



Rulman Ömürlerinde Güvenilirlik ve Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Tezcan Şekercioğlu¹

ÖZ

Yataklar genel olarak, yuvarlanmalı (rulmanlar) ve kaymalı yataklar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Rulmanlar, dişli çark, kasnak, volan vb. makine elemanları üzerinden mil veya aksa gelen yükleri karşılayabilmek için destek elemanı olarak görev yaparlar. Rulman kataloglarında, her bir rulman için verilen dinamik yük sayısı (C) değerleri, %90 güvenilir kabul edilmektedir. Daha yüksek güvenilirlik istenildiğinde, ilgili standartlardan yararlanılarak seçim yapılabilir. Çalışma anında, uygun olmayan yağlama, yanlış tip rulman seçimi, kirlilik, montaj hasarları vb. nedenlerden dolayı rulman ömürleri ve güvenilirlik ciddi oranlarda azalmakta ve erken hasarlar meydana gelmektedir. İlgili ISO ve DIN standartları göz önünde bulundurularak, güvenilirlik, yağın kirlilik seviyesi, çalışma sıcaklığı, viskozitesi vb. faktörlerin rulman ömrü üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rulman ömrü, güvenilirlik, bakım

Reliability of Bearing Life and Investigation of Affecting Factors

ABSTRACT

Bearings can be classified as a rolling bearings and journal bearings. Bearings supports the shaft or axle loads usually have been occurred from gear, pulley, flywheel etc. In the bearing catalogues, the dynamic load rating (C) values given for each bearing are 90% reliable. When higher reliability is desired, the selection can be made using the relevant standards. During operation, bearing life and reliability are significantly reduced and premature damage occurs from improper lubrication, wrong bearing type selection, oil pollution, assembly damage, etc. In this study, considering the related ISO and DIN standards, the effects of factors on bearing life have been investigated such as reliability, oil contamination level, operating temperature, viscosity etc.

Keywords: Bearing life, reliability, maintenance

Geliş/Received : 09.06.2020

Kabul/Accepted : 30.06.2020

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, tsekerci@pau.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-9359-8843

1. GİRİŞ

Makine, alet ve cihazlar, kullanım esnasında aşınma, korozyon, yorulma, sıcaklık, yaşlanma vb. çok farklı etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler sonucunda, teknik sistem tasarım aşamasında belirlenen fonksiyonu ya tamamen ya da kısmen yerine getiremez hale gelmektedir. Çalışma anında fonksiyonun tam olarak yerine getirilebilmesi için bakımın önemi tartışılmazdır. Rulmanlar, makinelerde kullanılan en önemli elemanlardan birisidir. Daha önceleri rulmanlar, malzeme, tasarım veya imalat anındaki hatalardan dolayı hasara uğrar iken, günümüzde rulmanların büyük çoğunluğu, uygun olmayan yağlama, kirlilik, yanlış hizalama, montaj hatası, yanlış yataklama, aşırı yüklenme ve elektrik erozyonu gibi nedenlerden dolayı hasara uğramaktadırlar. Ömürleri tasarım aşamasında hesaplanan değerlerden daha önce dolmaktadır.

2. RULMAN ÖMRÜ

Rulmanların büyüklüğünün ve tipinin seçimi, ona etki eden kuvvetlerin yönlerine ve büyüklüklerine bağlıdır. Seçimin yapılabilmesi için, rulman kataloglarında bütün rulmanlar için statik yük sayısı ve dinamik yük sayısı verilmiştir. Bu sayılar [1, 2, 5];

Statik yük sayısı (C_0): Bilezik yuvasında en çok zorlanan noktada, yuvarlanma elemanı çapının 0,0001'i kadar yuvarlanma elemanı ve bilezikte kalıcı deformasyon oluşturan yüküdür. Bu deformasyon, yatağın işlevini henüz kaybettirmeyen deformasyon sınırındadır.

Dinamik yük sayısı (C): Laboratuvar şartlarında deneye tabi tutulan rulmanlardan %90'ının 10^6 devir sayısında hasar görmeden (pitting oluşumu yok) taşıdığı yüküdür.

Rulmanlar yapılarına göre radyal kuvvet, aksel kuvvet veya ikisini birden taşırlar. Hem radyal hem de aksel yük taşıyan rulmanın ömrünü hesaplayabilmek için, eşdeğer yatak yükü (P) tanımlanmıştır. Sabit bilyeli rulmanlarda aksel yük, $P_a \leq 0,5 \cdot C_0$ olmalıdır. $d=12$ mm'den küçük ve çap serisi 8,9,0,1 olan hafif rulmanlarda ise $P_a \leq 0,25 \cdot C_0$ olmalıdır. Aşırı aksel yük rulman ömrünün azalmasına yol açar. Statik yüklenme durumunda rulmanlar, emniyet katsayısına göre seçilmektedir.

$$\text{Emniyet katsayısı: } S = \frac{C_0}{P_0} \quad (1)$$

$$\text{Statik eşdeğer yük: } P_0 = X_0 \cdot P_r + Y_0 \cdot P_a \quad (2)$$

Darbesiz ve sarsıntısız yükler için: $S = 0,6-1,0$; Normal yükler için: $S = 1,0-1,5$

Sarsıntılı yük için veya rulmanın çok düzenli çalışması gerekiyorsa: $S = 1,5-2,5$ alınır.

Dinamik yüklenme durumunda ($n \geq 10 \text{ min}^{-1}$) nominal ömür, dinamik yük sayısına ve dinamik eşdeğer yüke bağlıdır.

$$\text{Dinamik eşdeğer yük: } P = X \cdot P_r + Y \cdot P_a \quad (3)$$

X (radyal faktör) ve Y (eksenel faktör) olup rulman kataloglarından, sabit bilyeli rulmanlar için, $(f_0 \cdot P_a / C_0)$ ve (P_a / P_r) oranına göre, diğer rulmanlar için ise (e) ve (P_a / P_r) oranlarına göre tespit edilirler.

$$\text{Nominal ömür: } L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (4)$$

L_{10h} : %90 güvenilirlikteki nominal ömür, h

C : Dinamik yük sayısı, kN

P : Dinamik eşdeğer yük, kN

n : Devir sayısı, min^{-1}

p: Lundberg ve Palmgren'e [3, 4] göre üstel sayı, bilyeli yataklar için $p=3$ ve makaralı yataklar için $p=10/3 = 3,333$ alınır. Weibull'un katkıları ile Palmgren ve Lundberg tarafından yapılan olasılık analizleri sonucunda tespit edilmiştir.

3. RULMANLARDA GÜVENİLİRLİK

Rulman kataloglarında verilen dinamik yük sayıları, %90 güvenilirdir. ISO 281:2007 [5] standardında farklı güvenilirlik oranlarını dikkate alan güvenilirlik faktörü (a_1) tanımlanmıştır. a_1 değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

(4) nolu eşitlik, a_1 faktörü kullanılarak yeniden düzenlenirse, deney şartları haricindeki istenilen güvenilirlik oranlarında rulman ömürleri hesaplanabilir.

$$L_{nmh} = a_1 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (5)$$

Tablo 1. Güvenilirlik Faktörü, a_1 [5]

Güvenilirlik, %	Hasar Olasılığı, %	L_{nm}	Güvenilirlik faktörü, a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25
99,9	0,1	$L_{0,1m}$	0,093



4. RULMANLARDA GÜVENİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Literatürde verilen istatistiklere göre rulman hasarlarının yaklaşık %60'ı uygun olmayan yağlamaya bağlıdır. Rulmanların yağlanması, uygun yağ, uygun yağlama yöntemi, uygun miktar, uygun yeniden yağlama, temiz yağ vb. faktörler büyük önem arz etmektedir. ISO 281 standardında, bu faktörleri dikkate alan ömür düzeltme faktörü (a_{ISO}) tanımlanmıştır. Ömür düzeltme faktörü, rulmana etki eden eşdeğer yüke (P), yağın viskozite oranına (K), rulmanın yorulma limitine (C_u) ve yağın kirlilik faktörüne (e_c) göre değişmektedir. Çalışma şartlarının fonksiyonu olarak;

$$a_{ISO} = f\left(\frac{e_c \cdot C_u}{P}, K\right) \quad (6)$$

şeklinde verilmiştir.

Kirlilik, rulman ömrünü aşırı derecede azaltan bir faktördür. ISO 281 standardında bu durumu dikkate alan kirlilik faktörü tanımlanmış olup Tablo 2'de verilmiştir. Yorulma limiti, her bir rulman için rulman kataloglarından alınabilir.

Tablo 2. Yağ Kirlilik Faktörü, e_c [5]

Yağın Kirlenme Durumu	Kirlenme Faktörü	
	$d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Deney şartları, aşırı temiz	1	1
Çok ince filtre ile yüksek temiz	0,6-0,8	0,8-0,9
İnce filtre ile normal temiz	0,5-0,6	0,6-0,8
Kaba filtre ile hafif kirlili	0,3-0,5	0,4-0,6
Kaba filtre, aşındırıcı partiküller	0,1-0,3	0,2-0,4
Yüksek kirlili, aşındırıcılar mevcut, yetersiz sızdırmazlık elemanları	0-0,1	0-0,1
Yağ kirlilik ölçeğinin dışı	0	0

Tablo 2'de verilen d_m , ortalama rulman çapıdır. Rulmanın iç bilezik çapı d , dış bilezik çapı D alınarak elde edilir.

$$d_m = \frac{d + D}{2} \quad (7)$$

BS ISO 4406: 2017 [6] standardında yağların kirlilik derecesi için belirlenen ölçek Tablo 3'te verilmiştir. NIST (Insttute Standart Organization) tarafından geliştirilen lisanslı toz ISO MTD (Medium Test Dust) endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Daha önceki standartlarda boyutları olan 2, 5 ve 15 µm olan tozun yerine günümüzde 4, 6 ve 14 µm referans alınmıştır.

Tablo 3. BS ISO 4406 Yağ Kirlilik Ölçeği [6]

Ölçek No	1 ml'deki Partikül Sayısı		Ölçek No	1 ml'deki Partikül Sayısı	
	Hariç	Dahil		Hariç	Dahil
>28	>2500000		14	80	160
28	1300000	2500000	13	40	80
27	640000	1300000	12	20	40
26	320000	640000	11	10	20
25	160000	320000	10	5	10
24	80000	160000	9	2,5	5
23	40000	80000	8	1,3	2,5
22	20000	40000	7	0,64	1,3
21	10000	20000	6	0,32	0,64
20	5000	10000	5	0,16	0,32
19	2500	5000	4	0,08	0,16
18	1300	2500	3	0,04	0,08
17	640	1300	2	0,02	0,04
16	320	640	1	0,01	0,02
15	160	320	0	0,00	0,01

Literatürde rulmanlar için maksimum kirlilik seviyesi, ISO ölçeğine göre 15/13/11 ve NAS'a (National Aerospace Standarts) göre 5 olarak önerilmektedir. ISO gösterimini açıklamak gerekirse, yağın içerisinde maksimum;

15: Boyutu 4 µm olan partiküllerden 160-320 adet,

13: Boyutu 6 µm olan partiküllerden 40-80 adet,



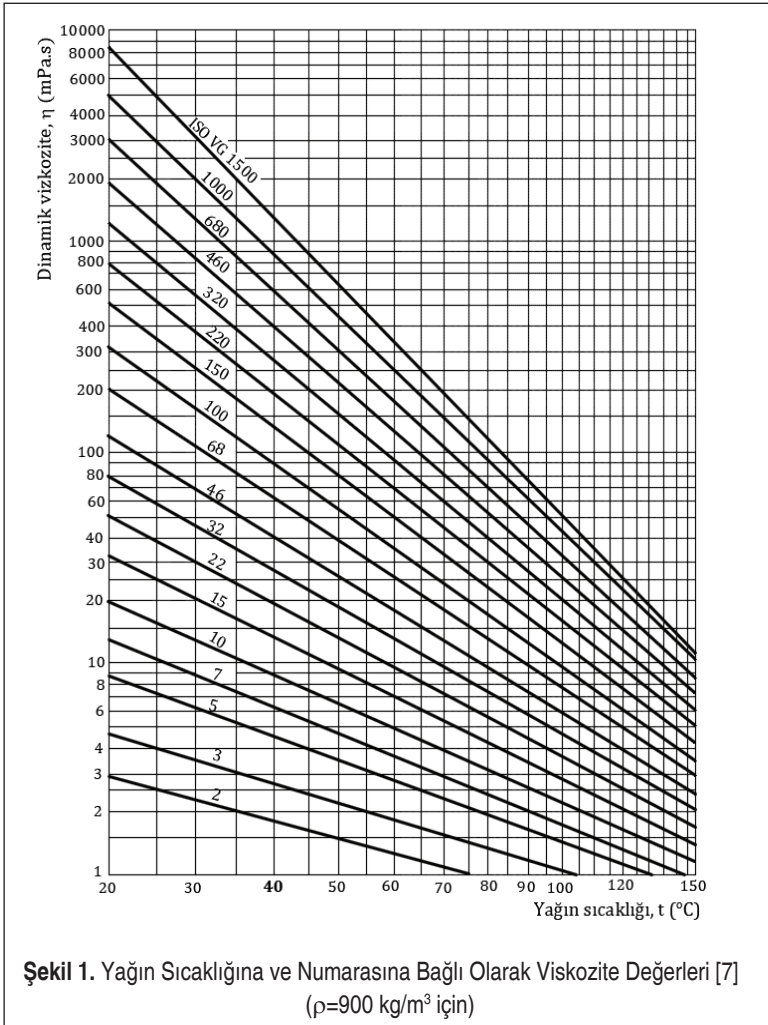
11: Boyutu 14 µm olan partiküllerden 10-20 adet bulunabilir.

Yağın çalışma sıcaklığına bağlı olarak kinematik viskozitesini, milin devir sayısını ve yatağın büyüklüğünü dikkate alan viskozite oranı;

$$\kappa = \frac{v}{v_1} \quad (8)$$

v : Yağın kinematik viskozitesi (Şekil 1),

v_1 : Milin devir sayısına ve rulman ortalama çapına bağlı viskozite (Şekil 2).



ISO tarafından yağ dereceleri (VG: Viscosity Grade) belirlenirken, yağın 40 °C'deki $\pm\%10$ kinematik viskozite

değeri, yağ numarası olarak kabul edilmiştir. Yağın yoğunluğu, (ρ) ile gösterilirse;

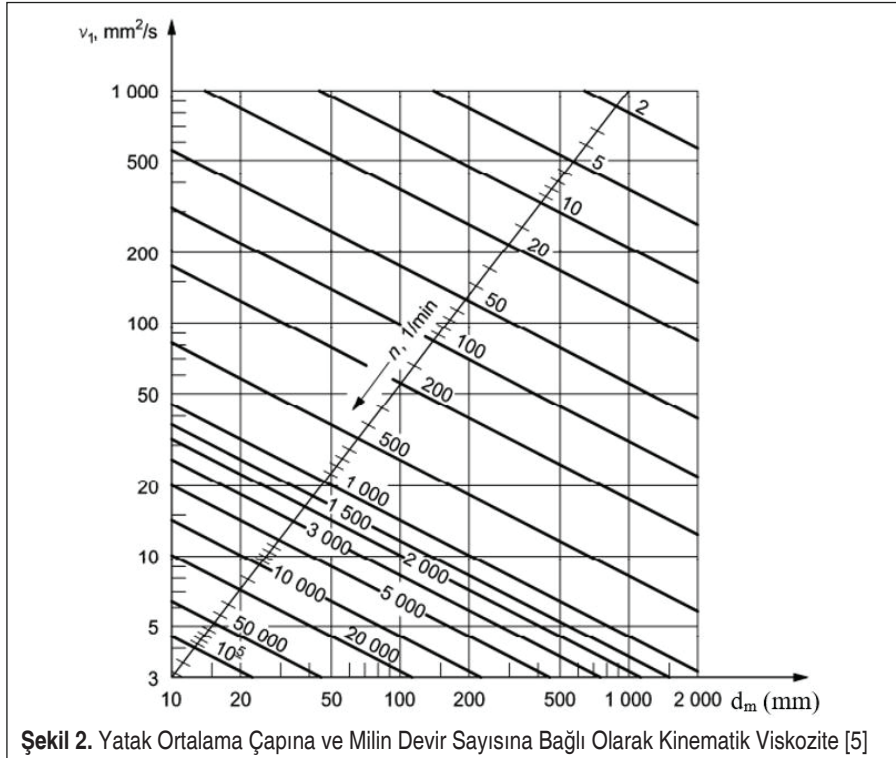
$$\text{Dinamik viskozite: } \eta = \nu \cdot \rho \quad (9)$$

şeklinde yazılır. $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ alınarak, (9) eşitliği yeniden düzenlenirse;

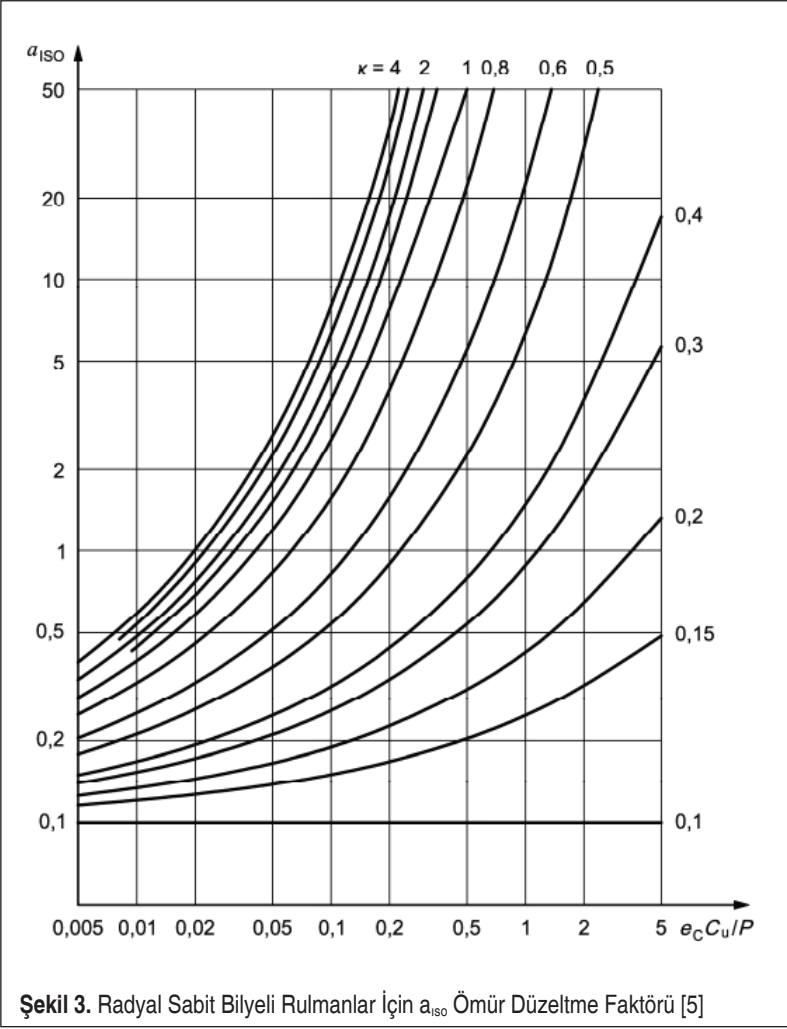
$$\text{mPa} \cdot \text{s} = \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 900 \quad \rightarrow \quad \eta = 0,9 \cdot \nu \quad (10)$$

bulunur.

Rulmanların yağlanması kullanılan yağların viskoziteleri, çalışma esnasında sıcaklık arttıkça önemli oranlarda değişmektedir. Sıcaklığın artması, yük taşıma kabiliyetini, yatak performansını ve oluşan yağ filmi tabakasının kalınlığını etkilemektedir. Bu nedenle, ISO 281 standardında ömrü etkileyen faktör olarak dikkate alınmıştır. Seçilen rulmanın ortalama çapı ve devir sayısına bağlı olarak viskozitenin değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Aynı devir sayısında, rulman boyutları büyüdükçe viskozite değeri azalmaktadır.



Şekil 2. Yatak Ortalama Çapına ve Milin Devir Sayısına Bağlı Olarak Kinematik Viskozite [5]



Tablo 2'den yağ kirlilik faktörü (e_c), rulman kataloglarından [8, 9] alınan yorulma limiti (C_u , P_u), Şekil 1 ve 2'den viskozite değerlerine bağlı olarak bulunan viskozite oranı (κ) yardımıyla, Şekil 3'den ömür düzeltme faktörü a_{ISO} bulunur. Şekil 3, sadece radyal sabit bilyeli rulmanlar için geçerlidir. ISO 281 standardında ve rulman kataloglarında radyal makaralı, aksel sabit bilyeli ve aksel makaralı rulmanlar için de ayrı ayrı diyagramlar verilmiştir.

Güvenilirlik faktörü a_1 ve a_{ISO} değerleri (4) nolu eşitlikte yerine yazılarak;

$$L_{nmh} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (11)$$

modifiye edilmiş gerçek nominal rulman ömrü saat cinsinden bulunur. Literatürde, bu faktörlerin dışında rulman malzemesini, çalışma sıcaklığını ve darbeli yüklenme durumlarını dikkate alan farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. NSK rulman firması tarafından rulman sıcaklığının da dikkate alındığı bir eşitlik önerilmiştir [10]. (11) nolu eşitlikte verilen dinamik yük sayısı (C), Tablo 4’te verilen sıcaklık faktörü ile çarpılarak modifiye edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda, rulmanın üretildiği çelik mekanik özelliklerini kaybederek aşınmaya ve yorulmaya karşı ömrü azalmaktadır.

Tablo 4. Sıcaklık Faktörü [10]

Rulman sıcaklığı, °C	125	150	175	200	250
Sıcaklık faktörü, f_t	1,00	1,00	0,95	0,90	0,75

Yukarıda yapılan hesaplamalar, normal yüklenme şartları için geçerlidir. Taş kırma makinesi, vibratör, darbeli matkap vb. yerlerde çalışma şartları ağırdır. Rulmana etkileyen şok veya darbe yükleri, rulmanın ömrünü önemli derecede azaltmaktadır. Jiang [11] tarafından darbeli yüklenme durumları için darbe faktörünün kullanılması önerilmiş ve darbenin şiddetini göz önünde bulunduran yük faktörü (f_p) tanımlanmıştır. Eşdeğer dinamik yük (P), Tablo 5’de verilen değerler ile çarpılmaktadır. Bazı kaynaklarda bu faktöre makine faktörü de [12] denilmektedir.

Tablo 5. Darbe Faktörü [11, 12]

Darbe Şekli	Hafif	Orta	Ağır
Makine Türü	Elektrik motorları, konveyörler, turbo kompresörler	Santrifüj pompalar, içten yanmalı motorlar, krenler	Makaslar, kırıcılar, vibro motorlar, haddehane ekipmanları
Darbe Faktörü, f_p	1,0 - 1,2	1,2 - 1,8	1,8 - 3,0

(11) nolu eşitlik, Tablo 4 ve 5’de verilen faktörler ile tekrar modifiye edilirse;

$$L_{nmh} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{f_t \cdot C}{f_p \cdot P} \right)^p \quad (12)$$

eşitliği bulunur. Elde edilen son eşitlik, çalışma şartlarının büyük çoğunluğunu göz önünde bulundurduğu için, elde edilen çalışma ömürleri saat cinsinden daha da güvenlidir.

5. SONUÇ

Rulman seçiminde, kısıtlayıcılardan bir tanesi de güvenilirliktir. Yüksek güvenilirlik



istenilen kritik uygulamalarda, standardın belirlediği katsayılar dikkate alınarak rulman seçimi yapılmalıdır. Ömür hesabında, %90 güvenilirlik için katsayı 1 iken, %95 güvenilirlikte katsayı 0,64'e düşmektedir. Başka bir deyişle, rulmanın güvenilirliği %5 artarken saat cinsinden ömrü %36 azalmaktadır. Rulmanlarda bakım, yataklama sisteminin gerçek halini izleme, değerlendirme ve amaçlanan ömrü koruma aşamalarını kapsamaktadır. Rulmanlar için standart bir yağlama metodu mevcut olmadığı için, yağ seçimi, işletme şartlarının analizine ve yağın teknik özelliklerine göre yapılmalıdır. Uygun yağ seçiminde ve yağ değiştirme aralıklarının belirlenmesinde, yağın kirlilik derecesi, rulmanın boyutu, yükleme durumu ve çalışma sıcaklığı göz önünde bulundurulmalıdır. ISO 281 standardı, firmalar ve araştırmacılar tarafından modifiye edilen (4) nolu temel eşitlik yerine (12) nolu son eşitliğin kullanılması, rulmanlardan beklenen performansı arttıracak, makine tasarımcıları ve kullanıcıları kendilerini daha güvende hissedecektir.

KAYNAKÇA

1. **Wittel, H., Jannasch, D., Vobiek, J., Spura, J.** 2019. Rolof/Matek Maschinenelemente, ISBN: 978-3-658-26279-2, 24. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Germany.
2. **Şekercioğlu, T.** 2018. Makine Elemanları Hesap Şekillendirme, ISBN: 978-975-511-601-3, 4. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
3. **Lundberg, G., Palmgren, A.** 1952. "Dynamic Capacity of Roller Bearings," Ingeniorsvetenskapskad. Handl. no. 210, The Royal Swedish Academy of Engineering Science, Stockholm, Sweden.
4. **Zaretsky, E. V.** 2013. Rolling Bearing Life Prediction, Theory, and Application, NASA/TP-2013-215305, Ohio, U.S.A.
5. ISO 281. 2007. Rolling Bearings-Dynamic Load Ratings and Rating Life.
6. BS ISO 4406. 2017. Hydraulic fluid power-Fluids-Method for Coding the Level of contamination by solid particles.
7. DIN 31653-2. 1991. Gleitlager - Hydrodynamische Axial Gleitlager im Stationären Betrieb Funktionen Für Die Berechnung Von Axialsegmentlagern.
8. SKF. 2018. Rolling Bearings, PUB BU/P1 17000/1 EN.
9. Schaeffler Technologies AG & Co. KG. 2018. Rolling Bearings HR1, Schweinfurt, Germany.
10. NSK. 2020. "Bearing life-Calculating the Basic Fatigue Life Expectancy of Rolling bearings" https://www.nsk-europe.com/content/dam/nskcmsr/downloads/literature_bearing/P_TI-0102_EN.pdf, 25.06.2020.
11. **Jiang W.** 2019. Analysis and Design of Machine Elements, John Wiley & Sons, Singapore.
12. NACHI. 2020. "Nachi Bearing Catalogue-Technical Information" <http://nachi-tool.jp/bearing/pdf/Tech.pdf>, 25.06.2020.