandırılır.

Oynak makaralı yatakların çift sıralı makaraları kafes ile birlikte iç bilezik üzerindeki yuvarlanma yollarına yerleştirilmiştir. Yuvarlanma elemanları fiçi biçimli makaralardan oluşur. Dış bilezikteki yuvarlanma yolu iç bükey küre şeklinde yatağın ayrılmaz parçasıdır. Bu tip yataklar 0.5° ye kadar eksen hataları ve mil esnemelerinden etkilenmezler, iç delik yüzeyi silindirik ve konik olanları seri olarak üretilmektedir. Büyük eksenel yükleri de karşılayabildi oynak makaralı yatakların yağlanması için dış bilezik üzerinde yağlama delikleri ve kanalı olan tipleri de vardır.

Oynak bilyalı ve oynak makaralı yatakların *konik delikli* olanları konik mil üzerine doğrudan ya da silindirik mil üzerine çekme (çektirme) ya da çakma (sıktırma) manşonu (kovanı) ile yerleştirilir.

Eksenel Yataklar

Tek yönlü bilyalı eksenel yataklar bilyaları takım halinde içine yerleştirildikleri kafes ile mil bileziği ve yuva bileziği olmak üzere üç ayrılabilen parçadan oluşur. Parçaları birarada tutabilmek için minimum bir eksenel kuvvet uygulanmalıdır. Bu yataklar sadece tek yönde eksenel yükleri taşırlar, radyal yük taşıyamazlar.

Çift yönlü bilyah eksenel yataklar ayrılabilen iki takım bilya kafesi ve üç bilezikten oluşur. Ortadaki bilezik

YATAKLAR

mile, iki yandaki bilezikler ise yuvaya yerleştirilir.. Bu yataklar iki yönden de gelebilecek eksenel yükleri karşılarlar ve radyal yük taşıyamazlar. Yuva eksenine göre mil ekseninin eğilmesini karşılamak amacıyla küresel yuva bilezikli ve oturma bilezikli olan oynak sabit bilyalı eksenel yataklar da yapılır.

Eğik bilyalı eksenel yataklar iç yapı olarak O-düzeniinde yerleştirilmiş bir çift eğik bilyalı yatağa benzer, iki tane bilya takımı ortak bir yuva bileziğinin iki yanından iki tane mil bileziği ile ön yüklemeli olarak yerleştirilir. Mil bilezikleri arasına ön yüklemeyi ayarlamak amacıyla aralık burcu yerleştirilmiştir. İvğik bilyalı yataklar 60° lik bir basınç açısına sahiptir. Sadece çift yönlü eksenel kuvvetleri karşılayabildi bu yataklar daraltılmış tolerans- ta hassas yataklardır. Bu nedenle genellikle takım tezgahlarında fener millerinde radyal yükü karşılayacak konik delildi çift sıralı silindir makaralı yalak ile yanyana yerleştirilmeye uygundur.

Silindirik makaralı eksenel yataklar parçalarına ayrılabilen bir takım silindir makaraları tutan kafes ile mil ve yuva bileziklerinden oluşur. Genellikle düşük hızlarda darbeli ve ağı' yükler için kullanılır.

Oynak makaralı eksenel yatakların makaraları fiçi şeklinde koniktir. Makara kafesi mil bileziğinin ayrılmaz parçasıdır. Yuva bileziğinin yuvarlanma yolu küresel olduğundan mil eksen kaçıklıkları ve mil esnemelerinden etkilenmez. Bunun sonucu olarak yalak büyük yüklerde ve yüksek hızlarda kullanılabilir. Yatağa uygulanan eksenel yük belli bir minimum değerden daha az olmamalıdır. Yüksek hızlarda merkezkaç ve jiroskopik momentler nedeniyle yuvarlanma elemanları ile bilezikler arasında oluşan kayma hareketini önlemek amacıyla yalığa minimum bir eksenel ön yükleme uygulanmalıdır. Birçok eksenel yatağın aksine radyal ve eksenel yükleri birlikte taşıyabilirler. Ancak radyal kuvvet eksenel kuvvetin %55 inden küçük olmalıdır. Bu yalaklar sıvı yağ ile yağlanmalıdır.

Çalışma koşulları bilinen bir uygulamada doğru bir yatak seçimi çeşitli yalak tiplerinin özelliklerinin bilinmesi ile mümkündür. Çizelge. 11 de standart yatak tiplerinin yük taşıma değerleri, maksimum çalışma hızı, mil eksen eğilme açısı ve sürtünme katsayısı karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Bu çizelgede yatakların yük taşıma değerleri ve maksimum çalışma hızı aynı delik çaplı sabit bilyalı yalığın radyal yük taşıma kapasitesi ve maksimum çalışma hızı baz alınarak göreceli olarak verilmiştir. Bu değerler yaklaşık değerler olup yatak tipinin -belirlenmesinde yol gösterici olarak kullanılabilir. Yalak tipi belirlendikten sonra yapımcı kataloglarından o yatak ile ilgili ayrıntılı teknik özellikler kullanılarak yatak seçimi yapılmalıdır.

10. YATAK SEMBOLLERİ VE TOLERANSLAR

Yuvarlanma elemanlı yataklar salandan ve değiştirilebilir özellikleri nedeniyle yalaklar için karakteristik semboller geliştirilmiştir. Bu sembollerin temel kısmı 3, 4 ya da 5 rakamdan ya da harflerin ve rakamların karışımından oluşur. Şekil.40 da yalak temel sembol sisteminin oluşumu gösterilmiştir. Birinci karakter yatak tipini belirten rakam ya da harf(ler)i, ikinci karakter yatak genişliğini (ya da yüksekliğini) belirten rakamı, üçüncü karakter ise dış çapı belirten rakamı gösterir. Dördüncü ve beşinci (son iki) karakterler ise yatak delik çapını belirtir.

Genişlik (ya da yükseklik) ile dış çapı belirleyen semboller *boyut serisi*, tip ve boyut serisini belirleyen semboller *yatak serisi* olarak adlandırılır. Şekil.40 da parantez içinde gösterilen semboller bazı yataklarda pratik nedenlerle kullanılmamakta ve bu nedenle temel semboldeki rakam sayısı azalmaktadır. Delik çapı sembolü 04 ve daha yüksek olan sayıların 5 ile çarpımı mm olarak yalak delik çapını belirtil'. 04 den küçük semboller için delik çapları aşağıda verilmiştir.

YATAKLAR

Cizel54e.il- Yatak Tiplerinin Özellikleri (12)

Yatak Tipleri	Göreceli Yük Taşıma Kapasitesi		Hız Faktörü	Mil Eğim Açısı	Sürtünme Katsayısı
	Radyal	Kksenel			
RADYAL					
Sabit bilyalı	1,0	0,7	1,0	Normal ±8" C3 ±12' C4 ±15'	0,0015
Bilya doldurma kanallı	1,2-1,4	0,2	1,0	±3'	
Çift sıra bilyalı	1,5	1,4	1,0	±0'	
Bilya doldurma kanallı	1,5	0,2	1,0	±3'	
Omuzlu bilyalı	0,9-1,3	0,5-0,9	1,0	±5'	
Eğik bilyalı	1,0-1, 15	1,5-2,3	1,0-1,3	±2'	0,0020
Sırt-sırta	1,85	1,5	3,0	±1'	0,0024
Yüz-yüze	1,85	1,5	3,0	±r	0,0024
Tandem	1,85	2,4	3,0	±r	0,0024
Çift sıralı	1,5	1,85	0,8	±r	0,0024
(bilya doldurma kanallı)	1,65	0,5-1,5	0,7	±r	0,0024
Dört nokta temaslı	1,15	1,5	3,0	±2'	0,0022
Oynak bilyalı	0,7	0,2	1,0	±5°	0,0012
Silindir makaralı	1,55	0	1,15	±5°	0,0011
Çift sıralı	1,85	ü	1,0	0°	0,0011
Konik makaralı				±2°	0,0018
Oynak makaralı	2,40	0,70	0,5	± 2°30'	0,0018
EKSENEL					
Sabit bilyalı					
Tek yönlü	0	1,5	0,3	0°	0,0013
Çift yönlü	0	1,5	0,3	0°	
Eğik bilyalı					0,0013
Oynak makaralı	0,1	1,8-2,4	0,35-0,50	+3°	0,0018

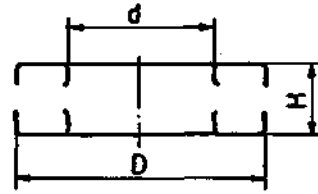
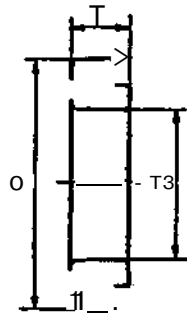
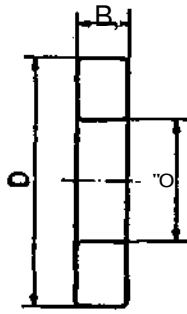
Sembol	• Delik çapı (mm)
00	10
01	12
02	15
03	17
04x5	20

Normal bir yatak yapısından farklı veya değiştirilmiş, yapıdaki yatakları belirtmek için bu temel sembollere ek olarak *ek semboller* kullanılır. *Ön ek semboller* parçalarına ayrılabilen yuvarlanma elemanlı yatakların bir parçasını belirtmek için kullanılır. *Son ek semboller* ise yatağın iç geometrisi, dış ölçü ve şekli, keçe, kapak, bilezik vb. elemanları, kafes tipleri, yatak ana ölçüleri üzerindeki tolerans sınırlarını belirten tolerans sınıflarını, yatak içi boşluğu, çalışma sırasındaki gürültü seviyesi ve sıcaklığı, yağlama için şekil değişiklikleri, yağlama maddeleri ve özel imalat ile ilgili bilgileri belirtmek için kullanılır.

Yatak Toleransları

Yuvarlanma elemanlı yatakların iç ve dış bileziklerinin ölçüleri çeşitli tolerans sınıfları ile standardlaştırılmıştır. Yatak toleransları olarak delik çapı, dış çap ve genişlik toleransları, iç bilezikle yuvarlanma yolu ile yan yüzü arasındaki, dış bilezikte ise yuvarlanma yolu ile dış yüz/ey arasındaki *yanal salgılar*; iç bilezik ve dış bilezik yuvarlanma yolları ile mil eksenine dik referans bir düzlem arasındaki *eksenel salgılar* milir. Normal toleranslı, PO, yatakların tolerans sınıfı belirtilmez. Daraltılmış toleranslı (I'6, I'5, P4 ve daha küçük) yataklar çok hassas mil kılavuzlamalarda ve çok yüksek dönme hızlarında gereklidir. Takım tezgahlarının iş milleri gibi özel duyarlılık gerektiren uygulamalar için *özel duyarlılık S1'*, *ileri duyarlılık UF* ya da *yüksek duyarlılık, Hü* tolerans sınıflarında yataklar kullanmak gereklidir.

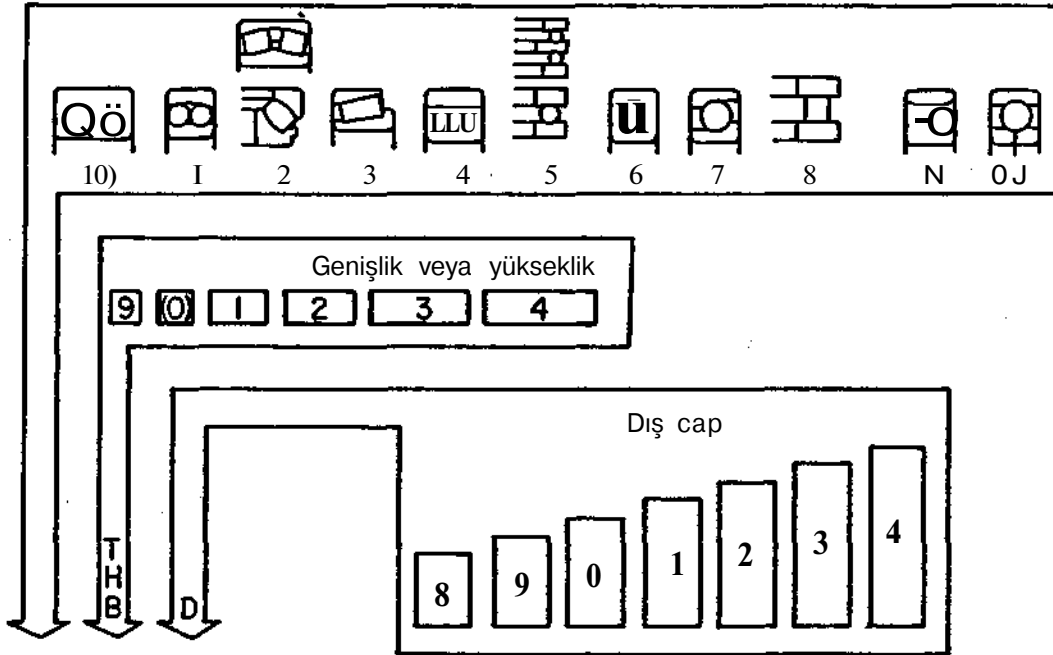
YATAKLAR



RADYAL YATAKLAR

EKSENEL YATAKLAR

YATAK TİPLERİ



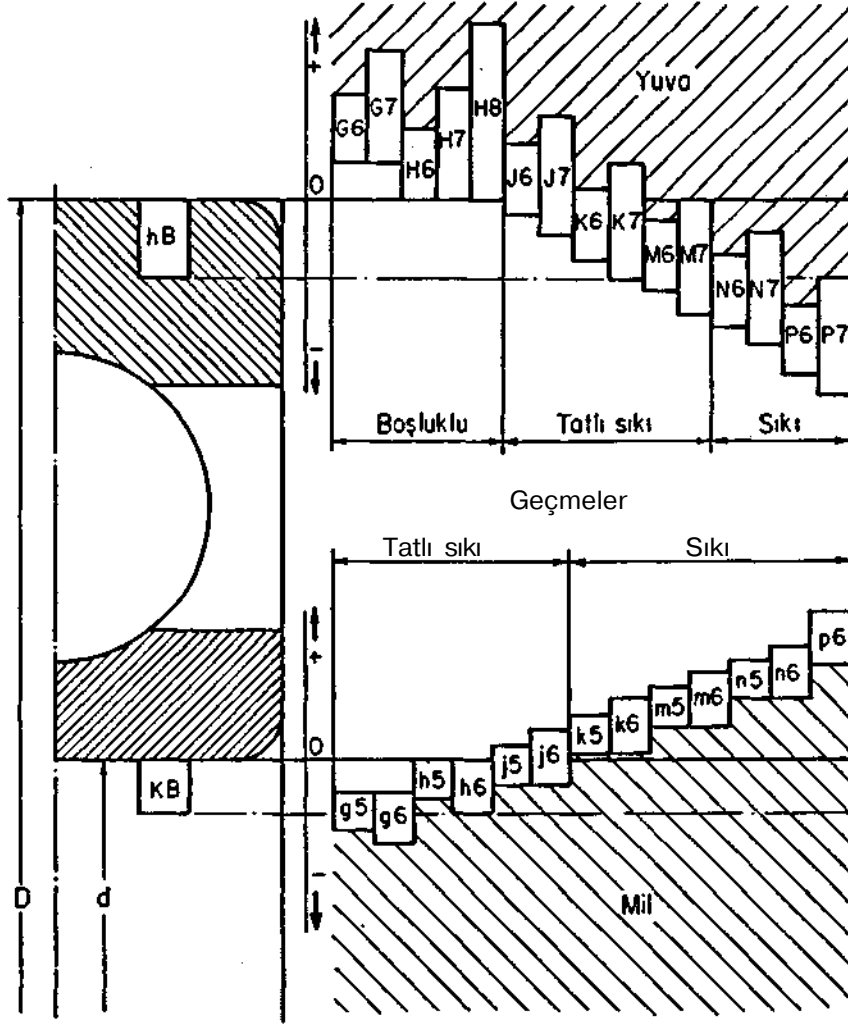
00000

Yatak serisi

Şekil. 40- Yuvarlanma elemanlı yatak temel sembol sistemi

YATAKLAR

Yatakların delik çap toleransları ve dış çap toleransları standardlaştırılmıştır. Ancak bu toleranslar ISO alışırma sistemlerinin tolerans alanlarından farklıdır. Yatakların yerleştirilmesinde mil ve yuva için kullanılabilecek tolerans alanlarının yatak ve iç dış çap tolerans alanlarına göre konumları Şekil.41 de gösterilmiştir.



Şekil.41- Yatak delik ve dış çap toleranslarına göre mil ve yuvada kullanılabilecek tolerans bölgeleri

Yatak Boşlukları

Yatak boşluğu, yatağın bir bileziğinin diğerine göre yatak üzerinde yük yok iken hareket edebileceği aralıktır. Eksenel yöndeki hareket aralığı *eksenel boşluk*, radyal yöndeki hareket aralığı *radyal boşluk* olarak adlandırılır.

Yatak yerleştirmede sıkı geçme nedeni ile iç bileziğin genişmesi, dış bileziğin de daralması sonucunda çalışma sırasındaki radyal yatak boşluğu, genellikle yatak yerleştirilmeden önceki boşluktan daha azdır. Çalışma koşullarında milin duyarlı bir şekilde kılavuzlanması için yatağın iç boşluğu sıfıra yaklaşmalıdır. Yataklarda radyal boşlukları belirtmek için C1, C2, (normal), C3, C4 ve C5 (artan boşluk ile) son ek semboller kullanılır.

YATAKLAR

11. YATAK BÜYÜKLÜĞÜNÜN BELİRLENMESİ VE YATAK SEÇİMİ

Yük Sayıları

Yatak hesaplarında yük kapasitesi ölçüsü olarak yatak tipine ve ölçüsüne bağlı olarak karakteristik büyüklük olan yük sayıları kullanılır.

Statik Yük Sayısı

Durun ya da çok düşük devirlerde ($n < 33$ d/dak) dönen ya da yavaş salınım hareketi yapan yataklarda yatağa uygulanabilecek maksimum yük, yuvarlanma yolunda yuvarlanma elemanlarının oluşturulabilecekleri kalıcı şekil değişiklikleri ile sınırlanmaktadır.

Statik yük sayısı bir yatağın en fazla yüklenen bölgesindeki yuvarlanma elemanı ile bileziklerdeki yuvarlanma yollarında toplam olarak yuvarlanma elemanı çapının 0,0001 i oranında kalıcı bir şekil değişikliğini oluşturan statik yük değeri olarak tanımlanır. Bu yük radyal yataklarda *radyal statik yük sayısı*, C_{0a} eksenel yataklarda *eksenel statik yük sayısı*, C_0 , yatak tipi ve büyüklüğüne bağlı olarak kataloglarda verilir. Yüksek hızda dönen milleden yataklarında kısa süreli şiddetli darbe yüklerinde de bu yük sayısının gözönüne alınması gereklidir.

Dinamik Yük Sayısı

Dinamik yük sayısı yük altında dönen yuvarlanma elemanlı yatakların hesaplarında kullanılır. Eğer bir yatak yük altında dönüyorsa, yatak bileziklerinde ve yuvarlanma elemanlarındaki lemiş gerilmelerinin zamana göre değişmesi ile yüzey tabakasında malzeme yorulması meydana gelir ve çalışma ömrü yüzeylerin pul halinde dökülmesi (soyulma) ile sınırlanmaktadır. Bir yatağın ideal (gerçek) ömrü, yatağın bileziklerinde ya da yuvarlanma elemanlarında malzeme yorulmasının ilk belirtilerinin ortaya çıkmaya başlamasına kadar geçen sürede yaptığı toplam devir sayısıdır.

Deneylerde birbirinin aynı (tip, boyut, malzeme) olan yatakların, tamamen aynı çalışma koşullarında (yük ve yüklenme şekli, yerleştirme şekli, hız) farklı ömürlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle birbirinin tamamen aynı olan bir yatak grubundaki yataklardan en az %90 inin eriştiği ya da aşığı ömür *nominal ömür* olarak tanımlanır ve bu ömür %90 güvenilirliğin karşılığıdır. Yataklarda bu ömür genellikle grubun ortalama ömrüne (%50 güvenilirliğe) karşı gelen ömrün 1/5 dir.

Dinamik yük sayısı bir yatağın nominal ömrünün 10^6 devir sayısına eriştiği süredeki yük olarak tanımlanır. Bu değer radyal yataklarda *radyal dinamik yük*, O , eksenel yataklarda *eksenel dinamik yük*, C_a olarak kataloglarda yatak tipi ve büyüklüğüne bağlı olarak verilir. Bu değerler 120°C ye (özel durumlarda 150°C ye) kadar sabit çalışma sıcaklıkları için geçerlidir. Daha yüksek sıcaklıklardaki çalışmada yatak malzeme yapısının değişmesi nedeniyle ile dinamik yük sayısı azalır. Bu durumlarda yatağın çalışına sıcaklığı ek sembol olarak yatak sembolünde gösterilir, bu sıcaklıktaki dinamik ve statik yük sayıları

$$C_s = f_s \cdot C \quad \text{ve} \quad C_a = f_a \cdot C_a \quad (31)$$

olarak hesaplanır. Burada f_s sıcaklık katsayısı kataloglarda verilir.

Yatak Büyüklüğünün Belirlenmesi

Yük altında duran ya da çok düşük devirlerde ($n < 3d/\text{dak}$) dönen ya da çok yavaş salınım hareketi yapan yuvarlanma elemanlı yatakların büyüklüğü statik yük sayısına göre belirlenir. Radyal ve eksenel bileşeni olan statik kuvvet ile yüklenen bir yatak için *eşdeğer statik yük* IV aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 r_a \quad (32)$$

Burada F_r : maksimum statik yükün radyal bileşeni
 F_a : maksimum statik yükün eksenel bileşeni
 X_0 : yatağın statik radyal yük katsayısı
 Y_0 : yatağın statik eksenel yük katsayısı

X_0 ve Y_0 değerleri yatak tipine bağlı olarak kataloglarda verilir. F_a değeri F_r dan küçük çıkarsa eksenel yük dikkate alınmaz ve $P_0 = F_r$ olarak alınır.

İşletme koşullarına göre ortaya çıkan maksimum eşdeğer yükün yatağın statik yük sayısına oranı statik yük taşıma emniyeti, S_0 olarak tanımlanır.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} \quad (\text{radyal yataklar için}) \quad \text{ya da} \quad \frac{C_{0a}}{P_{0a}} \quad (\text{eksenel yataklar için}) \quad (33)$$

YATAKLAR

Genci olarak Su için aşağıdaki minimum değerler alınır.

<u>İşletme Koşulları</u>	<u>So</u>
Titreşimsiz statik yük varsa ve çalışma gürültüsü çok önemli değilse	0.5
Normal çalışma şartlarında ve çalışma gürültüsünde	1.0
Şiddetli darbeli yüklerde	1.5-2.0
Özellikle sessiz çalışma isteniyorsa	> 2.0

Radyal ve eksenel bileşenleri olan bir kuvvet altında dönmekte olan bir yatağın çalışma ömrünün hesaplanabilmesi için eşdeğer dinamik yük P , tanınlanır.

$$V = XF_r + YF_a \quad (34)$$

Burada F_r : Radyal yük
 F_a : Eksenel yük
 X : Dinamik radyal yük katsayısı
 Y : Dinamik eksenel yük katsayısı

X ve Y katsayıları kataloglarda eksenel-radyal yük oranına (F_a/F_r) bağlı olarak verilir. Bu yük oranının sınır değeri, e , yuvarlanma elemanlı yatağın geometrisine ve iç yapısına bağlı karakteristik bir değerdir.

Tek sualı radyal yataklarda :

Yük oranı $F_a/F_r \leq e$ için $X = 1$ ve $Y = 0$ dır. Bu nedenle $P = F_r$ alınır.

Yük oranı $F_a/F_r > e$ için X ve Y katsayıları kataloglarda verilir.

Sabit bilyalı tek su'alı yalıklarda yük oranı sınır değeri, e , eksenel yük-statik yük sayısı oranına, F_a/C_0 ; bağlı olarak verilir. Bu nedenle bu tip yatak seçiminde aranılan şartları sağladığı varsayılan bir yalak seçilir ve böylelikle F_a/C_0 oranı hesaplanarak e değeri ve X ve Y katsayıları bulunur. Aşağıda verilen ömür hesabı yapılır ve bu seçilen yatak için istenilenlerin sağlanamaması durumunda işlemler yeni bir yatak için tekrarlanır.

Eksenel yuvarlanma elemanlı yalıklar radyal yük taşıyamadıkları için dinamik eşdeğer yük eksenel yük olarak alınır.

$$P = F_a \quad (35)$$

Eksenel oynak makaralı yataklar ise radyal ve eksenel yük taşıyabilirler. Genellikle $F_r < 0.55 F_a$ olmalıdır. Bu durumda eşdeğer dinamik yük

$$P = F_r + 1/2F_a \quad (36)$$

olarak alınır.

Çalışma Ömrü Hesabı

Normal çalışma şartlarında yuvarlanma elemanlı yataklar genellikle yağlamanın yetersizliği, kirlenme, katı yabancı maddelerin yalağa girmesi, mil ve yuva eksenlerinin birbirini karşılamaması (hatalı yerleştirme) gibi nedenlerle beklenenden önce hasara uğrarlar. Bu olumsuz koşulların olmadığı varsayılırsa bir yuvarlanma elemanlı yatağın performansı, yuvarlanma elemanı ve yuvarlanma yolu yüzeylerindeki malzeme yorulması ile sınırlanmaktadır. Bu da temas bölgelerindeki çok yüksek Hertz temas gerilmelerinin değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yatak ömrü uygulanan yüke ve dönme hızına bağlıdır. Yalak hasarına malzeme yorulması neden olduğundan yatak ömrü istatistiksel olarak bulunabilir. Birbirinin aynı olan çok sayıda bir yatak grubunu belli bir yük ve dönme hızında kontrollü deney şartlarında deneyerek çalışma ömrü belirlenir.

Yuvarlanma elemanlı yataklarda nominal yatak ömrü dinamik yük sayısı ve eşdeğer dinamik yatak yükü arasındaki eşitlik ile verilir.

$$\dots \quad (37)$$

YATAKLAR

- Burada C: yatağın dinamik yük sayısı
P : eşdeğer dinamik yatak yükü
k : çalışma ömrü eşitliği üssü
bilyalı yataklar için k = 3
makaralı yataklar için k = 10/3
L : ideal şartlarda nominal çalışma ömrü (milyon devir olarak).

Nominal çalışma ömrü yuvarlanma elamanlı yatak çeliğinin iyi kalite, sertleştirilmiş olması ve doğru yerleş-tirme, iyi yağlama, güvenilir sızdırmazlık, çalışma sıcaklığının çok düşük ya da çok yüksek olmaması ve temiz çalışma koşulları gibi kusursuz işletme ortamı için geçerlidir. Bu koşullardan sapmalar ideal koşullarda beklenen nominal çalışma ömrünü kısaltır ya da uzatır.

ISO düzeltilmiş çalışma ömrü denklemi:

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1}{I} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{P}} \quad (38)$$

- Burada a₁: güvenilirlik katsayısı
a₂: malzeme katsayısı
a₃: işletme koşulları katsayısıdır.

Genellikle yatak malzemesi ve işletme koşulları arasındaki bağımlılık nedeni ile bu her iki katsayısı kapsayan ortak bir katsayı a₃ kullanılır. Bir rulmanlı yatağın yuvarlanma elemanı yüzeyleri ile yuvarlanma yolu arasında yeterli derecede yük taşıma kabiliyeti olan bir yağ tabakasının oluşabilmesi için yatağın çalışma sıcaklığındaki yağ viskozitesinin belli bir değerin altına inmemesi gerekir. Yeterli bir yağlama için gerekli *en az yağ kinematik viskozitesi*, v, elastohidrokinematik yağlama teorisi kuralları ile belirlenmiştir. Yuvarlanma elemanlı yataklar için olması gereken en az yağ kinematik viskozitesi ortalama yatak çapına, d_m ve mil hızına, n (d/dak), bağlı olarak Şekil. 42 de verilmiştir. Şekil.43 de ISO sınıflandırma sistemine göre Viskozite İndeksi 95 olan ISO VG numaralı yağların viskozitelerinin çalışma sıcaklığına göre değişimi gösterilmiştir. Bu şekil eksenlerinden, çalışma sıcaklığındaki gerekli en az yağ viskozitesi ve yatak çalışma sıcaklığı girilerek kullanılması gereken yağ numarası bulunabilir. Çalışma sıcaklığı ve yağ numarası biliniyor ise yine bu şekil yardımıyla *çalışma sıcaklığındaki kinematik viskozite*, v, bulunur. Şekil.44 de 333 katsayısının *viskozite oranına*, x = v/x>1, göre değişimi çalışma koşullarına bağlı olarak üç ayrı bölgede tanımlanmıştır. Bu bölgeler ve çalışma koşulları şöyle sıralanabilir :

Bölge Çalışma Koşulları

- A** Yatak yüzeylerinin ve yağın en yüksek temizlikte ve yüklemenin aşın olmadığı durumlarda yüzeylerin yağ filmi ile tamamen ayrıldığı ideal işletme koşulları
B Uygulamada genellikle elde edilebilecek normal çalışma koşullarında
C Kullanılan yağın yeterli derecede temiz olmadığı ve elverişsiz işletme koşulları

Radyal ve aksel oynak makaralı yataklarla konik makaralı yataklarda işletme sıcaklığı genellikle aynı çalışma şartlarında ve aynı çaptaki diğer yataklara göre daha yüksektir. Bu nedenle gerekli en az yağ viskozitesi daha yüksektir.

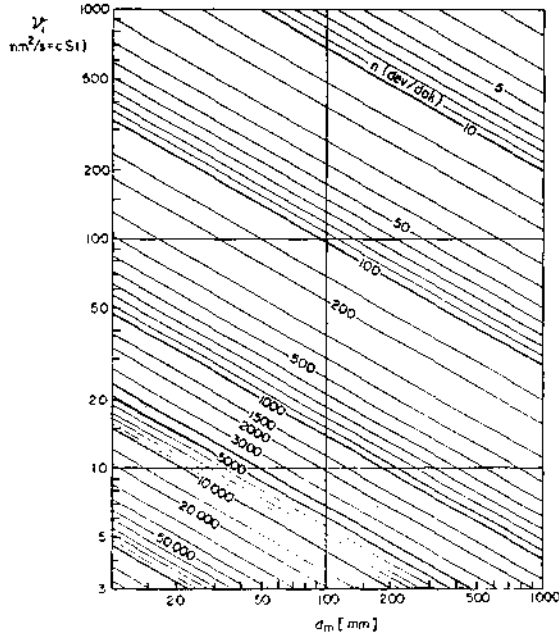
Çalışma sıcaklığındaki yağ viskozitesi, olması gerekli en az yağ viskozitesinden daha yüksek seçilerek yatak ömrü artırılabilir. Bununla beraber yüksek viskozite çalışma sıcaklığının atmasına da neden olduğundan pratikte yağlamanın bu şekilde geliştirilmesi pek mümkün değildir. Eğer gres kullanılıyorsa x> için greste temel yağın çalışma sıcaklığındaki viskozitesi alınır.

Genellikle viskozite oranı X = v) A), 1,0 den küçük ise EP katkı maddeli yağların kullanılması tavsiye edilir. Eğer bu oran 0,4 den de küçükse katkı maddeli yağlar kesinlikle kullanılmalıdır. EP katkı maddeli yağlar viskozite oranının 1,0 den yüksek olduğu durumlarda da yatak çalışma güvenilirliğini artırmak için kullanılabilir.

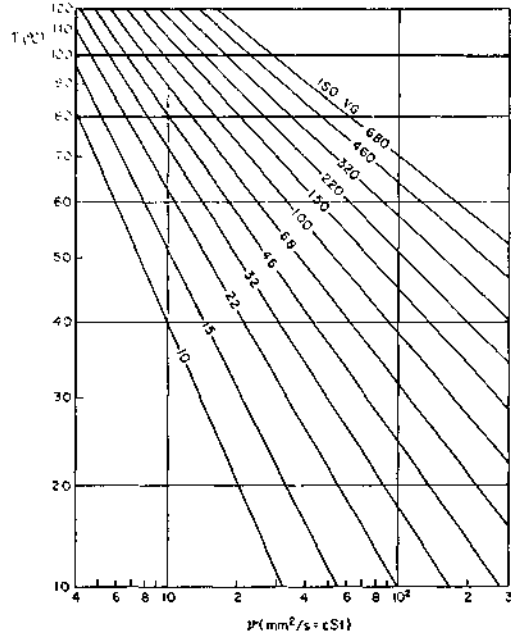
Korozyon ve yaşlanmaya karşı katkı maddeleri ile takviye edilmiş yağlar (sembol harf L); ağır yüklerde (C/P < 10) aşınmayı azaltıcı, çalışma ömrünü uzatıcı, yüksek basınç katkı maddeleri bulunan (EP katkılı, sembol harf P) yağlar; düşük yüklerde (C/P < 40) silikon yağlar tavsiye edilir.

$$a, a_2 \int_{j_0}^1 p^k n dt = 10^6 c^k \quad (39)$$

YATAKLAR



Şekil.42- Gereklî en az yağ viskozitesini



Şekil.43- ISO yağların viskozite-sıcaklık değişimi

Değişken Yük ve Hızlarda

Yukarıda verilen yatak hesabı sabit radyal ve eksenel yükler için geçerlidir. Uygulamada birçok durumda yatak Üzerindeki radyal, eksenel kuvvetler ve dönme hızı sabit değildir. Şekil.45 de gösterildiği şekilde en genel durumda radyal, eksenel kuvvetler ve hız zaman ile değişiyor ise sonsuz küçük bir zaman aralığı, dt, için eşdeğer dinamik yük, P, (34) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır. Bu yükün çalışma süresince yatak üzerine uygulanması ile oluşturacağı kalıcı metal yorulma hasarı (38) numaralı eşitliğin aşağıdaki şekilde yeniden yazılması ile gerekli yük sayısı hesaplanır.

En Yüksek Hız Sınırı

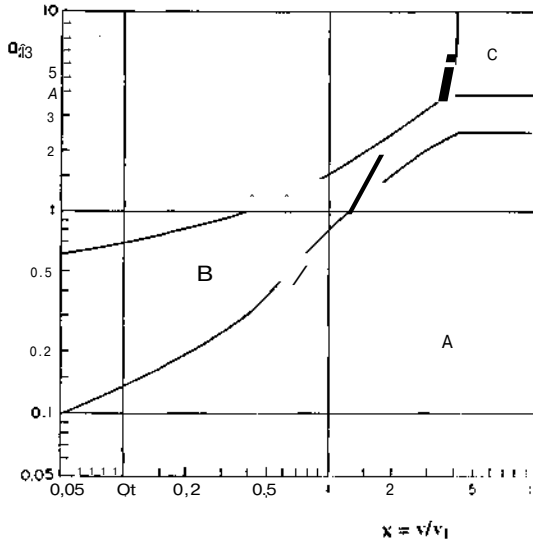
Yuvarlanma elemanlı yatakların güvenilir olarak çalışabilecekleri en yüksek hız, n_{maks} (d/dak), yatak tipine, boyutlarına, iç boşluğuna, iç tasarımına, kafes tipine, yükün büyüklüğüne, yağ cinsine, yağlama ve soğutma yöntemine bağlı olarak yatak sıcaklığı ve merkezkaç kuvvetlerin etkisiyle sınırlanmaktadır. Küçük yataklarda (d_m ya da $YDH < 50$ mm) 100000 saat çalışma ömrü için yatak tipine bağlı olarak ortalama yatak büyüklüğü ile en yüksek hız çarpımı A sabiti ile verilir. Şekil.46 da radyal, Şekil.47 de ise eksenel yataklar için A sabiti ve erişilebilecek en yüksek hızın yatak büyüklüğüne göre değişimi gösterilmiştir (2). Farklı yatak büyüklükleri ve çalışma ömrü için

$$\text{Radyal Yataklarda } d_m \cdot n_{maks} = f_1 \cdot f_2 \cdot A$$

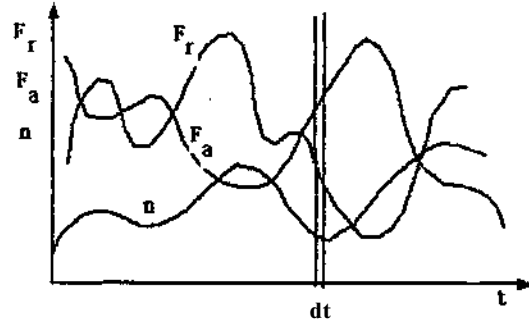
$$\text{Eksenel Yataklarda } V_{\text{H}} \cdot n^{\wedge} = f_1 \cdot f_2 \cdot A$$

eşitlikleri kullanılır. Burada f_1 , yatak boyut katsayısı ortalama yatak büyüklüğüne göre Şekil.48 de ve f_2 , yatak ömrü katsayısı ise ortalama yatak büyüklüğüne göre çeşitli çalışma ömrü değerleri için Şekil.49 verilmiştir. 100000 saat çalışma ömrü için yatak tipi ve büyüklüğüne bağlı olarak yağ ve gres ile yağlamada elde edilebilecek hız değerleri yapımcı kataloglarında verilmiştir. Gres ile yağlamada erişilebilecek en yüksek hız sıvı yağlamaya göre genellikle %20-30 daha azdır.

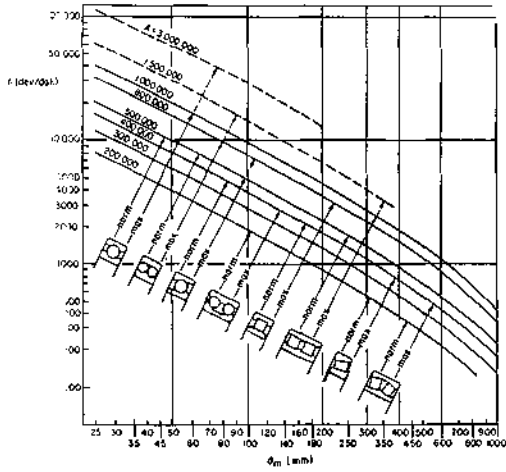
YATAKLAR



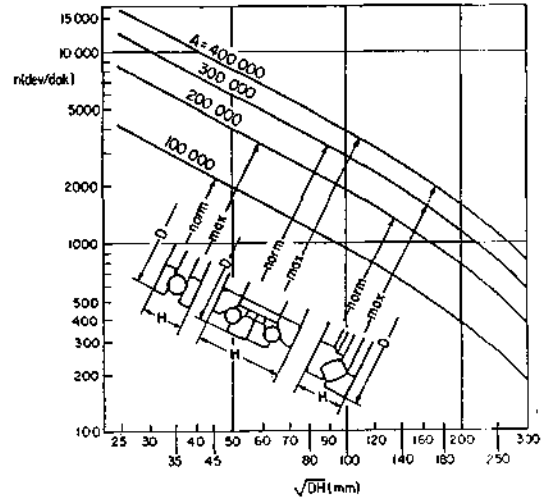
Şekil.44- a, l katsayısının viskozite oranına göre değişimi



Şekil.45- Değişken yüklenme

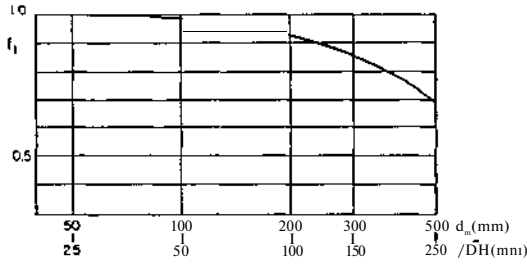


Şekil.46- Radyal yatakların erişebileceği en yüksek hız (2)

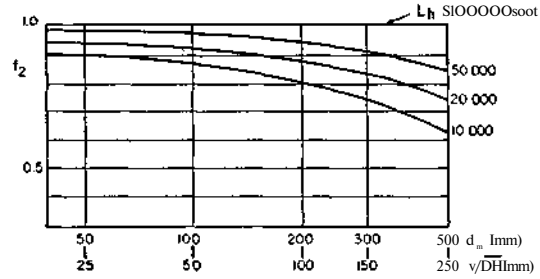


Şekil.47- Eksenel yatakların erişebileceği en yüksek hız (2)

YATAKLAR



Şekil. 48- Yatak büyüklük katsayısı (2)



Şekil. 49- Çalışma ömrü katsayısı (2)

Yatak Tipinin Seçimini Etkileyen Etmenler

Yatak tipinin seçiminde her uygulama için geçerli olabilecek kurallar verilemez. Ancak, yatak tipi seçiminde gözönüne alınması gereken birçok faktör vardır. Yatakların birbiriyle karşılaştırılması yapılarak en uygun tip belirlenebilir. Bu faktörler şöyle sıralanabilir :

Yer durumu : Genellikle yatak delik çapı mil taşanını ile belirlenir. Yatak dış çapı ve genişliği yatağın yerleştirilebileceği gövde içinde ayrılacak yer ile sınırlanabilir. Genellikle içtenli, silindirik makaralı sabit bilyalı ve oynak makaralı yataklar radyal yerin az olduğu, sabit bilyalı ve silindirik makaralı yataklar dar yatakların gerekli olduğu yerde kullanılır.

Yük : Yatak büyüklüğünü belirleyen en önemli faktördür. Genellikle makaralı yataklar aynı boyutlardaki bilyalı yataklardan daha fazla yük taşırlar. Silindirik makaralı yataklar dışındaki diğer radyal yataklar ve sabit bilyalı (tek yönlü veya çift yönlü) eksenel yataklar dışında diğer eksenel yataklar radyal ve eksenel yükleri birlikte taşıyabilirler. Genellikle radyal bileşeni eksenel bileşenine göre daha büyük olan yüklemeler için radyal yataklar, tersine durumlar için eksenel yataklar kullanılmalıdır.

Eğik konumlar: Mil ekseninin yük altında yuva eksenine göre eğilmesi ya da yapım ve montaj sırasında gövdede birbirinden uzak yatak yuvalarının eksenlerinin kaçık olması gibi durumlarda eğik konumlar oluşabilir. Yataklarda izin verilebilen en yüksek mil eğim açılan yatak tipine, iç boşluğuna ve çalışmada istenilen güvenilirliğe bağlıdır. Eğim açısının büyüklüğüne bağlı olarak yatak iç bileziğinin dış bileziğe göre açılma hareketine olanak sağlayan küresel yüzeyli (oynak) yataklar kullanılmalıdır.

En yüksek çalışma hızı : Yataklarda en yüksek çalışma hızı çalışma sıcaklığı ile sınırlanmaktadır. Genellikle, radyal yüklerde sabit bilyalı ya da silindirik makaralı, bileşik yüklerde ise eğik bilyalı yataklar sürtünme katsayılarının düşük olması nedeniyle yüksek hızlara erişilebilir.

Çalışma duyarlılığı : Yüksek çalışma duyarlılığı istenilen millerde inil ve yuva rijit olarak yapılmalı ve aynı hassasiyetle izlenmelidir. Yüksek çalışma duyarlılığı genellikle sabit bilyalı, eğik bilyalı, iki sıralı silindirik makaralı yataklar ile eğik bilyalı eksenel yataklar ile elde edilir.

Rijitlik (esnemezlik) : Yük altında makaralı yatakların aynı çaplı bilyalı yataklara göre elastik şekil değiştirmeleri daha küçük olduğundan daha rijittir.

12. YATAK YEKLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Yatakların mil üzerine gelen kuvvetleri iletenin yanı sıra çalışma sırasında mili yuvası içinde radyal ve eksenel olarak istenilen yerde sabitleme görevleri de vardır. Yatağın iç veya dış bileziğinin yerleştirildiği parçalarındaki ısıl genleşmeler, ya da montaj sırasındaki aşırı sıkıştırmalar yatağın kasılmasına neden olabilir. Bu nedenle yatağın mil ve yuvaya yerleştirme şekli ile mil ve yuva ile olan geçmelerin büyük önemi vardır.

Geçmeler çalışma koşullarına uygun sıklıkta seçilmelidir. Yatak tipine, yatak büyüklüğüne, yük oranına (C/P) göre tavsiye edilen mil ve yuva toleransları yapımcı kataloglarında verilmiştir. Genelde yük ve darbeler ne kadar büyük olursa geçmelerin de o kadar sıkı olması gerekir. Büyük yataklar için ($d > 200$ mm) genellikle sıkı geçmelerde daha sıkı, boşluklu geçmelerde ise daha boşluklu geçmeler seçilmelidir. Ancak, uygulanan sıklığın bileziklerde dengesiz bir şekil bozukluğu oluşturmaması gerekir. Normal çalışma duyarlılığı aranan koşullarda milde 6, yuvada ise 7 alıştırma kalitesi yeterlidir. Sessiz çalışma ve mil dönme duyarlılığının yüksek olması iste-

YATAKLAR

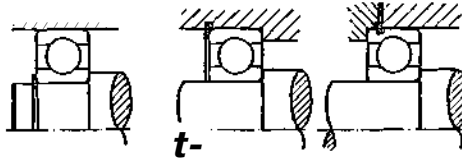
nilen uygulamalarda daha iyi kaliteler seçilmelidir. Yatakların germe veya çakma kovanı ile (manşonu) takılması durumunda mil toleransı b.7 ya da h8, sıkıştırma kovanı ile takılması durumunda da h9 ya da h10 uygundur.

Genellikle dönmekte olan bir mili desteklemek, radyal ve aksel olarak tesbit etmek için iki noktadan yataklarıdır. Normal olarak bu yataklardan birinin mili aksel olarak tesbit etmesi gerekir. Bu nedenle bu yatağa *sabit yatak* denir ve radyal ve aksel yükü birlikte taşır. Diğer yatağın ise, milin ve/ya da yuvanın sıcaklık artışı ile uzamasına, ve/ya da elastik esnemesine (şekil değişikliğine) karşı iç ya da dış bileziğinin aksel yönde kayabileceği şekilde yerleştirilmiş olması gerekir. Bu nedenle bu yatağa *serbest yatak* denir ve sadece radyal yük taşır.

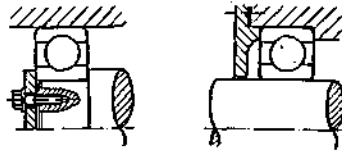
Sabit yataklama için, yatağın iç ve dış bileziklerinin mil ve yuva üzerinde her iki yandan da desteklenmesi gereklidir. Sabit yatak, bir çift eğik bilyalı ya da konik makaralı yatağın iç ya da dış bileziklerinin birbirlerini sabitlemesi ile de sağlanabilir.

Silindirik makaralı yatakların N ve NU tiplerinin her iki bilezikleri de sıkı geçme yerleştirilir. Bu yatakların iç düzenleri aksel kaymaya uygundur. Diğer yataklar için aksel serbestlik (kayma) mil ya da yuva yüzeyinde boşluklu (kaygan) geçme ile sağlanır.

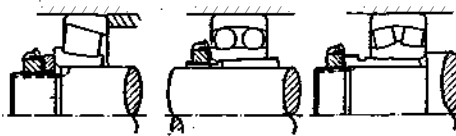
Yatak bileziklerinin tesbitlenmesinde sıkı geçme yeterli olmayabilir. Bu durumlarda bileziğin bir yanı mil ya da yuva üzerindeki faturaya (omuza) dayandırılır. Diğer yanından ise Şekil.50 de gösterildiği şekilde aksel yönde tesbitleme elemanları kullanılır. Bunlar mil ya da yuva içine yerleştirilmiş emniyet segmanları ya da dış bileziği segmanlı yatak; mil ucuna ya da yuva yan yüzüne vida(lar) ile takılabilen kapak (ya da plaka); gevşemeyi önleyici emniyet sacı ile birlikte mil somunları ya da koni delikli yataklar için somunlu ve emniyet sacı germe (çektirme) kovanları (manşonları) ya da çakma (sıkıştırma) kovanları olabilir.



a. Emniyet segmanı ile



b. Kapak ya da plaka ile



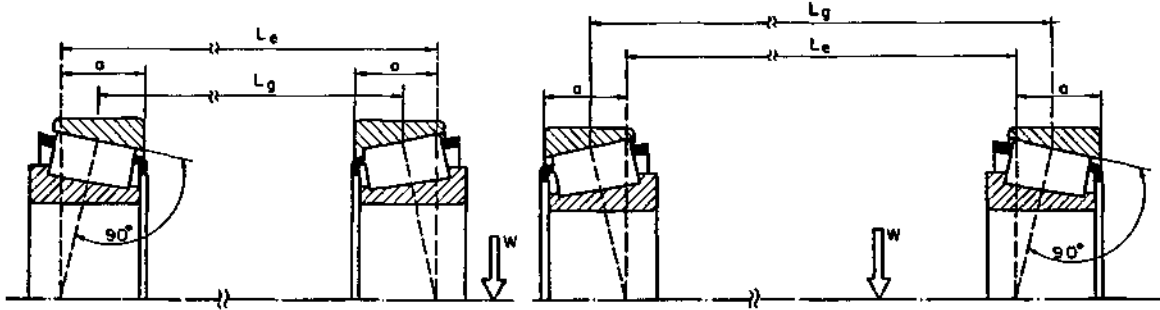
c. Somun ya da Kovan ile

Şekil.50- Yatak bileziklerini sabitleme şekilleri

YATAKLAR

Konik makaralı ve eğik bilyalı yataklar çift olarak kullanılır. Bu yatakların birbirine göre yerleştirilme şekli mil-yatak düzeninin direngenliğini belirler. Şekil.51 de konik makaralı yataklar için gösterilen farklı yatak yerleştirme düzenleri, eğik bilyalı yataklar için de geçerlidir. Yataklar arası *gerçek uzaklık* (geometrik uzaklık) L_g , ve yuvarlanma elemanlarının yüklenme çizgilerinin mil ekseninin kestiği yüklenme noktaları arasındaki uzaklık *etkin uzaklık* L_e , olarak tanımlanır. Bu tip yataklar için yüklenme noktası ile yatak yan yüzü arasındaki uzaklık, a , kataloqlarda verilir.

Şekil.51.a daki O-düzeninde etkin uzaklık geometrik uzaklıktan daha büyük olduğundan yataklar dışından yüklenme durumunda mil esnemesi daha az olacağı için mil direngenliği daha yüksektir. Şekil.51 b deki X-düzeninde ise etkin uzaklık geometrik uzaklıktan daha küçük olduğundan yataklar arasından yüklenme durumunda mil esnemesi daha az olacağı için direngenliği daha yüksektir.



a. O-Düzeni (sırt-sırta yerleştirme)

b. X-Düzeni (yüz-yüze yerleştirme)

ŞekU.51- Konik (ya da eğik bilyalı) yatak yerleştirme şekilleri

KAYNAKÇA

- (1) SZERI, AZ., Tribology, McGraw-Hill, 1979.
- (2) NEALE, M. J. (Editör), Tribology Handbook. Butterworths, 1973.
- (3) General Guide to the Choice of Journal Bearing Type. Engineering Science Data Item No: 65007, Nov. 1965, I. Mech. E.
- (4) General Guide to the Choice of Journal Bearing Type. Engineering Science Data Item No: 67033, Nov. 1967, I. Mech. E.
- (5) SHIGLEY, J.E., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, 1986.
- (6) FULLER, D.D., Theory and Practice of Lubrication for Engineers, John Wiley and Sons, 1984.
- (7) HALLING, J., Principles of Tribology, The Macmillan Press, 1975.
- (8) O'CONNOR, J.J., Boyd J., (Editors), Standard Handbook of Lubrication Engineering, McGraw-Hill, 1968.
- (9) Dry Rubbing Bearings, Engineering Science Data Item No: 68018, I. Mech. E.
- (10) PETERSON, M.B., Winer, W.O., (Editors), Wear Control Handbook, ASME, 1980.
- (11) Mechanical Drives Reference Issue, Machine Design, Penton /IPC, Cleveland, June 18, 1981.
- (12) HAMROCK, B.J., ANDERSON, W.J., Rolling Element Bearings, NASA RP-1105, June 1983.

YATAKLAR

İLGİLİ TSE STANDARTLARI

TS 371	Bilyalı ve Makaralı Yatakların Statik Yük Değerlerinin Tayin Metotları	Temmuz 1982
TS 510; 513; 527; 941-42; 966; 3572-73	Bilyalı ve Makaralı Yataklar (Ana ölçüleri, yardımcı parçalar; boyutlar ve toleranslar)	1967-1981
TS 5102; 5126	Kaynaklı Yataklar (Boyutlar, toleranslar ve Muayene yöntemleri)	Mart 1987
TS 3574; 3711; 5639-42 582*4-25	Rulmanlı Yataklar (Sınır boyutları, serileri, toleranslar, ölçüler)	1981-1988
TS 5796	Kaymalı Yataklar-Sürtünme ve Aşınma ile İlgili Terimler ve Tarifler	Nisan 1988