

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAĞLAYICILARIN POLİMER RULMANLI YATAK GÜRÜLTÜ
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel KARAÇAM DİNÇ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAĞLAYICILARIN POLİMER RULMANLI YATAK GÜRÜLTÜ
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sibel KARAÇAM DİNÇ
(503101221)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101221 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sibel KARAÇAM DİNÇ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAĞLAYICILARIN POLİMER RULMANLI YATAK GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Haluk EROL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2012**

Sevgili eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Polimer malzemeler her geçen gün gelişmekte ve kullanım alanı artmaktadır. Polimerlerin hafiflik, titreşimleri sönmüleyebilme özelliği, yağlayıcı olmadan çalışabilmeleri, esneklik, korozyona ve kimyasal etkilere dayanıklılık, kolay biçimlendirilebilme, maliyet düşüklüğü, bakım masraflarının azlığı, çeşitli renklerde elde edilebilme gibi sebeplerden dolayı mühendislik çözümlerinin de bir parçası haline gelmiştir. Rulmanlı yatak malzemesi olarak da polimer malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada bilyalı polimer yatakların performansı gürültü karakteristiklerinin ışığında deneysel olarak analizi ile değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması esnasında, beni her zaman gelişmeye açık bir konu olan polimer malzemeler üzerinde çalışmaya teşvik eden ve çalışmalarım boyunca yönlendiren tez danışmanım Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ'e, deneysel çalışmaların planlanması ve sonuçların değerlendirilmesi konusunda desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Haluk EROL ve Y. Doç. Dr. Zeynep PARLAR'a, deney ile ilgili her türlü konuda yardımını esirgemeyen Ar. Gör. Ersin KAMBUROĞLU'na, deneyde kullandığım polipropilen rulmanlar ve gres yağlayıcıları temin eden SKF firmasına ve maddi manevi her zaman yanımda olan eşim Gökhan DİNÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2011

Sibel KARAÇAM DİNÇ

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
2. POLİMER RULMANLI YATAKLAR	7
2.1 Uygulama Alanları	9
2.2 Kullanım Şekli.....	9
2.3 Kiyasallara Karşı Direnç	10
2.4 Çalışma Sıcaklıkları ve Termal Genleşme	10
2.5 Yük Taşıma Kapasiteleri	11
2.4 Montaj Sıkılıkları	12
3. POLİMERLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	13
213.1 Polipropilen Yapısı.....	14
3.2 Polimerlerin Tribolojik Özellikleri.....	16
3.2.1 Polimerlerde sürtünme katsayısı	16
3.2.1.1 Polimerlerin sürtünme davranışına sıcaklığın etkisi	17
3.2.1.2 Polimerlerin sürtünme davranışına kayma hızının etkisi	19
3.2.1.3 Polimerlerin sürtünme davranışına yükün etkisi	19
3.2.2 Polimerlerde yuvarlanma sürtünmesi.....	20
4. GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÖLÇÜMÜ	25
4.1 Ses düzeyleri ve dB Kavramı	25
4.2 Ses Gücü Düzeyi	25
4.3 Ses Basıncı Düzeyi.....	26
4.4 Oktav Kavramı	27
4.5 Ağırlıklı Ses Düzeyleri	28
5. YAĞLAYICILAR	31
5.1 Bilyalı Rulmanlı Yataklarda Yağlayıcıların Kullanılması	31
5.1.1 Sıvı yağlar	33
5.1.2 Gres yağlayıcılar	33
5.2 Yağlayıcıların Viskozitesi ve Sıcaklığı	34
5.2.1 Sıcaklığın yağlayıcı ömrü üzerinde etkisi	34

5.3 Deney Malzemesi Olarak Kullanılan Yağlayıcıların Özellikleri	35
5.3.1 LGMT 2 genel amaçlı endüstriyel ve otomotiv rulman gresi	35
5.3.2 LGMT 3 genel amaçlı endüstriyel ve otomotiv rulman gresi	35
5.3.3 LGEP 2 ağır yük, yüksek basınç rulman gresi	35
5.3.4 LGWA2 ağır yük, yüksek basınç, geniş sıcaklık aralığında rulman gresi	36
5.3.5 LGLT 2 düşük sıcaklık, çok yüksek hızlar için rulman gresi	36
6. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI.....	39
6.1 Deney Düzenegi	39
6.2 Deneylerin Yapılışı ve Deney Yönteminin Optimizasyonu	44
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	47
7.1 Değerlendirme Sonucu ve Öneriler	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

PP	: Polipropilen
POM	: Polioksimetilen
PA 66	: Poliamit 66
UHMWPE	: Aşırı yüksek moleküler ağırlıklı polietilen
PTFE	: Politetrafloretilen
PMMA	: Polimetil metakrilat
PVC	: Polivinil klorür
PE	: Polietilen
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
PS	: Polistren
PTFCE	: Poliviniliden klorür
dB	: Desibel
L_w	: Ses gücü düzeyi
L_p	: Ses basıncı düzeyi
L₁	: Ses şiddeti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Sıcaklığın sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi	18
Çizelge 3.2 : Malzeme ve yükün sürtünme katsayısı üzerindeki.....	20
Çizelge 5.1 : Çeşitli katı yağlayıcıların çalışma sıcaklık aralıkları	32
Çizelge 5.2 : Çeşitli sıvı yağlar ve ana özellikleri.	33
Çizelge 5.3 : LGMT2, LGMT3, LGEP2, LGWA2 ve LGLT2 özellikleri.	37
Çizelge 6.1 : Kullanılan tek sıra bilyalı polimer yatak tiplerinin teknik verileri.....	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tek sıralı bilyalı polimer yatak.	1
Şekil 1.2 : Korozif ortamlarda polimer ve metal yataklar.	2
Şekil 2.1 : Çeşitli tiplerde bilyalı polimer yataklar.....	7
Şekil 2.2 : Çeşitli polimer malzemelerin çalışma sıcaklık aralıkları.	10
Şekil 2.3 : Çeşitli polimerlerin ısı genleşme katsayıları.	11
Şekil 2.4 : Bilyalı polimer yataklar için düzeltme faktörleri.	12
Şekil 3.1 : Monomer ve polimer zincir yapıları.....	13
Şekil 3.2 : Propilen yapısı.....	14
Şekil 3.3 : İsotaktik ve sindiyotaktik polipropilen yapısı	15
Şekil 3.4 : Yuvarlanma sürtünmesinde sürtünen yüzeylerin modeli	21
Şekil 3.5 : Yuvarlanma sürtünmesi katsayısı μ ve a/R ile değişimi	22
Şekil 3.6 : Çeşitli malzemelerden üretilmiş bilyalı rulmanlı yataklarda 1000 d/dk'da yük ile dinamik sürtünme katsayısı arasındaki ilişki	22
Şekil 4.1 : Ses şiddetinin uzaklıkla değişmesi	27
Şekil 4.2 : A ve C ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri	29
Şekil 5.1 : Yağlayıcının ömrü sıcaklık – zaman grafiği	34
Şekil 6.1 : Deney düzeneğinin şematik görünüşü	39
Şekil 6.2 : Oda dışı deney düzeneğinin görüntüsü	40
Şekil 6.3 : Akustik odada sükûnet halindeki ses basınç düzeyi	41
Şekil 6.4 : 6204 / HR22Q2 seri no'lu yatakların birinci doğal frekans aralıkları	45
Şekil 6.5 : Brüel & Kjaer 2260 Investigator Ses Düzeyi Ölçer ile ses basıncı ölçümü.....	42
Şekil 6.6 : FLUKE marka kızılötesi termometre ile sıcaklık ölçümü	43
Şekil 6.7 : 6204 / HR22Q2 seri no'lu yatağın boyutları	44
Şekil 6.8 : Deney yatağı ve yükleme düzeneği.....	45
Şekil 7.1 : 500 d/dk'da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği	48
Şekil 7.2 : 650 d/dk'da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği	49
Şekil 7.3 : 800 d/dk'da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği	49
Şekil 7.4 : LGMT 3 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	50
Şekil 7.5 : LGLT 2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	51
Şekil 7.6 : LGLT2 ile yağlanmış yatak.....	51
Şekil 7.7 : LGWA2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	52
Şekil 7.8 : LGMT2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	52
Şekil 7.9 : LGEP2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	53
Şekil 7.10 : Yağlayıcısız çalışma ortamında eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	54
Şekil 7.11 : Kafesi parçalanmış bilyalı yatak	54
Şekil 7.12 : Yağlayıcısız çalışma ortamında eşdeğer ses basıncı – yük grafiği	55
Şekil 7.13 : Yağlayıcı kullanılmamış yatak.....	55
Şekil 7.14 : LGEP2 ile çalışma durumunda eşdeğer ses basıncı – çalışma hızı grafiği (75N ve 150 N yük).....	56

Şekil 7.15 : LGMT2 ile çalışma durumunda eşdeğer ses basıncı – çalışma hızı grafiği (75N ve 150 N yük)	56
Şekil 7.16 : LGMT2 ile yağlanmış yatak.....	57
Şekil 7.17 : LGMT2 yağlayıcı 75 N – 150 N yük altında 200 - 900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.....	57
Şekil 7.18 : LGEP2 yağlayıcı 75 N – 150 N yük altında 200 – 900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.....	57
Şekil 7.19 : Yağlayıcısız 75 N – 150 N yük altında 200 – 900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.....	59
Şekil A.1 : LGEP 2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı çalışma bandı	64
Şekil A.2 : LGMT3 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı	65
Şekil A.3 : LGWA2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı... ..	66
Şekil A.4 : LGMT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı	67
Şekil A.5 : LGLT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı	68

SEMBOL LİSTESİ

- T_g** : Camsı geçiş sıcaklığı
T_m : Erime sıcaklığı
R : Yuvarlanma elemanı yarıçapı
I : Őiddet
W : Güç
P : Basınç
f : Frekans
 λ : Dalga boyu
c : Hız
d : Yatak i apı
D : Yatak dış apı
B : Yatak genişliği

ALT İNDİSLER

ref: Referans değer

YAĞLAYICILARIN POLİMER RULMANLI YATAK GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ

ÖZET

Polimer malzemeler, tüm dünyada gerek araştırma ve geliştirmede, gerekse uygulama alanı bakımından hızlı bir gelişme göstermektedir. Bu hızlı gelişme polimer malzemelerin çeşitli karakteristik özelliklerinin bilinmesi ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada polipropilen bilezikten ve cam bilyadan yapılmış olan rulmanlar üzerinde gürültü karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Polimer rulmanlı yataklar korozyon dirençleri, titreşim sönümlenme kabiliyetleri, geleneksel metal rulmanlara göre daha hafif olmaları ve gürültüsüz çalışma gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Polimer rulmanlı yatakların gürültü karakteristikleri çalışma sırasında polipropilen malzeme ile tepkimeye girmeyen beş farklı tipte SKF marka yağlayıcı kullanılarak, sisteme uygulanan yük ve devir sayısı değiştirilerek deneysel ortamda analizi yapılmıştır.

Polipropilen bileziklere sahip SKF marka polimer rulmanlı yatakların farklı yükler ve devir sayıları etkisinde gürültü karakteristiklerinin anlaşılabilmesi için yarım parmak mikrofonla 1/3 oktav bandında 12,5 kHz'e varan frekanslarda ses basınç düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Akustik ortamda yapılan ölçümlerde 0 - 1400 d/dak arasında kademesiz olarak ayarlanabilen AC motor kullanılmıştır. Deneyde kullanılan yataklar 6204 / HR22Q2 serisi cam bilyalı ve polipropilen bilezikli yataklardır.

Beş farklı özelliğe sahip gres yağlayıcılarının kullanılması ile yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinde deney yataklarının dış bileziklerinin birinci doğal frekanslarının bulunduğu 2 kHz - 12,5 kHz aralığı temel alınmıştır. Düşük frekanslarda ölçülen değerlerin tutarlılıkları tartışılır olduğundan yüksek frekans ses basıncı aralığında çıkan sonuçların değerlendirilmesinin daha sağlıklı olduğu görülmüştür.

Kuru ve yağlanmış deneylerde genel olarak artan dönme hızı ve yük ile gürültü seviyesinin arttığını söylemek mümkündür. Kullanılan yağlayıcılar arasında yüksek frekans değerlerinde eşdeğer ses basınç değerlerinde 5 dB'e kadar performans farkı gözlenmiştir. Yağlayıcı yapılmayan deneylerle kıyaslandığında her bir yağlayıcının çok iyi performans sergilediği ve sıcaklığın önemli derecede düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Sonuçlar yağlayıcı çalışmada sürtünme ile artan sıcaklıkla ve yük faktörünün etkisi ile çalışmasının mümkün olmadığını göstermiştir. 920 d/dk dönme hızı ve 150 N yük etkisi altında sıcaklık 100 °C'ye ulaşmış, yatağın deformasyona uğrayıp dağıldığı görülmüştür.

Deney sonuçları bilyalı polimer yatakların gürültü davranışlarının tam olarak anlaşılabilmesi için yatak çapı aynı fakat bilya boyutlarının farklı olduğu yataklar üzerinde de analiz yapılarak sonuçlarının incelenmesi gerektiğini göstermiştir.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LUBRICANTS' EFFECT ON POLYMER BEARING NOISE CHARACTERISTICS

SUMMARY

There has been a noteworthy development on the use of polymers in several fields from industrial applications to commercial products. Therefore, knowledge about various characteristics of polymers is needed with this rapid development.

Polymer materials have some advantages, when they are compared with steel. Especially in specific situations, they are generally requested and used. They have a good corrosion resistance, low weight, self lubrication, flexible design and silent running properties. Also they are cheap when compared with steel. For this reason it can be used for resistance and hygiene demanded situations such as food sector.

For this reason in this study, polymer ball bearings are used for testing noise and temperature. Polymers' general specifications and polypropylene specifications are explained deeply to understand the role of the polymer material on the noise. In addition, lubrication of the bearings take an important role to reduce the noise level. In this study five different lubricants (grease lubricants) are used in experiments. They are SKF brand and called LGLEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2. In the experiments compared of these lubricants' performance and without lubricant same experiments are done again. Also these two solutions compared with eachother.

Study outlined in the thesis consists of seven parts: (1) introduction (2) polymer ball bearings (3) general specifications of polymers (4) noise level measurement (5) Lubricants (6) experiment mechanism and experiments (7) conclusions and assessments.

The first part is introduction. A bearing is a device to allow constrained relative motion between two or more parts, typically rotation or linear movement. Bearings may be classified broadly according to the motions they allow and according to their principle of operation as well as by the directions of applied loads they can handle. The invention of the rolling bearing, in the form of an object being moved on wooden rollers, is of great antiquity and may predate the invention of the wheel.

Though it is often claimed that the Egyptians used roller bearings in the form of tree trunks under sleds this is modern speculation. They are depicted in their own drawings in the tomb as moving massive stone blocks on sledges with the runners lubricated with a liquid which would constitute a plain bearing.

The second part is polymer ball bearings. Polymer ball bearings consist of polymer rings, balls made of stainless steel, glass, polymer or other materials and a polymer cage.

Polymer ball bearings can be made from a variety of materials and material combinations. The materials selected depend on the application. Polymers have significantly different properties than steel. One of the most unique properties is that they are corrosion and chemical resistant.

The polymers used to make bearings have a low coefficient of friction and are highly resistant to wear and fatigue. These self-lubricating bearings can run dry and require no relubricant.

However, the loads and maximum speeds that a polymer bearing can accommodate are much lower than for conventional all-steel bearings.

The high specific strength – (strength to weight ratio) is a valuable property of polymer bearings, especially in applications where weight is an important design consideration. High dimensional stability throughout the lifespan is achieved by the low creep tendency of the polymers used.

The third part is general specifications of polymers. Friction is a common phenomenon in life and industry, which is governed by the processes prevailing on the surface layers of sliding bodies. The simple idea used in studies of friction is that there are two main components of friction, namely, adhesion and deformation. Such approach is correct for all materials including polymers. The behavior of polymers has distinguishing features, some of which are described by Briscoe.^{1,2} The main concept of the tribology of polymers consists of three basic elements involved in friction, (i) adhesive junctions, their type and strength; (ii) shear and rupture of the rubbing materials in the contact; (iii) real contact area.

The fourth part is noise level measurement. Noise has been receiving increasing recognition as one of our critical environmental pollution problems. Like air and water pollution, noise pollution increases with population density; in our urban areas, it is a serious threat to our quality of life. The range of the quantities used in acoustics, such as acoustic pressure, intensity, power, and energy density, is quite large. For example, the undamaged human ear can detect sounds having an acoustic pressure as small as 20 mPa, and the ear can withstand sounds for a few minutes having a sound pressure as large as 20 Pa. As a consequence of this wide range of magnitudes, there was an interest in developing a scale that could represent these quantities in a more convenient manner. In addition, it was found that the response of the human ear to sound was more dependent on the ratio of intensity of two different sounds, instead of the difference in intensity. For these reasons, a logarithmic scale called the level scale was defined.

The fifth part is lubricants. A lubricant is a substance introduced to reduce friction between moving surfaces. It may also have the function of transporting foreign particles. The property of reducing friction is known as lubricity. A good lubricant possesses the following characteristics: high boiling point, low freezing point, high viscosity index, thermal stability, corrosion prevention, high resistance to oxidation.

Lubricant properties depend on the base oil (or blend of base oils) and on any additives that are used. Overall, mineral oils have good characteristics and are low in cost. Additives are chemicals that enhance the properties of an oil. They are added to base oils in concentrations that range from the order of tens of ppm to as much as 25%. Additives generally fall into three groups: polymers, polar compounds, and compounds containing active elements, such as sulfur and chlorine. They can also be classified by function, and are described as such in the article "Lubricant Additives and Their Functions" in this Volume. Some additives that offer advantages in one performance area may be detrimental in other areas, whereas others work best in combination. Additive use is justified by cost effectiveness.

The sixth part is experiment mechanism and experiments. In this study, an experimental analysis has been made on the noise characteristics of made polypropylene ring and glass ball bearing.

Sound pressure level measurements of SKF brand polymer bearings with polypropylene rings are made with a $\frac{1}{2}$ inch microphone in 1/3-octave bands, in frequencies up to 12,5 kHz under various radial loads and rotational speeds. Those measurements were realized in an acoustic chamber by using an AC motor with adjustable rotational speed between 0 - 1400 rpm. 6204 / HR22Q2 serial number bearings with glass balls were analysed in the experiments.

2 kHz - 12,5 kHz frequencies that are close to the first natural frequencies of tested bearings were predominantly analysed in test results for five types grease lubricants and dry conditions. Five greases which have been used in the analysing process have different specifications. It is preferred to use high frequencies 2 kHz – 12,5 kHz, because of the results of these period is more reliable.

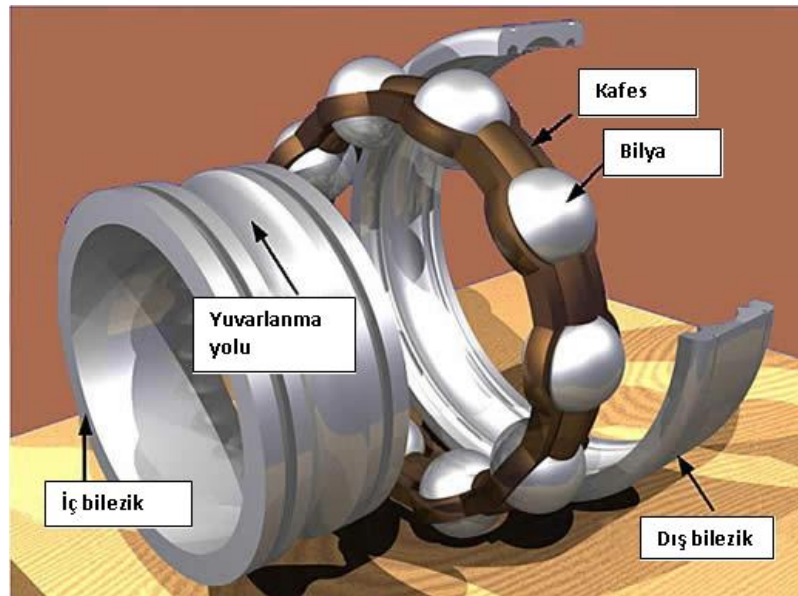
The seventh part is conclusions and assessments. In both dry and lubricated conditions an increase in rotational speed and load were accompanied by an increase in noise level. Between these five greases have analysed up to 5 dB sound pressure differences. When we compare these greases with dry conditions all of them very good performance and temprature is lower. The results show in dry conditions with increasing load and rotational speed is not possible to work. The temprature in dry conditions in 920 d/dk speed and 150 N load reached 100 °C and the bearing is scattered.

In this study all ball bearings are same diameter. Graphical results are valued in different loads and and different rotational speed. If the ball bearing size change, there might be difference in the graphical results. Experimental results have shown that same bearing diameter but different size ball should be individually analysed as a parameter in order to completely understand the noise behaviour of polymer ball bearing.

1. GİRİŞ

Yuvarlanma hareketinin bilinmesine ve binlerce yıldır kullanılmasına rağmen, rulmanlı yatakların basit formu ilk M.S. 50 yılında Roma uygarlığı döneminde kullanılmıştır. Modern rulmanlı yatakların kullanımı ise ancak Endüstri Devrimi ile birlikte gerçekleşmiştir. 19. yy sonuna kadar rulmanlı yataklar, üreticiler tarafından tedarik edilememesinden dolayı kaymalı yataklara göre alternatif olarak kabul edilmesi kolay olmamıştır. Bu durum, 20. yy'da, özellikle, 1960'lı yıllardan sonra, rulmanlı yatak çeliklerinin geliştirilmesi, üretimde sürekliliğin sağlanması, çok hassas geometrileri sağlama ve uzun ömürlü rulmanlı yatak montajlarının gerçekleştirilmesinden sonra tamamen değişti. Buda dünyada tüketicilere düşük fiyatlar ile standart tasarımlı yatakların ulaşımını sağladı.

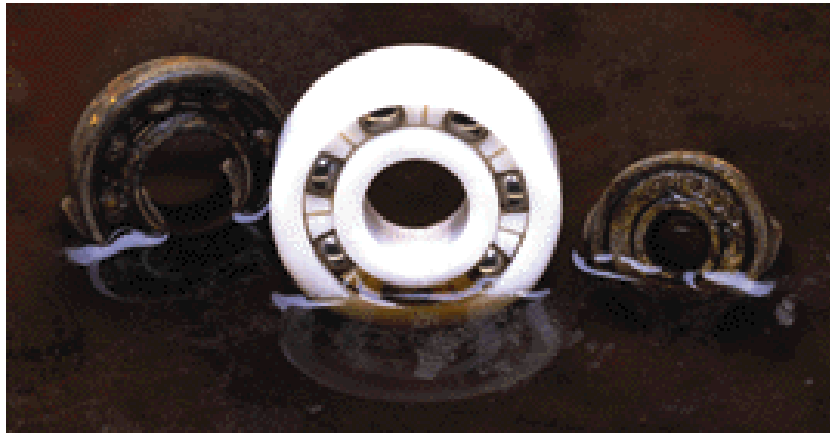
Rulmanlı yataklar günümüzde daha çok iki makine elemanı arasında dönme hareketini sağlamak için kullanılır. Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanının tipine göre bilya, makara, masura ve iğne olmak üzere 4 farklı çeşitte olabilir. Yaygın bir kullanım alanına sahip olan bilyalı yataklar; Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi, iç ve dış bilezik, bilyalar, yuvarlanma yolu ve bilyaların içinde yuvarlanacağı ve birbirinden belirli mesafede tutan bir kafesten oluşur.



Şekil 1.1: Tek sıralı bilyalı polimer yatak.

Rulmanlı yataklar normalde yüksek bir seviyeye sertleştirilmiş çelikten üretilirler. Günümüzde bilyalı rulmanlı yatak üreticileri, yatak malzemesi olarak AISI 52100 malzemesini ve 61 - 65 Rockwell C sertliğinde seçerler. Bu malzeme bazı üreticiler tarafından yuvarlanma elamanı üretiminde de kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe tekerlek göbeğinin yataklanması gibi bazı özel uygulamalarda, bilya veya yuvarlanma elemanındaki atalet yüklerini minimize etmek için, daha hafif ve yüksek basma mukavemetli olan seramik malzemeler (silikon nitrit gibi) malzemeler kullanılır. Ayrıca bu seramik yuvarlanma elemanları, ultra yüksek sıcaklıklara ve kuru film veya minimum sıvı film oluşumlarında çalışma şartlarına çeliklere nazaran daha uzun süre dayanır.

Kafes malzemesi, bilya ve bilezikleri oluşturan malzeme ile kıyaslandığında daha yumuşak olması istenir. Ayrıca iyi bir güç-ağırlık oranına sahip olmalıdırlar, bundan dolayı, yumuşak çelik, pirinç, bronz, alüminyum, polyamid, teflon ya da PTFE, fiberglas, plastik ve karbon fiberli malzemeler kafes malzemesi olarak seçmek uygundur [1]. Şekil 1.2'de korozyif ortamlarda kullanılabilen polimer rulmanlar ve metal yataklar görülmektedir.



Şekil 1.2: Korozyif ortamlarda polimer ve metal yataklar [2].

Genelde bilyalı yatakların yüksek hızlarda, büyük yükler ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi istense de, bunun dışında farklı ihtiyaçlara cevap verebilen yatakların da üretilmesine talep olmuştur. Bunda, korozyon ve kimyasallara karşı dayanıklı, kendinden yağlayıcı özelliği olan ve bu nedenle yağlayıcı gerektirmeyen, hafif (çeliklere göre % 80 daha hafif), yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme, düşük sürtünme katsayısı ve sürtünme, sessiz çalışma, yalıtkan olması, tasarım kolaylığı

sağlaması, metal olmayan (manyetik özelliği olmayan) ve düşük bakım maliyetleri gibi talepler polimer yataklar tarafından büyük ölçüde karşılanabilmektedir [3].

1.1 Tezin Amacı

Bilyalı polimer rulmanlı yatakların kullanımının nadir olduğu günümüzde, aslında geleneksel metal rulmanlı yataklara göre çok daha fazla avantajlarının olduğunu belirtmek gerekir. Her türlü korozif ortamda rahatça ve uzun ömürlü olarak çalıştırılabilen bu bilyalı polimer yataklar, daha az gürültülü olması bakımından da ön plana çıkmaktadır. Maliyet bakımından da oldukça avantajlı olan bu yatakların, geleceğin vazgeçilmezlerinden olacağı hiç şüphesiz aşikârdır.

Gürültü bakımından her ne kadar polimer yatak üreten firmalar yağlayıcı kullanmadan gürültüsüz çalıştığını iddaa etselerde, yağlayıcı kullanılarak tamamen gürültüsüz çalıştığı belirtilmektedir. [2,3]. Ancak bu konu ile ilgili bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, hem kuru hem de farklı yağlayıcılar kullanarak deneysel ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi gerekmektedir. Bu maksatla SKF marka 6204/HR22Q2 seri numaralı polipropilen yataklar üzerinde yine SKF marka LGLEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2 farklı gres yağlayıcılar kullanarak yapılan deneyler neticesinde söz konusu yatağın gürültü karakteristiğinin çıkarılması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Geleneksel çelik rulmanlı yatakların gürültü karakteristiği ile ilgili günümüze gelene kadar birçok bilimsel araştırma yapılmıştır. Teuro Igarashi bilyalı yatakların gürültüsüyle ilgili yaptığı deneylerde 8 m uzunluğunda, 5 m genişliğinde ve 3 m yüksekliğinde ses yalıtımı olan bir oda kullanmıştır. Bu odanın duvarları ve tavanını kaya yünü ile kaplayarak daha iyi bir yalıtım sağlamıştır. Yaptığı deney neticesinde; eksenel veya radyal yüklenmesi durumlarında basit bir bilyalı yatakta ki gürültünün çoğunlukla dış bilezikteki titreşimlerden kaynaklandığını gözlemlemiştir [4].

Igarashi diğer bir çalışmasını monte edilmiş haldeki bilyalı bir yatak üzerinde yapmıştır. Yaptığı deney neticesinde, yatak gürültüsünün 1 kHz'in üzerinde ki frekanslarda meydana geldiğini görmüştür. Frekansların mil hızı ile değişmediğini, fakat ses basınç seviyesinin arttığını gözlemlemiştir. Igarashi, düşük frekansların yük

ile az bir oranda arttığını, yüksek frekansların ise uygulanan yük ile değişmediğini görmüştür. Monte edilmiş yataklardaki temel gürültünün bileziklerin titreşiminden kaynaklandığını ve kafes titreşimlerinin de gürültüsünün buna katkıda bulunduğunu görmüştür. Bütün bunların neticesinde, monte edilmiş rulmanlı yatak ile basit bir deney düzeneğindeki yatağın gürültüsünün aynı olduğu gözlenmiştir [5].

Igarashi, monte edilmiş haldeki bilyalı bir yatak üzerindeki çalışmasını sürdürmüş, bu sefer radyal boşluk ve montaj sıklığının etkisini araştırmıştır. Gürültünün frekans ve toplam ses basınç seviyesinin radyal boşluk arttıkça azaldığını görmüştür. Gürültü frekanslarının dış bilezik sıklığıyla arttığını, küçük radyal boşluklarda toplam ses basınç seviyesinin dış bilezik sıklığı ile arttığını belirlemiştir. Büyük radyal boşluklarda ise gürültü seviyesinin düştüğünü gözlemlemiştir [6].

Igarashi, monte edilmiş bilyalı yatak gürültüsü ile ilgili çalışmalarını, üç fazlı alternatif akım endüksiyonlu elektrik motorunun bilyalı yatakların gürültü davranışı üzerinde yaptığı deney ile sürdürmüştür. Bu yataklardaki gürültünün birçok faktörden etkilendiğini görmüştür. Bunlar; yağlayıcı, dönme hızı, yük, radyal boşluk, dönen milin titreşimi, bileziklerin sıklığı ve kafesin rijitliğidir. Radyal boşlukların büyük olduğu sistemlerde titreşim olduğu, fakat küçük ön yüklemeler ile ortadan kalktığı görülmüştür. Montajdan sonra ki küçük pozitif radyal boşluklarda yatak gürültü değeri minimum bir değer almaktadır. Yatak yuvasının rijit olması yataktaki gürültüyü azaltmıştır [7].

Igarashi, bilyalı yatak gürültüsü üzerine yaptığı son çalışmada, yataklardaki bilezik ve bilya yüzeyinin temasında yay karakteristiğindeki değişimin yattığını öne sürmüştür. Bilezikler üzerinde titreşim oluşturan yükler, doğal eğilme titreşimlerini meydana getirerek yatak gürültüsünün sebebi olduğunu ileri sürmüştür [8].

Nagamatsu ve Fukuda ise 1978 yılında, gürültüyü dikey halde yüksek hızlarda 900 dev/s'e kadar, değişik dış bilezik malzemeleri (çelik veya plastik) ile ölçmüş ve analiz etmiştir. Deney sonuçları, düşük dönme hızlarında 50 dev/s yapılan gürültü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Düşük dönme hızlarında, toplam ses basınç seviyesi plastik malzeme ile daha düşük, çelik kafes malzemesi ile daha yüksektir. Bu durum yüksek hızlarda tam tersi olduğu gözlenmiştir [9].

Jayaram ve Jarchow, 1977 yılında bilyalı yatak gürültüsünün farklı hız ve yüklerde farklı yağlayıcılar kullanarak nasıl değiştiği konusunda çalışmalar yapmışlardır. Gürültü seviyesinin hız faktörü ile hızla arttığı, artan yük faktörü ile birlikte gürültü seviyesinin arttığı görülmüş fakat bu çok küçük boyutlarda kalmıştır. Yüksek

viskoziteli yağlayıcıların gürültü seviyesini düşürmeye yardımcı olduğunu gözlemlemişlerdir [10].

Jong-Eok Ban, Byoung-Hoo Rho ve Kyung-Woong Kim,2006 yılında radyal yükler altında yuvarlanma elemanı içeren yataklardaki gürültü üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar deneysel ortamda uygulanmamış, matematik modeller üzerinde çalışılarak bazı sonuçlara varılmıştır. Buna göre, yataktaki ses basınç seviyesinin, radyal yük ve iç bileziğin dönme hızı arttıkça arttığını görmüşlerdir. Ses basınç düzeyi yuvarlanma elemanı sayısının artması ile artış göstermiştir. Radyal boşluk arttıkça ve kullanılan yağlayıcının viskozitesi azaldıkça, yatak gürültüsünün azaldığını tespit etmişlerdir [11].

R. Serrato, M.M. Maru ve L.R. Padovese 2007 yılında yağlayıcı viskozite seviyesinin yuvarlanma elemanı içeren yataklardaki titreşimi üzerindeki etkisi için çalışma yapmıştır. Deneylerini NU205 yuvarlanma elemanı içeren yataklar üzerinde, üç değişik viskozitede mineral yağlayıcılar (ISO 10, 32 ve 68) kullanarak yapmışlardır. Bu üç farklı yağlayıcı ile denenen yataklardaki mekanik titreşimler 2 saat boyunca sabit sıcaklık ve değişik mil hızlarında gözlenmiş ve analiz edilmiştir. Uygulanan radyal yükün %10'u yatak nominal yüküdür. Yuvarlanma elemanı içeren yataklarda değişik viskozite de yağlayıcılar kullanıldığında farklı boyutlarda titreşimlerin oluştuğu gözlenmiştir. Yağlayıcı viskozitesindeki değişimler, farklı yağlayıcıların kullanılmasından veya aynı tip yağlayıcı için sıcaklıkların değişmesinden kaynaklanır. Yuvarlanma elemanı içeren yataklarda yağlayıcı koşullarındaki değişimlerin, temel olarak yüksek frekanslarda (600 – 10 000 Hz) titreşimi etkilediğini görmüşlerdir. Film kalınlığı arttıkça, titreşimde azalma olduğunu tespit etmişlerdir [12].

N. Tandon ve A. Choudhury, 1999 yılında yuvarlanma elemanlarının titreşim ve akustik ölçüm yöntemleri ile hatalarının belirlenmesi için araştırmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde akustik ölçümler ile yapılan testlerde belirlenen hataların daha yüzeyde oluşmadan belirlendiğini ve titreşim ile belirlenenlerden daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir [13].

E. Kamburoğlu, 2010 yılında bilyalı polimer yatakların gürültü karakteristiğini yağlayıcı kullanarak ve kullanmadan deneysel olarak incelemiştir. Deneysel bulgular neticesinde yağlayıcısız çalışan bilyalı polimer yatakların her zaman risk altında olduğunu ve tamamen kuru çalışmanın sadece düşük yükler ve düşük hızlar için tercih edilmesi gerektiğini vurgulamıştır [14].

Görüldüğü üzere geleneksel metal bilezikli bilyalı yatakların gürültü karakteristikleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmış ve yatak gürültüsünün kaynakları açıklığa kavuşturulmuştur. Ancak polimer bilezikli ve kafesli olan yatakların gürültü karakteristiği ise henüz yeterince incelenmemiş olması bu konuda yapılacak deneysel çalışmalara olan ihtiyacı göstermektedir. Polimerlerin ısı genleşmelerinin metallere göre çok yüksek olması, buna karşılık ısı iletkenliklerinin düşük olması, daha hafif olmaları, korozyona karşı dirençlerinin yüksek olması metal melazemelerle karşılaştırdıkları üstünlükleri olarak sıralanabilir. Bunun yanında, polimer yatakların metal yataklar kadar rijit olmaması ve polimer malzemenin doğası gereği yağlayıcı gerektirmeden çalışabilmeleri gibi özelliklerinden dolayı gürültü açısından değerlendirildiğinde metal yataklara göre farklı bir karakteristik göstereceği öngörüsü oldukça aşikârdır.

2. POLİMER RULMANLI YATAKLAR

Polimer rulmanlı yataklar; polimer bilezik; çelik, cam, polimer veya diğer malzemelerden üretilen bilyalar ve bunları bir arada tutan polimer bir kafesten oluşur. Şekil 2.1’de çeşitli tipte polimer yatak resimleri görülmektedir.



Şekil 2.1: Çeşitli tiplerde bilyalı polimer yataklar [3].

Polimer rulmanlı yataklar çok çeşitli malzemelerden ve malzeme bileşimlerinden yapılabilir. Polimerler çeliklerden tamamen farklı özelliklere sahiptirler. En önemli özelliği korozyon ve kimyasallara karşı direncinin yüksek olmasıdır. Diğer önemli avantajları arasında elektrik yalıtkanlığı, iyi sönümlenme, düşük maliyet gibi özellikler sayılabilir. Polimerler düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma ve yorulma dayanımları ile yatak imalatında tercih edilir. Bu kendinden yağlayıcı yataklar, kuru olarak ve yağlayıcı gerektirmeden çalışırlar. Polimer rulmanlı yatakların dezavantajı ise taşıdıkları azami yüklerin ve azami çalışma hızlarının geleneksel çelik yataklara göre daha düşük olmasıdır. Yüksek özgül mukavemetleri (mukavemetin ağırlığa oranı) polimer yataklar için önemli bir özellik olup, özellikle ağırlığın önemli bir tasarım parametresi olduğu uygulamalarda kullanılır. Kullanılan

polimerlerin yüksek ölçüde kararlılıkları sayesinde düşük sürünme eğilimleri uzun ömürlü olmalarını sağlar.

Polimer rulmanlı yatakların avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- ***Korozyon ve kimyasallara karşı direnci***

Çoğu yatak sorunları genelde korozyon kaynaklıdır. Plastik yataklar, korozif ortamlara dayanıklı olmasından dolayı böyle ortamlarda daha çok tercih edilirler. Deniz suyu, film işleme çözümleri ve yüzme havuzları gibi ortamlarda rahatlıkla kullanılırlar.

- ***Hafif olması***

Plastikler % 80 oranında çeliklerden daha hafiftir, böylece hareketi için gerekli olan enerji ve ağırlıkla birlikte azalmış olur.

- ***Tasarım esnekliği***

Özel tasarımlar, hazır ve pahalı olmama gibi özelliklerinden dolayı plastiklerden üretilirler. Buda mühendislere yatakları tasarlarken daha özgür bir bakış açısı sağlar.

- ***Metal olmaması – Manyetik olmaması***

Plastik yataklar polimer, cam ve manyetik olmayan 316 paslanmaz çelik bilyalarla çalıştıklarında manyetik bir ortam oluşmaz. Bunun için manyetik deformasyonun istenmediği durumlarda polimer malzemeli yatakların kullanılması uygundur.

- ***Hijyen***

Polimer yataklar; yağlayıcı gerektirmediği ve korozif olmadıklarından, kendi özelliği olarak temizdirler. Bunun için hijyen aranan işletmelerde oldukça tercih edilir.

- ***Sessiz Çalışma***

Plastik yatakların titreşim azaltıcı özellikleri de vardır. Yağlayıcı kullanıldığı takdirde tamamen gürültüsüz hale gelir.

- ***Yağlayıcı kullanımı gerektirmemesi***

Çelik yatakların yağlayıcı gerektirmesindeki temel neden, sürtünmeyi azaltmak, ısıyı dağıtmak ve korozyonu engellemektir. Plastik kendi doğası gereği korozyona uğramaz. Metal-metal teması olmadığından, daha az sürtünme ve bunun neticesinde ısı kritik değerlere ulaşamaz [2].

2.1 Uygulama Alanları

Bilyalı polimer yataklar tipik olarak nem ve kimyasallara karşı direncin yüksek olması istenilen ortamlarda kullanılır. Bu uygulamalarda, çelik ya kullanılamaz ya da kısıtlamalar altında kullanılabilir. Bu durumda polimer bilyalı yatakların teknik ve ekonomik açıdan en iyi çözüm olduğu görülür.

Polimer bilyalı yatak üreticileri bu tip yatakların yağlayıcısız çalıştırılabildiklerini iddaa ettiklerinden daha önceki bölümde bahsedilmişti. Eğer bu durum deney sonuçlarla da doğrulanırsa yağlayıcı kullanılması istenmeyen durumlarda polimer yatakların tercih edilebileceğini söyleyebiliriz. Bu duruma örnek olarak gıda sektöründe hijyen gereksinimi örnek verilebilir.

Polimer yatakların kullanıldığı sanayi dalları şöyle sıralanabilir.

- Gıda ve içecek
- Tıp
- Isıtma ve iklimlendirme
- Kimyasal ve elektro kaplama
- Film, fotoğrafçılık, eczacılık
- Tekstil
- Elektro teknoloji
- Tüketici ürünleri
- Ofis ürünleri
- Model ve hafif konstrüksiyon
- Ölçüm ekipmanı
- Malzeme ambalaj ve taşıma
- Vakum uygulamaları [3]

2.2 Kullanım Şekli

Polimerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karmaşıklığından dolayı yatakların ömürlerini hesaplamak için analitik bir yöntem bulunmamaktadır. Uygun malzemenin seçilmesi için laboratuvar ortamında yapılan testlerde, bilyalı polimer

yatakların viskoelastik eğilimi ve yüksek termal genleşme eğiliminden dolayı öngörülmeleyen etkilerin çıkmasına neden olmaktadır.

2.3 Kimyasallara Karşı Direnç

Çoğu polimerler çok iyi kimyasal dirence sahiptirler. Kullanılacak ortama bağlı olarak, polimerler kimyasal dirençleri ile iyi bir alternatiftir.

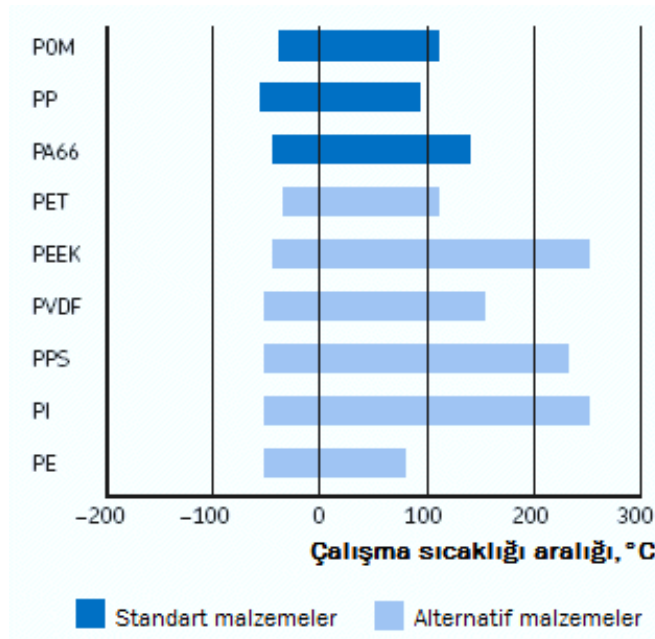
Polipropilen (PP) asit, alkalın, tuz ve tuz çözeltileri, alkol, yağlar, gresler, mum ve bir çok çözücüye karşı direnç gösterir. Aromatik bileşikler ve halojenli hidrokarbonlar ile temas ettiklerinde şişme gösterir. PP güçlü bir takım oksitleyicilere (nitrik asit, kromatlar veya halojenler) karşı direnci iyi değildir.

Polioksümetilen (POM) benzin, benzen, yağlar ve alkollere karşı olduğu gibi güçsüz asitler, güçsüz ve güçlü alkalın ve organik çözeltilere karşı da dirençlerinin iyi olduğunu söylemek mümkündür.

Poliamit 66 (PA66) tüm organik çözücülere ve bazı güçsüz asitler ve alkaline karşı iyi direnç gösterir.

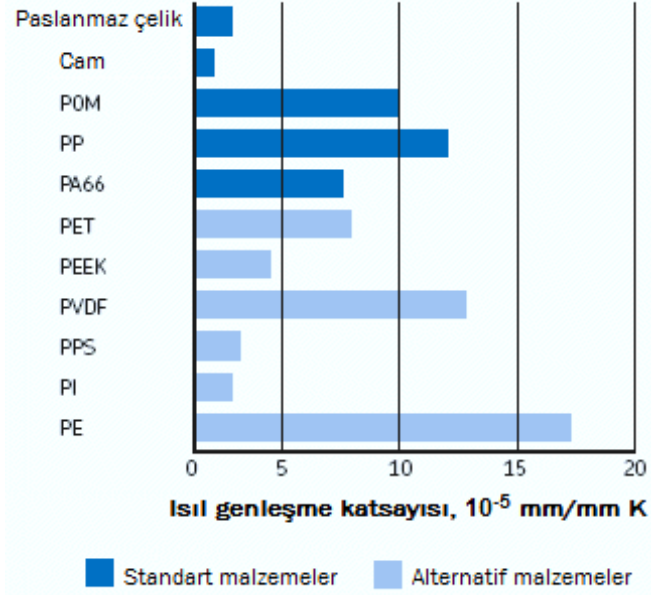
2.4 Çalışma Sıcaklıkları ve Termal Genleşme

Kimyasal direncin yanında çalışma sıcaklıkları da uygun yatak malzemesinin seçiminde anahtar bir unsurdur. Şekil 2.2’de çeşitli polimer malzemeler ve çalışma sıcaklık aralıkları görülmektedir.



Şekil 2.2 : Çeşitli polimer malzemelerin çalışma sıcaklık aralıkları [3].

Termal genleşme, sıcaklığa bağlı olduğu kadar, önemli derecede ısı genleşme katsayısına da bağlıdır. Polimerlerin ısı genleşme katsayıları çeliklere göre 10 kat daha büyüktür. Şekil 2.3’de çeşitli polimerlerin termal genleşme özelliği görülmektedir. Termal genleşme yatağın iç bilezikleri arasındaki boşluğu etkilediği için mil ve kafes tasarlanırken dikkate alınması gerekir.



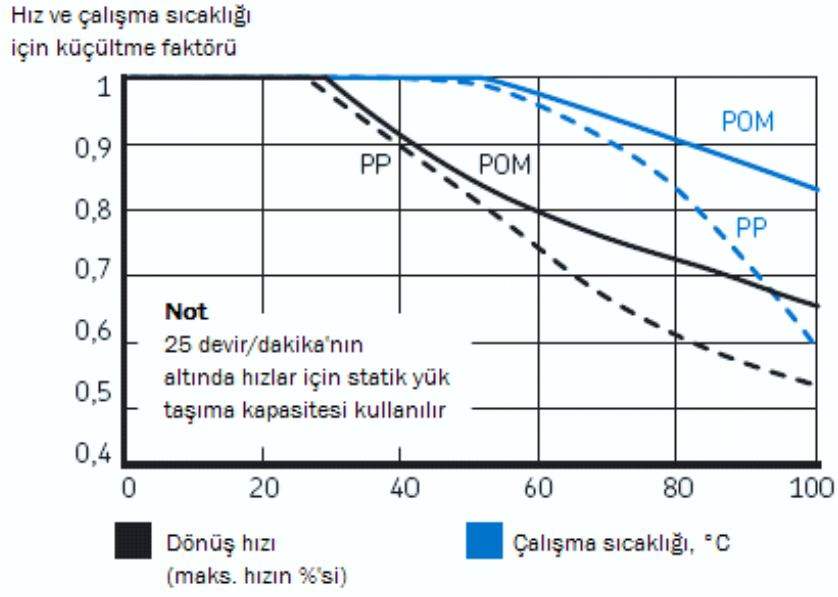
Şekil 2.3 : Çeşitli polimerlerin ısı genleşme katsayıları [3].

2.5 Yük Taşıma Kapasitesi

Yatak imalatçıları yük taşıma kapasitesini, statik ve dinamik yük taşıma kapasitesi olarak iki bölüm olarak incelemiştir.

Statik yük taşıma kapasitesi, durağan haldeki bir yatağın yuvarlanma elemanlarına ve çalıştığı kafese zarar vermeden taşıyabileceği maksimum yükü belirtir. Dinamik yük taşıma kapasitesi ise yatağın çalışır vaziyetteki taşıyabileceği maksimum yükü belirtir.

Dinamik yük taşıma kapasiteleri işlem şartlarına bağlıdır. İşlem sıcaklığı ve dönme hızına bağlı olarak polipropilen ve polioksimetilen yatakların yük taşıma kapasiteleri Şekil 2.4’deki grafikten hesaplanabilir.



Şekil 2.4 : Bilyalı polimer yataklar için düzeltme faktörleri [3].

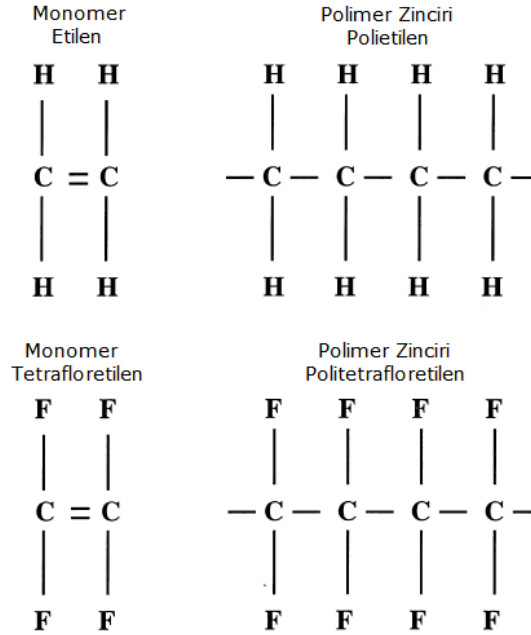
2.6 Montaj Sıkılıkları

Mil ve yuva sıkılıkları yatağın çalışma boşluğunu ve işlem karakteristiklerini önemli derecede etkiler. Bu nedenle imalatçı firma katalogunda sadece bir bilezik için (mil veya yuva üzerinde) 20 µm sıkı geçme olmasını tavsiye edilmektedir. Diğer bileziğin ise hafif boşluklu geçme olması istenir. Hiçbir durumda her iki bileziğinde sıkı geçme olması istenmez. Aksi takdirde yetersiz çalışma boşluğu yatağın ömrünü kısaltır.

Bunlar sadece hesaplamaların düzgün olabilmesi için bir rehberdir. Yatağın ve onun bileşenlerinin termal genişmesinin çalışma açısından dikkate alınması gerekir [3].

3. POLİMERLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Polimerler, sentetik olarak monomer adı verilen temel kimyasal bileşiklerin bir araya getirilmesi sonucu oluşur. Monomer molekülleri her zaman karbon atomlarının diğer atomlarla birleşimini içerir. Polimerler, polimerleşme işlemi ile üretilir buda her bir monomerin diğer monomerlerle tepkimeye girerek uzun molekül zincirleri oluşturması ile meydana gelir. Şekil 3.1’de monomer ve polimer zinciri yapıları görülmektedir. Polimerler molekül ağırlığı arttıkça daha güçlü bir hal alır [16].



Şekil 3.1 : Monomer ve polimer zinciri yapıları [16].

Örneğin düşük moleküler ağırlıklı olan polietilen, en az 100 adet CH₂ içerir, oldukça yumuşak bir malzemedir. Molekül sayısı arttıkça, malzeme daha güçlü ve tok bir hal alır. En uzun polimer zinciri aşırı yüksek moleküler ağırlıklı polietilendir (UHMWPE). Yapısında yarım milyona kadar ulaşan CH₂ molekülünden oluşan zincirler oldukça dayanıklıdır. Bu malzeme kalça kemiği gibi yapay eklemlerin yataklanmasında kullanılan önemli bir malzemedir [16].

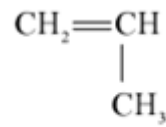
Polimer malzemeler, molekül yapısı ve bağ mekanizmasına bağlı olarak termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üçe ayrılırlar.

En büyük grubu termoplastikler oluşturur. Termoplastik polimerler zincir içinde kovalent, zincirler arasında zayıf Van der Waals bağlarına sahiptir. Genel olarak sünektir ve kırılmadan önce plastik şekil değiştirirler. Isıtıldıklarında moleküller arası kuvvetler zayıflar ve malzeme tekrar şekillendirilebilecek hale kadar yumuşar. Gerilmeye maruz kaldıklarında hem elastik olarak şekil değiştirir hem de viskoz olarak akarlar. Yük kalktıktan sonra malzemedeki bağlar ilk haline dönmeye çalışacak ve zamana bağlı bir toparlanma gerçekleşecektir. Bu tür polimerler erime sıcaklıklarına yaklaştıklarında birbirinden bağımsızlaşır ve polimer yumuşamaya başlar. Erime sıcaklığının üzerinde polimerler eriyik haline gelir. Sıcaklık arttıkça eriyiğin viskozitesi düşer. Bu eriyik tekrar soğutulduğunda termoplastik polimer zincirleri tekrar oluşabilmektedir. Yani bir termoplastiğin eritilip tekrar şekillendirilmesi mümkündür. Bu sayede termoplastik granülleri yüksek sıcaklık ve basınç altında eriyik haline getirilerek tek aşamada kalıba enjekte edilerek şekillendirilebilir. Termoplastiklerin bir diğer avantajı da çatlak ve kırılmaların ısı ile kaynatılabilmesidir [17].

Çalışma kapsamında deneylerde kullanılan yatakların bilezik ve kafes malzemesi olan polipropilen, termoplastik bir malzemedir.

3.1 Polipropilen Yapısı

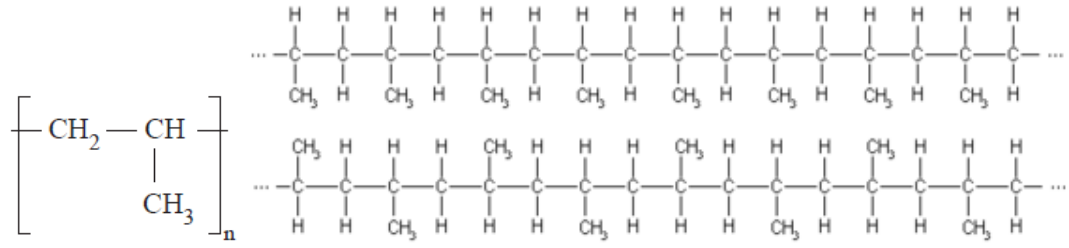
Polipropilen dünyada en çok kullanılan plastiklerden biridir. Ticari anlamda bu plastik tipiyle ilk 1957 yılında tanışıldı [18]. Şekil 3.2’de polipropilen yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2 : Propilen yapısı.

Polipropilen isotaktik (i-PP), sindiyotaktik (s-PP) ve ataktik (a-PP) yapıda olabilir, bu durum asılı olan metil gruplarının (CH₃) dizili olan karbon atomlarına tutunarak bir bağ oluşturması ile olur [18].

İsotaktik polipropilen (i-PP), ticaride plarak en çok kullanılan polimer olup, yapısı Şekil 3.3’de görüldüğü gibi asılı olan metil grupları hepsi aynı düzenle dizilirken, polimer zincirinde aynı sırada yer alırlar. Bu dizilim onlara yüksek kristallik özelliği kazandırır. Bütün üç tip yapı içinde kristal yapısı en yüksek olan isotaktik polipropilenlerdir. Buda onlara çok iyi mekanik özellikler kazandırır. Örneğin, tokluk ve gerilme dayanımı oldukça iyidir. Sindiyotaktik polipropilen isotaktik’e göre tokluğu daha azdır fakat darbe dayanımları daha iyi bir malzemedir. Düzensiz yapıları ile ataktik polipropilenler, düşük kristallik özelliğine sahip olup, bundan dolayı sahip oldukları yapışkansız özelliği ile, daha çok yapıştırıcı üretimi ve çatılarda ziftlemede kullanılır [19]. Şekil 3.3’de isotaktik ve sindiyotaktik polipropilen yapısı görülmektedir.



Şekil 3.3 : İso-taktik (üstte) ve sindiyotaktik (altta) polipropilen yapısı [18].

Polimerlerin % 90 ya da daha fazlası, yapı açısından daha çok ticariye hitap ettiğinden, isotaktik yapıdadır. Yüksek kristal yapısı ile erime noktası 165 – 171 °C değerindedir. Yoğunluğu 0,9 ila 0,91 g/cm³ arasında olan polipropilen en hafif ticari termoplastikler arasındadır [18].

Polipropilen yalıtıcı özelliğinin yanında, kimyasal ve pasa karşı direncinin yüksek olması en tipik özelliklerindedir. Yüksek kristal yapısı ile polipropilenler, yüksek çekme mukavemeti, rijitlik ve sertlik gösterir. Fakat ısısız, ışıksız ve oksitleyici bozulmalara karşı polietilene göre daha az kararlı bir davranış gösterir. Bu nedenle, polipropilenleri daha kararlı hale getirmek için termal stabilizörler, UV soğurucular ve antioksidanlarla takviye yapılır.

Polipropilenler, enjeksiyon kalıplama ve hava basıncıyla kalıplama gibi uygulamalarda kullanım alanı bulduğu gibi, elyaf veya filaman şeklinde yada ekstrüzyon kaplama şeklinde de kullanılabilir. Toplam kullanılan polipropilenin yarısında enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmakta olup, bunlara otomotiv ve genel araç gereç yapımı dahildir.

Ekstrüzyon ürünü olarak polipropilen elyaflar, halı, örme, dokuma kumaşlarda ve döşemelik kumaşlarda iplik olarak kullanılır. Dokuma olmayan polipropilen kumaşlar halı tabanı, tek kullanımlık bebek bezi astarı, tek kullanımlık hastane kumaşları, tekrar kullanılabilir havlular ve mobilya kaplamalarında kullanılır. Polipropilen filamanlar ip ve halat yapımında kullanılırken, polipropilen filmler şeffaf ambalaj yapımında kullanılır [18].

3.2 Polimerlerin Tribolojik Özellikleri

Polimerlerin yüzey özellikleri ve kimyasal yapıları tribolojik özelliklerini etkiler. Polimerlerin kristal yapısı ve morfolojisinden dolayı temas noktalarında molekül hareketi kısıtlanır ve katkı maddesinin katalizör etkisi ile reaksiyon meydana gelir [20].

3.2.1 Polimerlerde sürtünme katsayısı

Sürtünme yaşamımızda ve endüstri dünyasında oldukça önemli bir kavramdır. Sürtünme deyince temas yüzeylerinin pürüz tepeciklerinin birbirine kaynaması olarak tanımlanan adezyon ve elastik veya plastik şekil değişimini ifade eden deformasyon olmak üzere iki bileşen aklımıza gelmelidir. Bu yaklaşım bütün malzemelerde olduğu gibi polimerler içinde geçerlidir. Polimerlerin davranışları Briscoe tarafından tanımlanan bazı özellikleri ile diğer malzemelerden ayrılır.

- Adezif bağlar, bunların tipi ve gücü
- Temas halinde birbirine sürtünen iki malzemenin temas noktalarında kayma ve kopma gerçekleşmesi
- Gerçek temas alanı

Polimerlerde adezyonla birlikte deformasyona bağlı sürülme meydana gelir ve bazı durumlarda mikro – kesiklere neden olur. Bu durumda sürtünmeyi yenmek için ek iş yapılması gerekir [20].

Deformasyonla birlikte enerji kaybı meydana gelmektedir. Örneğin, viskoelastik davranışlı bir polimer daha sert yüzeyli bir malzemeye sürüldüğünde yüksek deformasyon kayıplarından kaynaklı enerji kayıpları meydana gelir.

Sürtünmenin deformasyon bileşeni polimerin daha sert olan karşı yüzeyin pürüzleri tarafından sürülmeye karşı gösterdiği direnç sonucunda ortaya çıkar. Polimer

yüzeyindeki pürüzler elastik, plastik ve viskoelastik deformasyon olması malzeme özelliklerine bağlıdır. Adezyon bileşeni ise doğrudan doğruya temas noktalarında meydana gelen adezif bağlardan kaynaklanır diğer bir deyişle kenetlenmiş yüzeyler arasında asıl temas noktalarının birbirine tutunması sonucu oluşur. Polimerlerde adezyon bileşeninin deformasyon bileşeninden çok daha fazla olduğu düşünülmektedir. Adezyona bağlı olarak karşı sert yüzeyde transfer filmi oluşur. Bu filmin özellikle ele alınması, polimer malzemelerin tribolojik davranışlarının anlaşılması açısından önemlidir. Temas yükü, kayma hızı ve sıcaklık sürtünme kuvvetini etkileyen faktörlerdir. Bu etkiler birbirinden bağımsız değildir. Örneğin, temas yükü ve kayma hızındaki değişimler sıcaklığı önemli derecede değiştirebilir ve sürtünme modu değişebilir [20].

Polimer malzemelerin oda sıcaklığında kuru yüzeylere karşı çalışırken meydana gelen tribolojik özelliklerini sıcaklığa bağlı olarak ortaya koymak için pV limit kavramı tanımlanmıştır. Burada P değişkeni temas basıncını, V ise kayma hızını belirtir. Polimer malzemelerin tribolojik özellikleri sıcaklıkla birlikte değiştiğinde, pV sınır değeri de ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Katkılı polimerlerde katkı maddesinin özelliklerine göre pV değeri değişir. pV sınır değeri analitik yöntemlerle bulunan bir değer olmayıp, deneysel çalışmalar neticesinde elde edilir [21].

Polimerler viskoelastik malzemeler olduğundan, deformasyon ve sürtünme karakterleri yüke, hıza ve sıcaklığa bağlıdır. Çoğu termoplastik için oda sıcaklığında $\mu \cong 0.4$ 'dür. Bu sınıflandırmada PTFE (Teflon) ve yüksek yoğunluklu polietilen hariç tutulur [21].

3.2.1.1 Polimerlere sıcaklığın etkisi

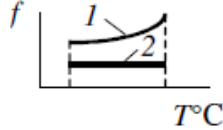
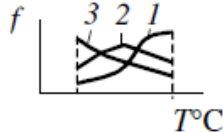
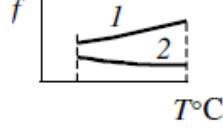
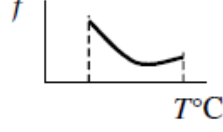
pV limit değeri, kaymanın olduğu ara yüzde, kritik sıcaklıklara ulaşıldığında artan sıcaklıkla birlikte düşer. Erime sıcaklıklarının üzerinde, viskoz bir sıvı gibi moleküller yeterli ısı enerjisiyle ulaşarak hareket etmeye başlar. Erime sıcaklığının (T_m) altında, üç boyutlu kristalleşme meydana gelir. Amorf polimerlerde genelde kristalleşme yerine düzgün bir hızla hacmin azalması gözlenirken, kristalliği yüksek polimerlerde kristalleşmeye bağlı olarak keskin hacim düşmeleri meydana gelir [21].

Aynı zamanda önemli özellikler camsı geçiş sıcaklığında değişir. Yarıkristal polimerlerde düzensiz bölgeler (bütün amorf polimerlerde olduğu gibi) ısı enerjisi

kaybederek camsı sıcaklığa ulaşır, polimerler bu nedenle lastik ve şekil verilebilen bir yapıda iken katı ve gevrek bir hal alır [21].

Polimerler viskoelastik malzemeler olarak sürtünme kaynaklı ısıya karşı oldukça hassastır. Sürtünmede açığa çıkan ısı temas noktalarında malzemelerin deformasyona uğraması sonucu açığa çıkar. Diğer bir neden ise adeziv bağların oluşması ya da kopmasından kaynaklanır. Bu işlemler genellikle enerjik olarak eşdeğer değildir ve bu enerji farkı ısı oluşumuna veya emilimine neden olur. Sıcaklığın sürtünme üzerindeki etkisinin polimerin ilgili sıcaklıktaki mekanik özelliklerinin dikkate alınmasıyla anlaşılabilceği düşünülmektedir. Buna bağlı olarak sürtünme katsayısı ile sertlik ve kayma mukavemeti arasında bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Yalnız böyle bir ilişki sıcaklığın adezyon etkisi olmadığı sürece geçerli olacaktır. Çizelge 3.1’de bazı araştırmacıların çeşitli sıcaklıklarda bazı malzemeler üzerinde yaptığı çalışmaların sürtünme katsayısı-sıcaklık grafik gösterimi verilmiştir [20].

Çizelge 3.1 : Sıcaklığın sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi.

Araştırmacı	Malzeme	Çalışma sıcaklığı Ortam şartları	Grafik gösterimi
Shooter, Thomas ⁵⁷	1 – PS, 2 – PTFE	20–80°C Çelik-Polimer	
Ludema, Tabor ⁶⁹	1, 2 – PCTFE, 3 – PP	-50–+150 °C Çelik-Polimer 1 – v = 3.5×10 ⁻⁵ cm/s, 2 – v = 3.5×10 ⁻² cm/s	
King, Tabor ⁷⁰	1 – PE, 2 – PTFE	-40–+20 °C Çelik-Polimer	
Schallamach ⁵⁹	Kauçuk	20–200 °C Çelik-Polimer	

3.2.1.2 Polimerlerin sürtünme davranışına kayma hızının etkisi

Polimerler viskoelastik bir malzeme olarak karakteristik gerilme gevşemesi sürelerine sahiptir. Gerilme gevşemesi sabit deformasyon hızına tabi malzemenin maruz kaldığı gerilmenin zamanla azalması olarak tanımlanır. Bu nedenle kayma hızları onları belli bir hızda şekil değiştirmeye zorlayan bir faktördür. Bu nedenle kinetik sürtünme katsayısı genellikle artan kayma hızı ile birlikte artar [21].

Çok yüksek hızlarda, kinetik sürtünme katsayısı artan hızla birlikte bir noktadan sonra sürtünmeden kaynaklanan ısı ve yumuşamadan dolayı azalabilir. $p\dot{v}$ limitleri kayma hızlarını önemli derecede değiştirir [21].

Teorik olarak, sürtünme kuvveti kayma hızından bağımsızdır. Polimerler için, bu durum temas noktalarındaki sıcaklıkların küçük boyutlarda artması durumunda geçerlidir. Genellikle sürtünme katsayısının hız üzerindeki kompleks bağımlılığı, gevşeme özellikleri ve makro moleküllerin fizyokimyasal aktiviteleri ile açıklanır. Polimer numunesinin deney sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığına yaklaştığında, sürtünme katsayısının kayma hızına bağlılığının güçlendiği gözlenmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda aralarındaki ilişkinin kaybolduğu gözlenir [20].

Shooter ve Thomas'ın araştırmalarına göre hızdan bağımsız sürtünme, PTFE, PE, PMMA ve PS için fiber-fiber temas durumlarında olduğu gibi sadece sınırlı bir hız aralığında (0,01 – 1,0 cm/s) gerçekleşir. Fakat sürtünme katsayısı – kayma hızı arasında daha karmaşık durumlar gözlenmiştir. Böyle durumlar polimerlerin viskoelastik davranışıyla ilişkilendirilebilir.

Düşük hız aralıklarında, temas noktalarındaki viskoz direnç artan hız ile birlikte artar. Temas basıncı yüksek olduğunda, hızda artışa bağlı olarak viskozitede keskin bir artışa neden olan anormal bir viskoz akış gözlenmiştir.

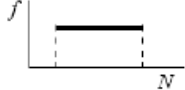
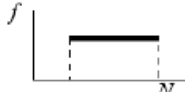
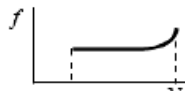
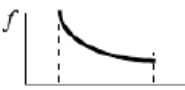
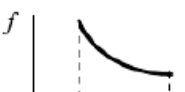

Yüksek hızlarda, temas bölgelerinde elastik davranış gözlenirken, sürtünme kuvveti hıza çok küçük bir oranla bağlıdır. Buna ek olarak, yüksek hızlarda temas süresinin kısa olmasının da sürtünme kuvvetini düşürdüğü düşünülmektedir [20].

3.2.1.3 Polimerlerin sürtünme davranışına yükün etkisi

Sürtünme kuvveti normal yük ile orantılı olduğu genel bir bilgidir ve deneysel çalışmalar neticesinde bazı polimerler içinde geçerli olduğunu göstermiştir. Çizelge 3.2'de Shooter ve Tabor tarafından yapılan deneylerde, 6,35 mm yarıçaplı bir

bilyanın PTFE, PMMA, PVC, PE ve Nylon üzerinde kayarken 10 N ve 100 N'luk yük aralığında, sürtünme katsayısının genel olarak sabit kaldığı gözlenmiştir. Diğer araştırmacılar ise yine aynı parçayı başka malzemeler üzerinde de denemiş ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Örneğin, Bowers, Clinton, Zisman PTFE, PTFCE, PVC, PVDC ve PE malzemeler üzerinde 2-15 N arasındaki yük aralığında, Shooter ve Thomas PTFE, PMMA, PS ve PE malzemeler üzerinde 10-40 N arasındaki yük aralığında çalışmış ve sürtünme katsayısının değişmediği gözlemlemişlerdir. Bu aralığın sağında veya solunda ise durum farklıdır. 0,02 N'dan 1 N'a kadar olan yüklerde sürtünme katsayısı artan yük ile birlikte düşer. Böyle bir davranış yüzeyler üzerindeki pürüzlerin elastik deformasyonu ile açıklanabilir. Diğer bir taraftan artan yükte birlikte sürtünme katsayısı da artar. Bu genellikle temas bölgelerinin pürüzlerinin plastik deformasyona uğraması ile açıklanır [20]. Çizelge 3.2 de malzemeye ve yüke bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Malzeme ve yükün sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi [20].

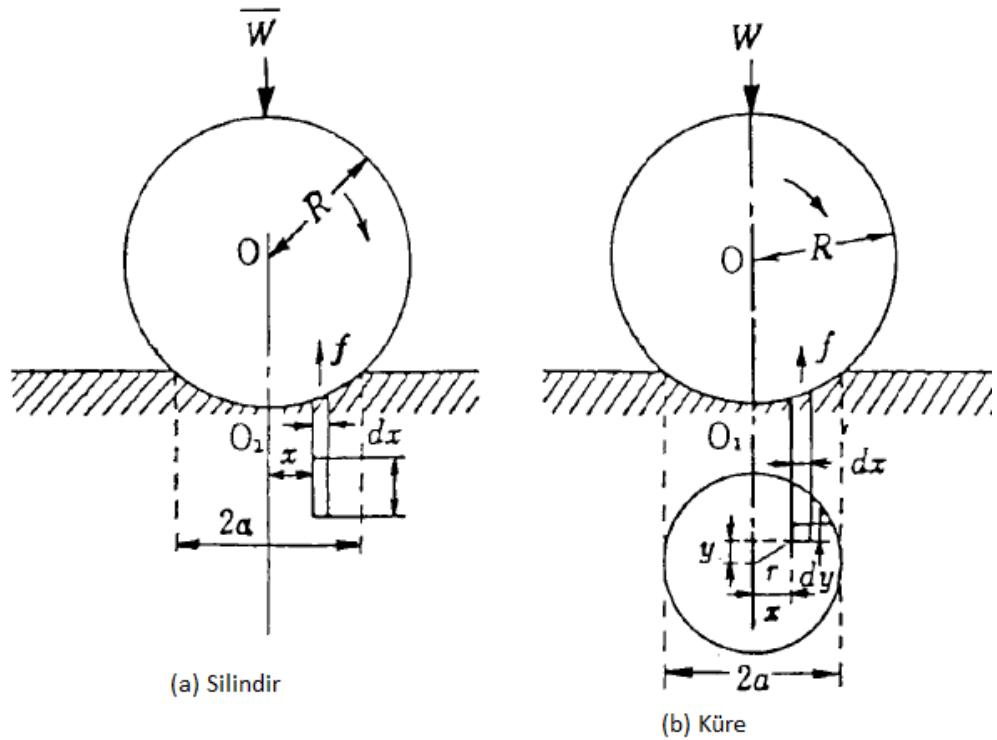
Araştırmacı	Malzeme ve yük	Grafik gösterimi
Bowers, Clinton, Zisman ⁵⁶	2–15 N Çelik-Polimer (PTFE, PFCE, PVC, PVDC, PE)	
Shooter, Thomas ⁵⁷	10–40 N Çelik-Polimer (PTFE, PE, PMMA, PC)	
Shooter, Tabor ⁵⁵	10–100 N Çelik-Polimer (PTFE, PE, PMMA, PVC, Naylon)	
Rees ⁵⁸	Çelik-Polimer (PTFE, PE, Naylon)	
Bartenev ⁵⁴ , Schallamach ⁶⁵	Teori Çelik-Kauçuk	
Kragelskii ⁴	Teori Çelik-Kauçuk	

3.2.2 Polimerlerde yuvarlanma sürtünmesi

Metalik malzemelerin düz yüzeyler üzerinde yuvarlanması üzerine Reynolds'dan bu yana çok sayıda teorik araştırma yapılmıştır. Plastiklerin yuvarlanma sürtünmesi, çok

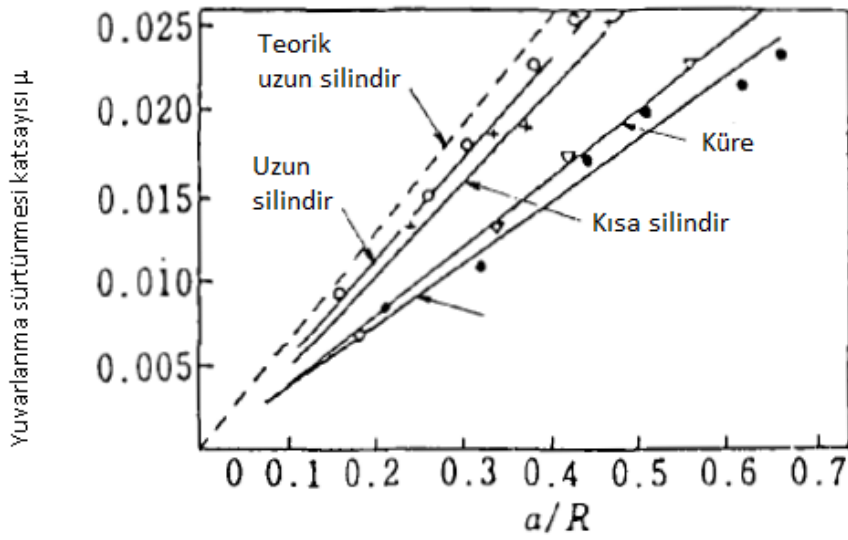
daha yeni bir araştırma konusudur ve Tabor, May, Norman ve Takemura ile araştırmalar başlamıştır.

Rulmanlı yataklar üzerinde çalışma yapılacağından ötürü, söz konusu polimer sürtünmesi yuvarlanma sürtünmesi olacaktır. Yuvarlanma sürtünmesi teoride Tabor tarafından, yuvarlak bir cisim viskoelastik bir malzeme yüzeyine (plastik veya kauçuk gibi) belirli bir yük altında karşı yüzeye batacak ve hareket sırasında karşı yüzeyi elastik deformasyona uğratacaktır. Şekil 3.4’de görülen sürtünme yüzeyi modelinde, R yuvarlanma yarıçapını, $2a$ ise batma mesafesini ifade eder.

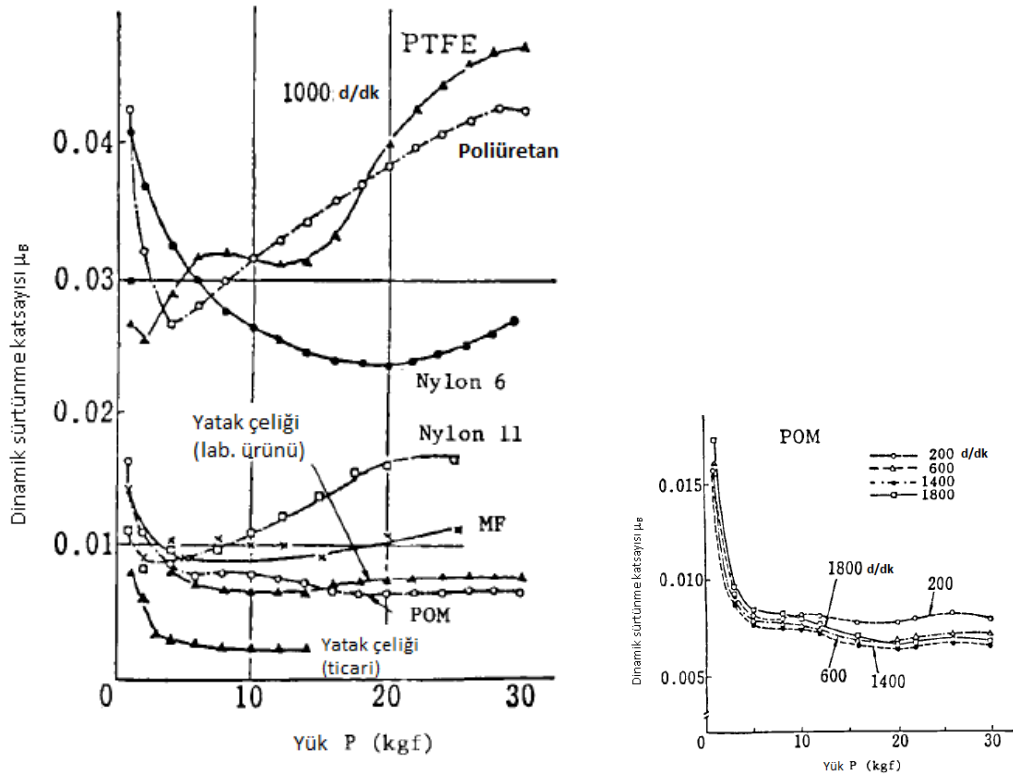


Şekil 3.4 : Yuvarlanma sürtünmesinde sürtünen yüzeylerin modeli [22].

Yamugichi özellikle bilyalı aksenal yataklarda polimerlerin sert karşı yüzeylerle birlikte yuvarlanma sürtünmesi üzerinde birtakım çalışmalar yapmıştır. Aşağıda Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da yapılan çalışmaların bir kısmı görülmektedir.



Şekil 3.5 : Yuvarlanma sürtünmesi katsayısı μ ve a/R ile değişimi.
(yuvarlanmaelemanının kauçuk malzeme üzerinde yuvarlanması)



Şekil 3.6 : Çeşitli malzemelerden üretilmiş bilyalı rulmanlı yataklarda yük ile dinamik sürtünme katsayısı arasındaki ilişki [22].

Şekil 3.6'da polimer malzemeler ve polimer olmayan malzemelerin dinamik sürtünme katsayısı μ_B ve yük P arasındaki ilişki verilmiştir. Bu deneylerde polimer

malzemeler tipine göre artan yüke farklı tepkiler verdiği görülmektedir. Özellikle düşük yüklerde dinamik sürtünme katsayısı artışı dikkat çekicidir. Sürtünme katsayısı ile dönme hızı arasında belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir [22].

4. GÜRÜLTÜ DÜZEYİ ÖLÇÜMÜ

4.1 Ses Düzeyleri ve dB Kavramı

İlk kez elektrik mühendisliğinde kullanılan desibel, bir oranı veya görelî bir değeri gösterir. Alexander Graham Bel'in anısına bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok yüksek olmasından dolayı desibel adı verilen ve 'oranların logaritmasınının 10 katı' olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Desibel genelde güç yada güç eşdeğeri büyüklükleri ölçmekte kullanılır. Desibel (dB) ile ölçtüğümüz büyüklüklere düzey adı verilir.

Referans ses şiddeti düzeyi $I_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ kullanılır. Ses şiddeti değerinin referans ses şiddeti değerine oranını veren ses şiddeti düzeyi ifadesi şu şekilde yazılır:

$$L_I = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_{ref}} (dB) \quad (4.1)$$

Doğrusal bir ölçek yerine logaritmik bir ölçek kullanılmasından dolayı, alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur.

4.2 Ses Gücü Düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi (L_W) adı verilir. Referans gücü olarak uluslararası referans $W_{ref} = 10^{-12} \text{ W}$ kullanılır. Buna göre, ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi L_W ,

$$L_W = 10 \times \log_{10} \frac{W}{W_{ref}} (dB) \quad (4.2)$$

eşitliğinden hesaplanabilir.

4.3 Ses Basıncı Düzeyi

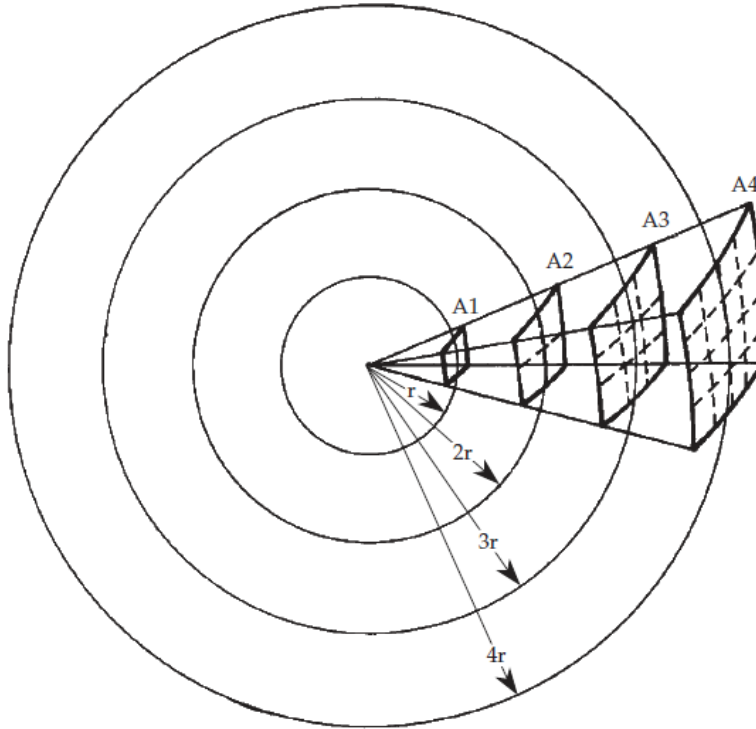
Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir. Ses basıncı düzeyi L_p ,

$$L_p = 10 \times \log_{10} \frac{p^2}{p_{ref}^2} \quad (4.3)$$

olarak tanımlanır. Burada p ses basıncının ortalama kare değerinin karekökü (rms değeri), p_{ref} ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen $20 \mu\text{Pa}$ ($20 \cdot 10^{-6}$ Pa)'dır. Eşitlik,

$$L_p = 20 \times \log_{10} \frac{p}{20 \mu\text{Pa}} \text{ (dB)} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. $20 \mu\text{Pa}$ 'ın referans olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin, frekansı 1000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az $20 \cdot 10^{-6}$ Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1000 Hz'de duyma eşiği referans alınmıştır [23].



Şekil 4.1 : Ses şiddetinin uzaklıkla değişmesi [24].

Şekil 4.1’de enerji yayan bir ses kaynağı görülmektedir. Bu enerji, kaynağı çevreleyen yüzeyden geçmek zorundadır. Ses şiddeti güç/alan olarak tanımlandığı için kaynağı çevreleyen alan üzerinde normal doğrultuda ortalama ses şiddetinin dağılımını ölçtükten sonra bu miktarı yüzey alanı ile çarparak ses kaynağının gücünü hesaplayabiliriz. Ses şiddeti ile basıncı serbest bir akustik ortamda, kaynaktan uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir. Bu durumda kaynaktan $2r$ uzakta kaynağı çevreleyen yüzey, r uzaklıktaki yüzeye göre 4 kat büyüktür. Ses kaynağının gücü aynı olduğuna göre birim alandan geçen sesin şiddeti dört kat azalır [24].

4.4 Oktav Kavramı

İnsan kulağı yaklaşık olarak 16 Hz ile 16 kHz arasındaki seslere karşı duyarlıdır. Bu aralıktaki 15,984 frekans aralığında ses seviyesini hesaplamak hiç pratik değildir. Akustik ölçüm cihazları ile genellikle belirli bir frekans aralığındaki akustik enerji ölçülür. İnsan kulağı ayrıca frekans oranlarından daha çok frekans farklılıklarına cevap verir. Bunun için frekans aralıklarında genellikle uç frekanslar (üst ve alt frekans değerleri) aynı oranla birbirine bağlıdır. Bu şekilde ölçüm yapılacak frekans aralığına bant genişliği denir. Bant genişliği alt frekans (f_1) ve üst frekans (f_2) ile tanımlanır. Akustiklerde bant genişlikleri genellikle oktav olarak tanımlanır [23].

Bir takım bant filtreleri olan oktav – 1/3 oktav bantları kullanılır. Filtreleme yöntemi analog veya dijital tekniklerle yapılmaktadır. Frekans bantlarında frekansların gruplanması yapılırken aritmetik gruplara bölmek yerine insan kulağının algılaması açısından daha anlamlı olan oktav bantları kullanılır. Frekanslar arası ilişki kuran oktavın matematik ifadesi şu şekildedir.

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^n \quad (4.5)$$

f_2 oktav aralığının üst frekans değerini (Hz), f_1 ise alt frekans değerini ifade eder (Hz); n ise oktav sayısını belirtir [24].

Örneğin bir oktav bandında $f_2 / f_1 = 2$ değerini alır. Bandın üst sınır değeri, alt sınır değerinin iki katıdır ve her bandın üst sınır değeri, bir sonraki bandın alt sınır değeridir. 1/3 – oktav için $f_2 / f_1 = 2^{1/3}$ olur. Alt frekans sınırı 500 Hz olduğu takdirde

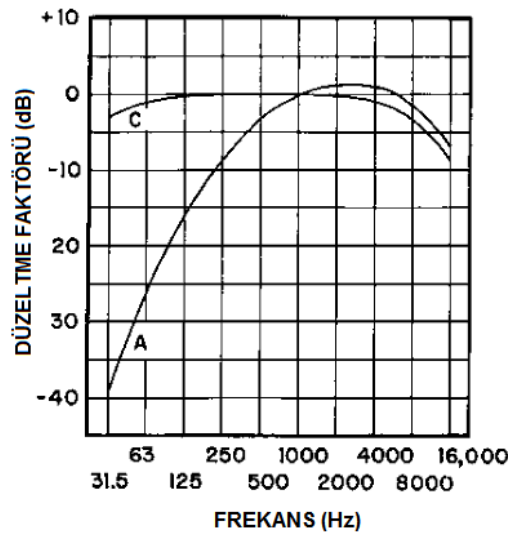
üst sınır $500 \cdot 2^{1/3} = 630$ Hz olur. Bu hesaplardaki alt frekans sınırı bir bandın merkez frekansı kabul edilirse üst sınır bir sonraki bandın merkez frekansı olur.

Çoğu akustik uygulamada ses 1-oktavlık sekiz oktav bandında incelenir. Bu uygulamalarda merkez frekansları olarak 63, 125, 250, 1000, 2000, 4000 ve 8000 Hz olan frekans bantları kullanılır. 1/3 oktav bandında yapılan ölçümlerde ise 31,5, 50, 62, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 ve 10000 Hz merkez frekanslara sahip bantlar kullanılır [25].

4.5 Ağırlıklı Ses Düzeyleri

Çoğu ses seviye ölçerlerin 3 ağırlık noktası vardır. Bunlar A-, B- ve C- ağırlıkları geliştirilmiştir. A- ağırlığı bütün frekanslarda 40 dB ses basıncı seviyesi için insanların gösterdikleri tepkiyi ölçmede kullanılır. B- ağırlığı bütün frekanslarda 70 dB ses basıncı seviyesi için insanların gösterdikleri tepkiyi ölçmede kullanılır. C- ağırlığı yaklaşık olarak 63 Hz ve 4000 Hz arasındaki frekanslar aralığında kullanılır.

İnsan kulağının işitme kabiliyeti temel alındığı hallerde A- ağırlığı, diğer canlılar da hesaba katıldığında B- ağırlığı ve çevresel etkiler temel alındığında C- ağırlığı kullanılır. Bu yüzden günümüzde B- ağırlığı nadiren kullanılır. A- ağırlığı çok geniş bir kullanım alanına sahip olup, işitme kayıplarının olabildiği durumlarda gürültüden kaynaklanan gerginliklerde ve çeşitli gürültü kurallarına uyum sağlamada kullanılır [26].



Şekil 4.2 : A ve C ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri [25].

Şekil 4.2’de A ve C ağırlıklı ses düzeyleri için çevrim eğrileri görülmektedir. Bu eğrileri kullanarak yapılan ölçümlere ses düzeyi ölçümü denilmektedir. Ağırlıklamayı kendi içinde yapıp, ölçüm sonunda doğrudan ses düzeyini veren ölçüm cihazlarına ses düzeyi ölçer denilmektedir. Ses düzeyinin birimi, kullanılan ağırlık eğrisine göre dBA, dBB ve dBC’dir [26].

5. YAĞLAYICILAR

Birbiri üzerinde hareket eden iki yüzey arasında katı, sıvı veya gaz haldeki yağlayıcıların ara yüzde meydana gelen sürtünme ve aşınmayı azaltmak ve bu bölgede oluşan ısı ve birikintilerin uzaklaştırılması gibi önemli görevleri vardır. Yağlayıcılar işlem sırasında çok farklı şekiller alabilir. Bu durum, temas halindeki malzemelerin geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne ve birbiri üzerinde kayan yüzeylerin dokusuna, temas yüküne, temas bölgesindeki basınca ve sıcaklığa, yuvarlanma ve kayma hızlarına, çevre koşullarına, yağlayıcıların fiziksel ve kimyasal özelliklerine, malzeme alaşımlarına ve yüzeye yakın tabakanın özelliklerine bağlıdır [27].

5.1 Bilyalı Rulmanlı Yataklarda Yağlayıcıların Kullanılması

İstenilen performansı yakalamak ve yuvarlanmalı yatağın nominal dayanımı yeterli akıcılıktaki yağlama ile geçerlidir. Yağlayıcılardan:

- Yuvarlanan elemanlar, kafes, bilezikler ve ceplerdeki sürtünme ve aşınmanın minimize edilmesi
- Kimyasal ilaveler ile yuvarlanma temas yüzeylerinde korozyon ve aşınmayı minimize etmek
- Sürtünmeden kaynaklı ısıyı yataktan uzaklaştırmak gibi özellikleri yapması istenir.

Genellikle, sadece küçük bir yağlayıcı miktarı ile ilk iki görev tamamlanır. Sirküle edilen yağlayıcının ortamda sürtünmeden kaynaklanan fazla ısıyı ortamdan uzaklaştırması ile erken arızalanma durumları engellenir [26].

Yuvarlanma elemanları yağlanmadan güvenilir bir şekilde görevlerini yerine getiremezler. Yuvarlanmalı yatak sistemlerinde iyi bir yağlayıcı ve yağlama sisteminin mevcut olması önemlidir. Bilyalı ve yuvarlanmalı yatakların yağlanmasında, gresler yada kuru katı filmler ile başarılı bir yağlama sağlanır. Makine sıcaklığı arttığında, kişisel bakım olarak yapılması gereken en temel unsur yatakların çalıştırılabileceği maksimum sıcaklığa kadar ulaşmasına izin

verilmemesidir. Yataklar bu sıcaklıkta hiç bir sorun olmadan çalıştırılabileceği halde, asıl sorun yağlayıcıların bu sıcaklıklarda bozulmaya başlamasında ve görevlerini yerine getirememeye başlamasından kaynaklanır [28].

Yataklarda iyi bir yağlayıcı kullanılmadan, yuvarlanma elemanları ile temas olan bölgelerde sürtünme ve aşınmadan dolayı yağlayıcılar ömürlerini doldurmadan bozulmaya başlayacaktır. Yuvarlanma elemanları (bilya, küresel, silindirik yuvarlanma elemanları, vb) ve bunların temas noktalarındaki sürtünme ve aşınmanın azalması bu bölgelerde ısı oluşumu azalmış olur [28].

Yataklarda kullanılan yağlayıcılar en temel yağlayıcılar veya bazen katkı maddeli yağlayıcılar olabilmektedir. Bunların başında gresler gelmektedir. Gresler temel yağlayıcılar % 65-95 oranında da temel yağlar, % 3-30 oranında kıvamlaştırıcı, % 0-15 oranında katkı maddelerinden oluşur. Bazen greslere % 5 oranına kadar katı yağlayıcılar ilave edilebilir. Kıvamlaştırıcı yağlayıcılarda tutunma ve katkı maddeleri kıvamlaştırıcının özelliklerini geliştirir. Yağlayıcılar yuvarlanma elemanlarında çalışırken, kıvamlaştırıcı yağlayıcıların o bölgelere tutunmasını ve katkı maddeleri de yağlayıcıların özelliklerini artırır [28].

Organik, inorganik ve metal sabunlar olmak üzere kullanılan kıvamlaştırıcının miktarı ve tipine göre yağlayıcı tipleri mineral veya sentetik yağlayıcı olarak adlandırılır ve viskozite en düşük ve en yüksek çalışma sıcaklıklarının limitlerini oluşturur. Çizelge 5.1’de çeşitli katı yağlayıcılar ve hava – vakum ortamlarındaki minimum ve maksimum çalışma sıcaklık değerleri tabloda verilmiştir.

Çizelge 5.1: Çeşitli katı yağlayıcıların çalışma sıcaklık aralıkları.

Katı yağlayıcılar	Hava ortamında				Vakum ortamında			
	°C		°F		°C		°F	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Grafit	50	550	122	1022	n/a	n/a	n/a	n/a
Molibden Disülfid	-100	320	-148	608	-100	650	-148	1202
Tungsten disülfid	-100	410	-148	707	-100	750	-148	1382
Altın	-100	200	-148	392	-100	200	-148	392
Gümüş	-100	100	-148	212	-100	600	-148	1112
Kurşun	-100	210	-148	410	-100	400	-148	752
Fluoresin	-250	200	-418	392	-250	250	-418	482

5.1.1 Sıvı yağlar

1980'den beri kullanılan sıvı yağlar, yapısında petrol ürünleri, sentetik sıvılar ve iki ya da daha fazla malzemenin karışımını içerir. Çeşitli ilave malzemeleri ile malzemeye özgü özellikler değiştirilebilir [29].

Çeşitli sıvı yağlayıcılar ve ana özellikleri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Çeşitli sıvı yağlar ve ana özellikleri [29].

Tip	Ana özellik
Mineral yağlar	Düşük maliyet
Sentetik hidrokarbon	Düşük sıcaklıklarda akıcılık
Organik esterler	Düşük sıcaklıklarda akıcılık
Poligliserol eterler	İyi viskozite-sıcaklık özellikleri
Yağ-su emülsiyonları	Yanıcı özelliği az
Fosfat esterler	Az yanıcı
Silikonlar	Mükemmel viskozite-sıcaklık özellikleri
Polifenil eterler	Isı sabitliği
Perfloropol eterler	Oksitlenme direnci
Halokarbonlar	Yanıcı değil

Aşırı çevresel koşullarda, örneğin yükseltilmiş ortam koşullarında 500 °C (930 °F) ya da vakum çevre şartlarında, geleneksel sıvı yağlar sık sık etkinliklerini yitirirler. Çünkü yüksek vakum şartlarında hızlı oksitlenme ve yüksek sıcaklıklarda bozulma ve buharlaşma ya da sürünme ile yüzeylerden uzaklaşma gibi durumlar meydana gelir. Katı yağlayıcılar bu gibi durumlarda kullanılır. Son 40 yıldır katı yağlayıcıların kullanımı gittikçe artmıştır [27]

5.1.2 Gres yağlayıcılar

Çoğu yuvarlanma elamanları gres yağlayıcı ile yağlanır. Çünkü bu yağlayıcılar en ekonomik ve basit mekanik anlamda görevini başarıyla tamamlar. Gresler, metalik sabun yoğunlaştırıcı ile akıcı yağlayıcılar; yağ gres içinde en çok kendisinin yağlayıcı kabiliyetini içerir. Greslerin etkin bir yağlayıcı olması için yatağın çalışma hızlarının düşük (3×10^5 n.d_m) olması istenir. Gresler bu hızlardan sonra yüksek hızlarda sürtünmeden kaynaklanan ısının ortadan kaldırılmasında işlev kabiliyetlerini yitirirler [27].

5.2 Yağlayıcıların Viskozitesi ve Sıcaklığı

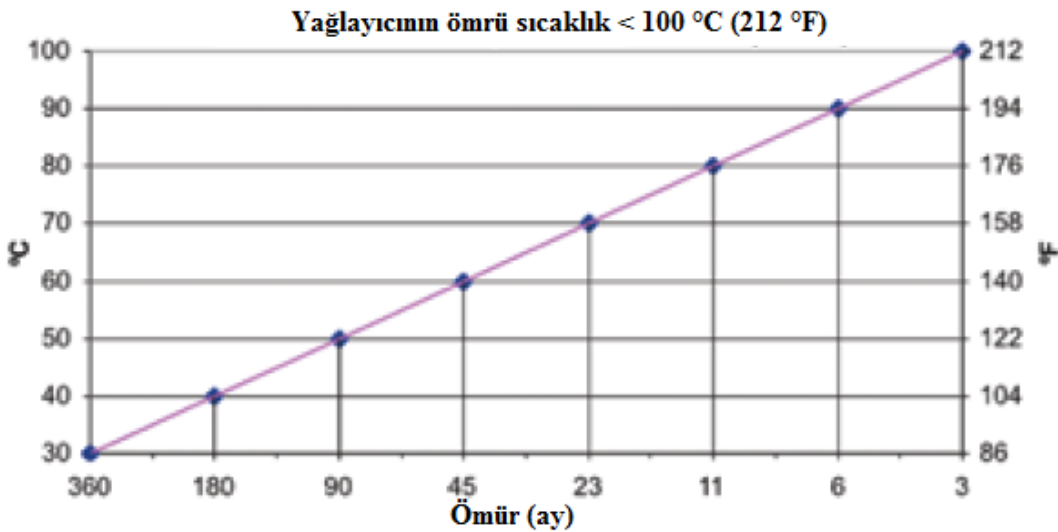
Yataklarda yüksek sıcaklıklarda düşünülmesi gereken diğer bir durum ise yağlayıcının viskozitesidir. Viskozite belirli bir sıcaklıkta akmaya karşı direnci olarak tanımlanabilir. Yüksek viskozitelere akmaya karşı direnç en yüksek seviyelerdedir. Viskozite cSt (centistokes) ya da SUS (Saybolt Universal Seconas) ile ölçülür.

Yağlayıcının viskozitesi işlem şartlarında parçaları birbirinden ayırmalıdır. Sıcaklıklar arttıkça yağlayıcının viskozitesinin azaldığı görülür. Bunun için yüksek sıcaklıklarda, yataklarda kullanılan yağlayıcının yüksek viskoziteli olması istenir.

Genellikle yüksek sıcaklık içeren uygulamalarda, yağlayıcı veya gres daha düşük viskozitelere kullanılırsa, yatak erkenden ömrü azalacaktır. Beklendiği gibi, genellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek viskoziteli yağ veya gresler kullanılır.

5.2.1 Sıcaklığın yağlayıcı ömrü üzerinde etkisi

Yağın kaliteli olduğunu gösteren en önemli özelliği kimyasal veya oksidasyon kararlılığıdır. Sıcaklık yağlayıcı oksidasyonunu hızlandırıcı bir faktördür. Kimyasal reaksiyon oranı hidrokarbonların oksidasyonu dahil, her 18 °F (10 °C)'da iki katına çıkar. Hesaplamalara göre 140 °F (60 °C) sıcaklığın üzerinde her 18 °F (10 °C) sıcaklık artışında yağlayıcının ömrü %50 azalır. Eğer yağlayıcı 248 °F (120 °C)'den daha büyükse yağlayıcıdaki oksitlenme yağlayıcının ömrünü etkileyecektir. Şekil 5.1'de yağlayıcının ömrü – sıcaklık – zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.1 : Yağlayıcının ömrü sıcaklık – zaman grafiği.

5.3 Deney Malzemesi Olarak Kullanılan Yağlayıcıların Özellikleri

Deneyde kullanılan gres yağlayıcılar SKF marka LGLEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2'dir. Bu yağlayıcıların genel özelliklerini şöyle sıralayabiliriz.

5.3.1 LGMT 2 genel amaçlı endüstriyel ve otomotiv rulman gresi

LGMT2 -30 ila 120 °C çalışma sıcaklığı aralığında mükemmel bir ısı stabiliteye sahip, mineral baz yağlı, lityum sabunlu bir greştir. Üstün nitelikli genel amaçlı bu gres bir çok endüstriyel uygulama ve otomotiv sektörü için çok uygundur. Viskozite, 40 °C'de 110 mm²/s ve 100 °C'de 11 mm²/s'dir.

- Mükemmel oksidasyon stabilitesi
- İyi mekanik stabilite
- Mükemmel suya dayanım ve pas önleyici özellikler

Bu yağlayıcı daha çok şiddetli titreşimin olduğu hallerde kullanılır ve pas önleyici özelliğe sahiptir.

5.3.2 LGMT 3 genel amaçlı endüstriyel ve otomotiv rulman gresi

LGMT 3 mineral baz yağlı ve lityum sabunlu bir greştir. Üstün nitelikli genel amaçlı bu gres, bir çok endüstriyel uygulama ve otomotiv sektörü için çok uygundur. Viskozite, 40 °C'de 120 - 130 mm²/s ve 100 °C'de 12 mm²/s'dir.

- Mükemmel pas önleyici özellikler
- -30 ila 120 °C çalışma sıcaklığı aralığında yüksek oksidasyon stabilitesi

Düşey miller ve şiddetli titreşimin olduğu hallerde kullanılır.

5.3.3 LGEP 2 ağır yük, yüksek basınç rulman gresi

LGEP 2 mineral baz yağlı, lityum sabunlu ve yüksek basınç katkıları içeren bir greştir. Bu gres -20 °C (-4 °F)'den 110 °C (230 °F)'ye kadar olan sıcaklık aralığında mükemmel bir yağlama özelliğine sahiptir. Viskozite, 40 °C'de 200 mm²/s ve 100 °C'de 16 mm²/s'dir.

- Mükemmel mekanik stabilite
- Mükemmel korozyon önleyici özellikler
- Mükemmel EP performansı

Şiddetli titreşimin olduğu hallerde ve darbe yükü ve sık durup, kalkmanın olduğu yerlerde kullanılır.

5.3.4 LGWA 2 ağır yük, yüksek basınç, geniş sıcaklık aralığı için rulman gresi

LGWA 2 üstün nitelikli, mineral baz yağlı, lityum kompleks sabunlu ve yüksek basınç (EP) katkılı grestir. LGWA 2 gresi çok çeşitli endüstriyel ve otomotiv uygulamaları için istenilen bütün özelliklere sahiptir. Viskozite, 40 °C'de 185 mm²/s ve 100 °C'de 15 mm²/s'dir.

- Kısa süreli olarak 220 °C (428 °F)'ye kadar olan sıcaklıklarda mükemmel yağlama
- Ağır şartlar altında çalışan tekerlek rulmanlarının yağlanması için çok uygun
- Sulu ortamlarda etkin yağlama
- Suya ve korozyona dayanıklı
- Düşük hız ve ağır yüklerde mükemmel yağlama

Salınım hareketi olan uygulamalarda, darbe yükü veya sık durup, kalkma, pas önleyici özelliklere sahiptir.

5.3.5 LGLT 2 düşük sıcaklık, çok yüksek hızlar için rulman gresi

LGLT 2 üstün nitelikli, tam sentetik baz yağlı ve lityum sabunlu bir grestir. Bu gresin eşsiz katılaştırıcı teknolojisi ve düşük viskoziteli baz yağı (PAO), düşük sıcaklıklarda (-50 °C) mükemmel bir yağlama performansı sağlar ve bu şekilde 1.6x10⁶ n.dm gibi çok yüksek hızlara çıkılabilir. Viskozite, 40 °C'de 18 mm²/s ve 100 °C'de 4,5 mm²/s'dir.

- Düşük sürtünme momenti
- Düşük güç sarfıyatı
- Sessiz çalışma
- Mükemmel oksidasyon stabilitesi ve suya dayanım

Düşük gürültü ve düşük sürtünme özelliklerine sahiptir [31].

Çizelge 5.3'de çalışmada kullanılan greslerin (LGMT2, LGMT3, LGWA2, LGLT2) özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 5.3 : LGMT2, LGMT3, LGEP2, LGWA2 ve LGLT2 özellikleri.

Rulman Gresleri	LGMT 2	LGMT 3	LGEP 2	LGWA 2	LGLT 2
DIN 51825 kodu	K2K-30	K3K-30	KP2G-20	KP2N-30	K2G-50
NLGI katılık sınıfı	2	3	2	2	2
Sabun türü/katılaştırıcı	Lityum	Lityum	Lityum	Lityum kompleksi	Lityum
Renk	Kırmızımsı kahve	Bal rengi	Açık kahve	Bal rengi	Bej
Baz yağ türü	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	PAO
Çalışma sıcaklığı aralığı	-30 ila 120 °C	-30 ila 120 °C	-20 ila 110 °C	-30 ila 140 °C	-50 ila 110 °C
	(-22 ila 250 °F)	(-22 ila 250 °F)	(-4 ila 230 °F)	(-22 ila 284 °F)	(-58 ila 230 °F)
Baz yağ viskozitesi 40 °C, mm ² /s	110	120 -130	200	185	18
100 °C, mm ² /s	11	12	16	15	4,5

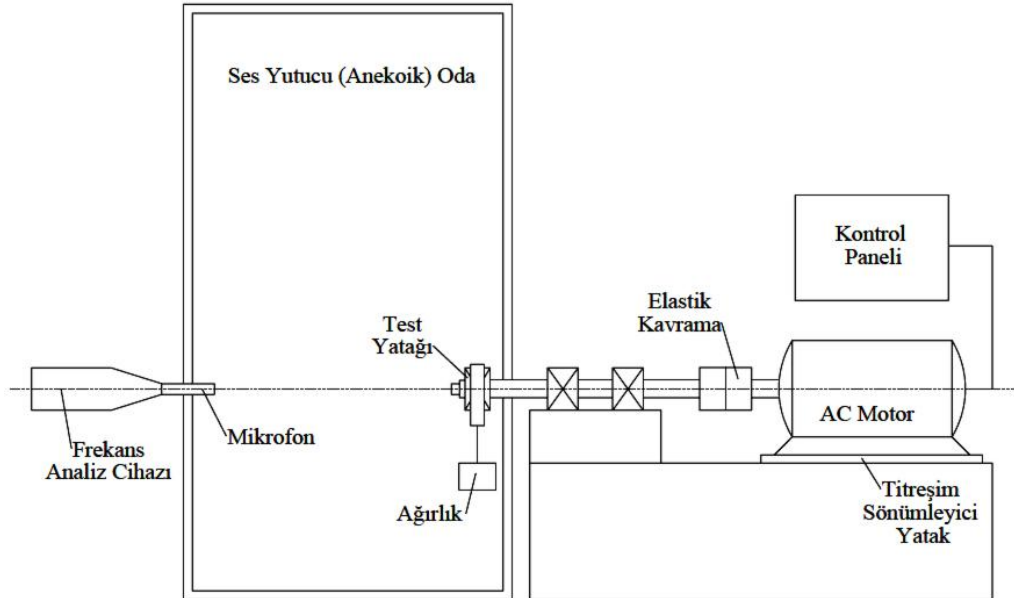
6. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI

6.1 Deneysel Düzenek

Sunulan çalışmada polipropilen rulmanlı yatakların farklı yağlayıcılar kullanılarak aynı çalışma şartlarında gürültü davranışı incelenmiştir.

Bu amaçla İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Elemanları Laboratuvarında geliştirilmiş olan deney düzeneği kullanılmıştır [14].

Çeşitli yağlayıcılar kullanılarak yatakların gürültü düzeyinin ortam gürültüsü düzeyinden mümkün olduğunca ayrılarak ölçülebileceği bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneysel parametreleri devir/dakika cinsinden yatakların dönme hızı, maruz kaldıkları yük ve kullanılan yağlayıcıların tipidir. Daha önceden yapılan çalışmalara göz önünde bulundurularak, polimer yatakların gürültü karakteristiğinin sıcaklığa ne ölçüde bağlı olduğu ve çalışma sıcaklığının ne ölçüde kontrol altında tutulabileceği bilinmediğinden yatakların çalışma sırasındaki sıcaklıklarının ölçülmesine olanak tanıyacak bir cihaza da gerek duyulmuştur.



Şekil 6.1 : Deneysel düzenek şematik görünüşü.

Şekil 6.1’de deneysel düzenek şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi test edilen yatakların takılı olduğu milin tahriki 0,75 kW’lık, 0 - 1400 d/dak arasında

kademersiz olarak ayarlanabilen AC motorla gerçekleştirilmiştir. Motorun devir sayısı kontrol ünitesi aracılığıyla ayarlanabilmektedir. Motor titreşimlerinin tesisatın geri kalanına aktarılmaması için motor kauçuk ayaklar üzerine oturtulmuştur. Motor mili ile test edilen rulmanlı yatağın mili arasında da titreşimleri sönümleyen elastik bir kavrama bulunmaktadır. Ayrıca milin dengesiz radyal hareketinin doğurabileceği titreşimlerinin giderilmesi için rulmanlı blok yataklar kullanılmıştır.

A. Altınkaynak'ın yüksek lisans tezi olan 'Polimerler Malzemelerde Sürtünme Kaynaklı Gürültü' çalışması kapsamında geliştirilen akustik ortam cam yünü ile kaplanmıştır. Böylece dış ortam gürültüsü ile yatakların çalışması sırasında oluşan gürültü birbirinden ayrılmıştır. Ayrıca, motor tarafında odanın dış yüzeyi de ek yalıtım için cam yünüyle kaplanmıştır [15].

Şekil 6.2'de oda dışı deney düzeneğinin görüntüsü görülmektedir.



Şekil 6.2 : Oda dışı deney düzeneğinin görüntüsü.

Akustik ortamda 400 Hz'in üzerindeki frekanslarda gürültü yalıtımı sağlanacak şekilde yaklaşık 85 x 170 x 170 cm³ boyutlarındadır. Böylece odanın test edilen

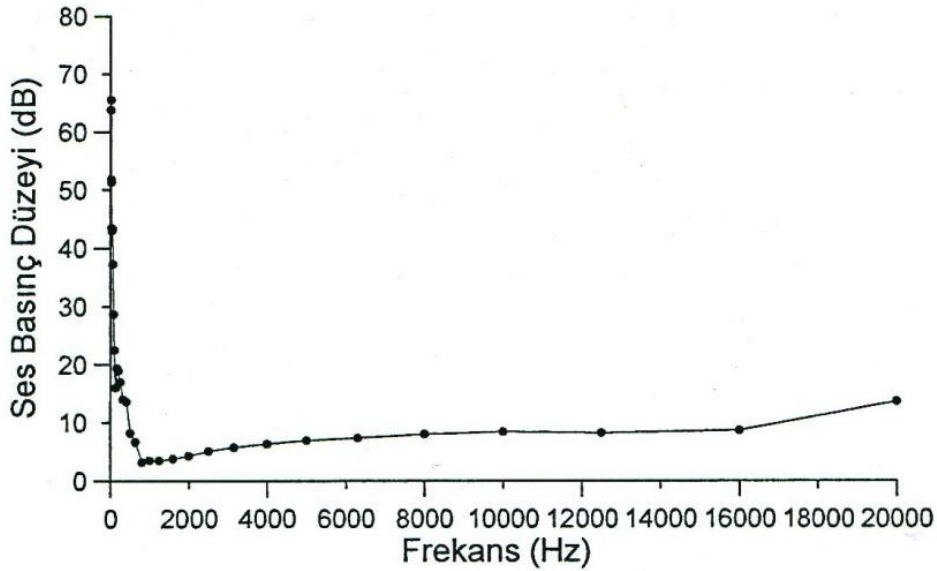
yataktan her boyutta 85 cm mesafede olması sağlanmıştır. 400 Hz frekansa sahip ses dalgasının boyu Denklem 6.1'e göre hesaplanmıştır [15].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (6.1)$$

Denklemde λ sesin dalga boyunu (m), c sesin havadaki hızını (344 m/s), f ise ses dalgasının frekansını (400 Hz) ifade eder. Odanın duvarları 2 kHz'in üzerindeki frekanslarda 0,9'un üzerinde bir ses yutum katsayısına sahip olan 5 cm'lik cam yünü ile kaplanmıştır. Odanın performansı Şekil 6.3'de verilmiştir [15].

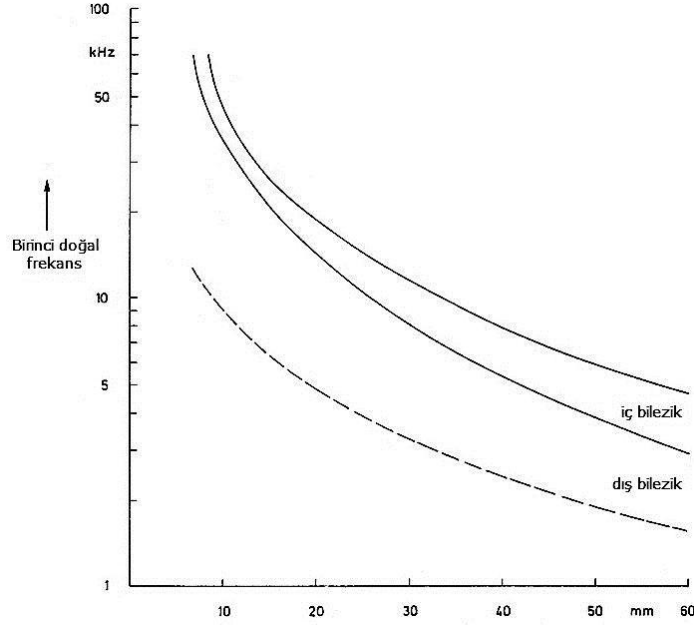
2 kHz'in üzerindeki ses yutum kabiliyeti özellikle önemlidir. Zira deneylerde kullanılan SKF marka 6204 / HR22Q2 seri no'lu bilyalı rulmanlı yatakların bileziklerinin doğal frekansı (Şekil 6.4) ve mikrofon yazılımının sınırları göz önüne alındığında özellikle 2 kHz ve 12,5 kHz arasındaki yüksek frekansların incelenmesinin anlamlı olduğu kanaatine varılmıştır.

Şekil 6.3'de akustik odada sükunet halindeki ses basınç düzeyinin frekansla değişimi görülmektedir.



Şekil 6.3 : Akustik odada sükunet halindeki ses basınç düzeyi [15].

Şekil 6.4'de deney numunesinin birinci doğal frekans aralıkları görülmektedir.



Şekil 6.4 : 6204 / HR22Q2 seri no'lu yatakların birinci doğal frekans aralıkları [28].

Deneylerde IEC ve ANSI Tip 1 standartlarına uygun Şekil 6.5'de görülen Brüel & Kjaer 2260 Investigator Ses Düzeyi Ölçer kullanılmıştır. Elle tutulan ve pille çalışan bu cihaz 1/2" çapında mikrofon içermektedir. 2260 Investigator, Basic sound Analysis Software BZ 7210 yazılımıyla 1/3-oktav bandında 6,3 Hz – 12,5 kHz rasında ses basınç düzeyi ölçümü yapabilmektedir [30].

Ses düzeyi ölçümleri test edilen yatağın tam karşısında 75 cm mesafeden yapılmıştır.



Şekil 6.5 : Brüel & Kjaer 2260 Investigator Ses Düzeyi Ölçer ile ses basıncı ölçümü.

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi sıcaklık ölçümleri içinse FLUKE marka kızılötesi termometre kullanılmış, bu ölçümler bilyalar üzerinden yapılmıştır.



Şekil 6.6 : FLUKE marka kızılötesi termometre ile sıcaklık ölçümü.

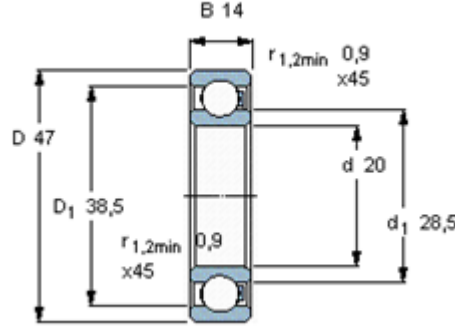
Çizelge 6.1’de test edilen tek sıralı sabit bilyalı polimer yatakların boyutları, yük kapasiteleri, maksimum çalışma devirleri ve ürün kodları verilmiştir. Burada d yatakların iç çapını belirtmektedir. Deneyde kullanılan tüm yataklar aynı iç çapa sahiptir. D yatakların dış çapıdır. Deneyde kullanılan rulmanlı yatakların hepsi tek tip olup SKF marka 6204 / HR22Q2 seri no’lu Polipropilen (PP) bilezik ve kafeslere sahiptir. B yatakların genişliğidir. Bu boyut bir deney parametresi olarak dikkate alınmamıştır. Yuvarlanma elemanları cam malzemeden üretilmiş olup, seri numarasında Q kodu ile belirtilmektedir.

Yağlayıcı olarak SKF marka LGLEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2 tipi gres yağlayıcılar kullanılmıştır. Bu yağlayıcıların genel özellikleri beşinci bölümde detaylı olarak açıklanmış ve Çizelge 5.3’de toplu olarak görülmektedir.

Çizelge 6.1: Kullanılan tek sıra bilyalı polimer yatak tiplerinin teknik verileri [30].

d (mm)	D (mm)	B (mm)	Dinamik (kN)	Statik (kN)	d/dak	ağ. (kg)	kod
20	47	14	0,295	0,215	920	0,028	6204/HR22Q2

Deney numunesi olarak kullanılan polimer yatağın boyutları Şekil 6.7’de ölçülendirilerek gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : 6204 / HR22Q2 seri no'lu yatağın boyutları [30].

6.2 DeneYlerin Yapılışı ve DeneY Yönteminin Optimizasyonu

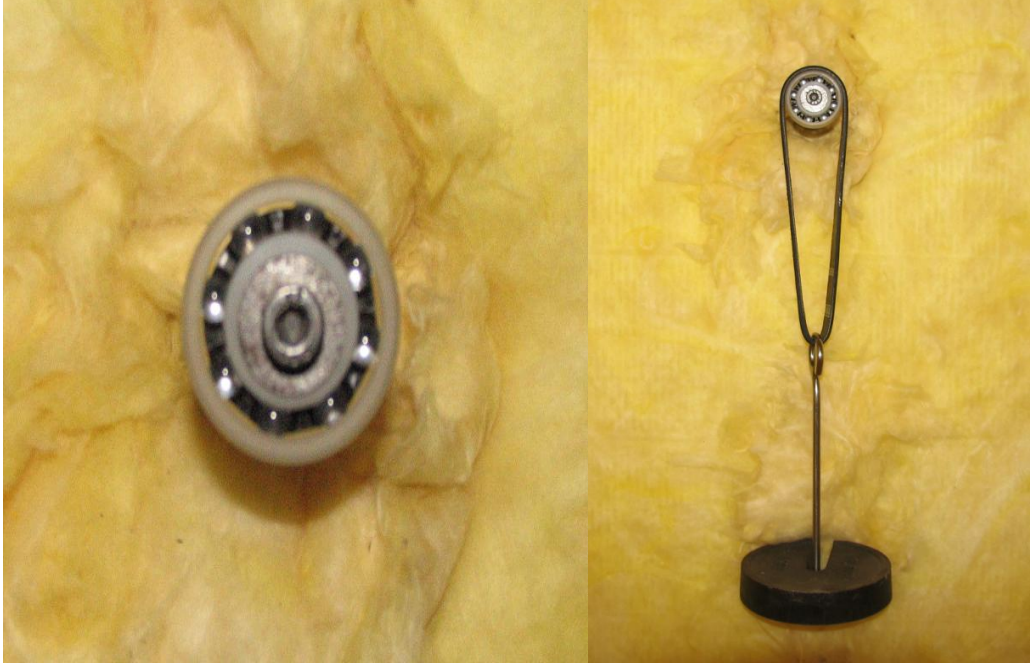
DeneYlerde yatakların taşıyabileceği maksimum yatak yükünün belirlenmesinde, Şekil 2.4'te verilen bilyalı polimer yataklar için düzeltme faktörleri grafiği temel alınmıştır. Şekil 2.4'te verilen grafik temel alınmıştır. İlk deneYlerde çalışma sıcaklığının 50 °C'yi geçmeyeceği düşünülerek yatağın taşıyacağı azami yük büyüklüğü normal çalışma kapasitesi dahilinde kalacak şekilde seçilmiştir ve yaklaşık 1,3 değerindeki emniyet katsayısı kullanılarak yatakların p_v limitlerini aşmaması hedeflenmiştir. Değiştirilen koşullara tabi farklı yatakların gürültüsünün niteliksel ve niceliksel olarak kıyaslanması için 650 d/dk'lık çalışma hızı referans alınmıştır. Yataklar p_v limitlerine uygun sınırlar dahilinde 10 ile 150 N arası yüklere tabi tutulmuştur.

Gürültü frekansı dağılımlarının ve gürültü karakteristiğinin kontrolü amacıyla 500 ve 800 d/dak çalışma hızlarında da aynı yöntemle testler yapılmıştır.

Gürültü ölçümü her bir yükleme ve çalışma hızı koşulu için 1/3 oktav bantlarında 10 saniyelik gürültü ölçümleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı devir sayılarında düzeneğin bilyalı yatak monte edilmemiş ve yüklenmemiş hali içinde gürültü düzeyi ölçümleri yapılmış ve bu ölçümlerde Denklem 6.2'de verilen desibel çıkarma kuralına göre yüklenmiş yatak gürültüsü değerlerinden çıkartılmış ve istenilen değerdeki net gürültü değerleri elde edilmiştir.

$$L_{P_{fark}} = 10 \times \log_{10} \left(10^{\frac{L_{P1}}{10}} - 10^{\frac{L_{P2}}{10}} \right) \quad (6.2)$$

Deneyleerde yükler esnek bir kayış yardımı ile yatağa uygulanmaktadır. Esnek kayış kullanılarak yatakların titreşim sönümleme avantajının yok edilmesini ve sadece yatağa özgü gürültülerin ayırt edilmesini sağlamıştır. Şekil 6.8'de deney yatağı ve yükleme düzeneğinin resmi gösterilmektedir.



Şekil 6.8 : Deney yatağı ve yükleme düzeneği.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Deneysel çalışmalar polimerlerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesinde sıcaklığın göz ardı edilemeyeceğini ve kontrol edilemeyen çalışma sıcaklığının kayma hızı ve yük gibi parametrelerin etkisinin öngörmeyi zorlaştırdığını ortaya koymuştur.

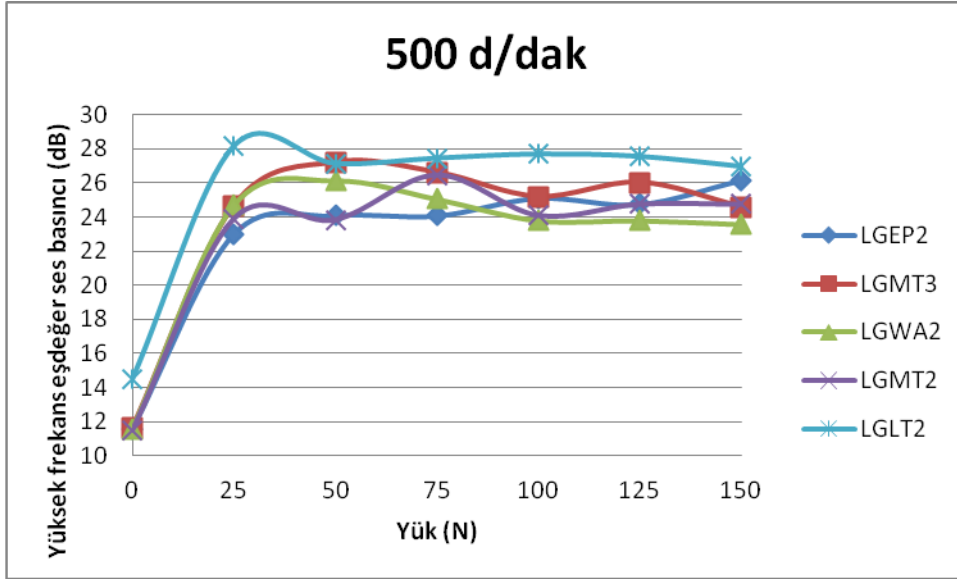
Beş farklı gres yağlayıcı kullanılarak yapılan deneyler neticesinde sıcaklığın her yağ tipi için artan yük ve çalışma hızı ile arttığı gözlenmiştir. Örneğin 650 d/dk'da LGLT2 gres yağlayıcı kullanılarak yapılan deneyde yüksüz durumda yuvarlanma elemanları civarında 26,3 °C sıcaklığı ölçülmüşken, bu değer 150 N yük altında 33 °C olmuş ve toplamda 6,7 °C'lik bir artış gözlenmiştir. Diğer bir ölçümde ise LGMT3 gres yağlayıcı ile yapılan deneyde yüksüz 22 °C sıcaklığı ölçülmüşken, bu değer 150 N yük altında 36 °C olmuş ve toplamda 14 °C'lik bir artış gözlenmiştir. Yapılan deneylerde sıcaklığın 7 - 14 °C'lik arasında artış olduğunu göstermektedir.

Polimer yataklar görevlerini düzgün bir şekilde yerine getirebilmeleri pv değerlerinin aşılmamasına bağlıdır ve pv değerinin aşıp aşılmadığının kontrolü ancak sıcaklığın kontrol edilebildiği bir ortamda mümkündür. SKF marka LGLEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 VE LGLT2 gres yağlayıcıları ile yapılan deneylerde sıcaklık artışlarının oldukça düşük ve pv limit değerlerinin oldukça altında kaldığı gözlenmiştir. 500 d/dk (1,23 m/s), 650 d/dk (1,6 m/s) ve 800 d/dk (1,97 m/s)'da yapılan ölçümlerde bu beş tip yağlayıcısında gürültü değerleri olarak karşılaştırıldıklarında oldukça iyi sonuçlar verdiği ve birbirlerine çok yakın değerlerin olduğu gözlenmiştir.

Şekil 7.1'de LGEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2 gres yağlayıcıları, 500 d/dk'da 0 ile 150 N arasında yükler uygulanarak eşdeğer ses basıncı grafiği verilmiştir. Yağlayıcıların performansı kıyaslandığında 4 dB'lik bir fark olduğu görülür. 500 d/dk'da yapılan deneyde en iyi performansın LGWA2 yağlayıcı ile sağlandığı grafikten görülmektedir.

Şekil 7.1’de temel alınan veri olan yüksek frekans eşdeğer ses basıncı 2 kHz ile 12,5 kHz arasındaki frekanslardaki ses basınç düzeylerinin desibel toplama kuralına göre Denklem 7.1 kullanılarak toplanmasıyla elde edilir.

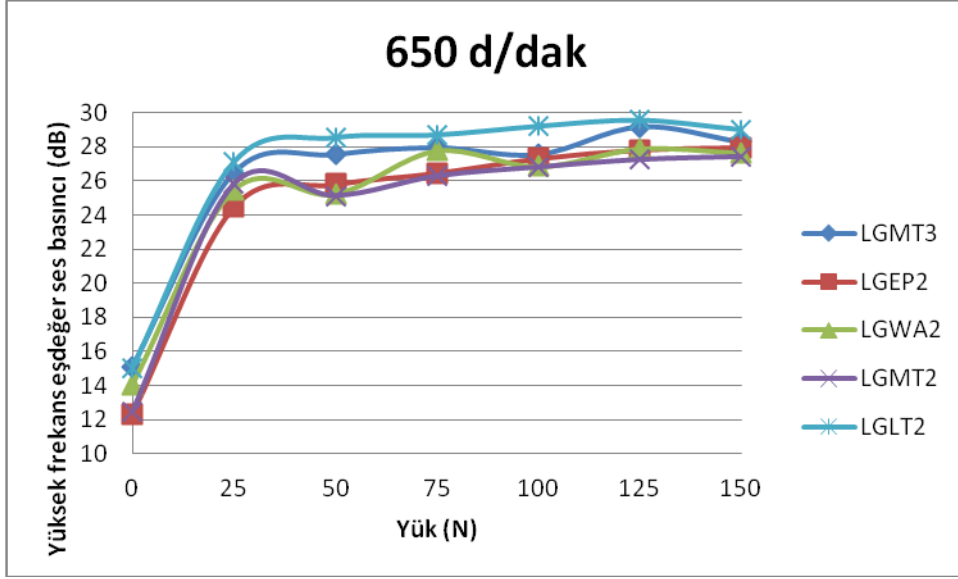
$$L_{Ptop} = 10 \times \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10} \quad (7.1)$$



Şekil 7.1 : 500 d/dk’da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği.

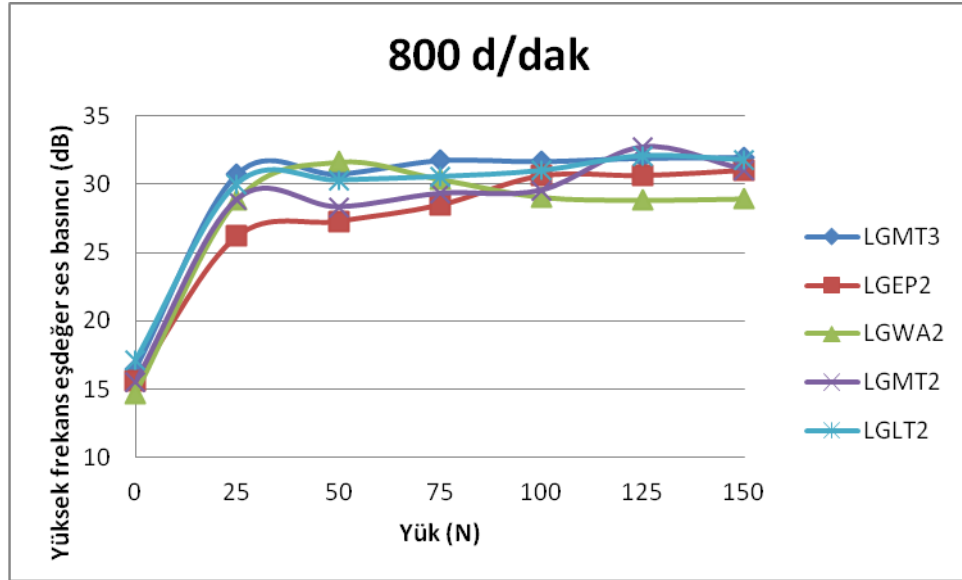
Şekil 7.2’de LGEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2 gres yağlayıcıları, 650 d/dk’da 0 ile 150 N arasında yükler uygulanarak eşdeğer ses basıncı grafiği verilmiştir. Şekil 7.1’de ki verilerle kıyaslanırsa, devir sayısı 650 d/dk’ya çıkarıldığında gürültünün ortalama 3 dB oranında arttığı gözlenmiştir. Yağlayıcıların performansı kıyaslandığında 2-3 dB’lik performans farklılıkları gözlenmiştir. En iyi performansın LGMT2 yağı ile sağlandığı söylenebilir.

Şekil 7.3’de LGEP2, LGMT3, LGWA2, LGMT2 ve LGLT2 gres yağlayıcıları, 800 d/dk’da 0 - 150 N arasında yükler uygulanarak eşdeğer ses basıncı grafiği verilmiştir. Şekil 7.1’deki verilerle kıyaslandığında, devir sayısı 800 d/dk’ya çıkarıldığında gürültünün ortalama 5 dB oranında arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7.2 : 650 d/dk'da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği.

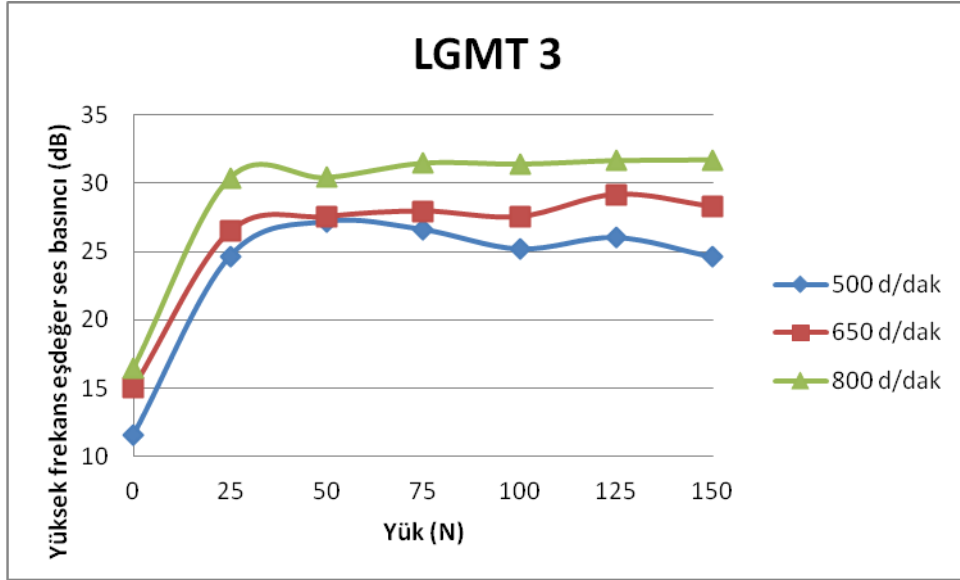
Yağlayıcıların performansı kıyaslandığında birbirlerine göre 2-3 dB'lik performans farklılıklarının korunduğu gözlenmiştir. En iyi performansın LGWA2 yağlayıcıdan sağlandığı görülmektedir. Devir sayısının artması ile gürültü seviyesinin arttığını grafikler incelendiğinde söylemek mümkündür.



Şekil 7.3 : 800 d/dk'da eşdeğer ses basıncı - yük grafiği.

Şekil 7.4'de LGMT3 gres yağlayıcı için 500–650 ve 800 d/dak'da eşdeğer ses basıncı değerlerini incelersek, artan devir sayısı ile gürültü miktarının arttığı gözlenmiştir. 500 d/dk'da ölçülen eşdeğer ses basıncı seviyesi ile 800 d/dk'da ölçülen arasında maksimum 6-7 dB'lik bir fark mevcuttur. Ancak yükün artırılması

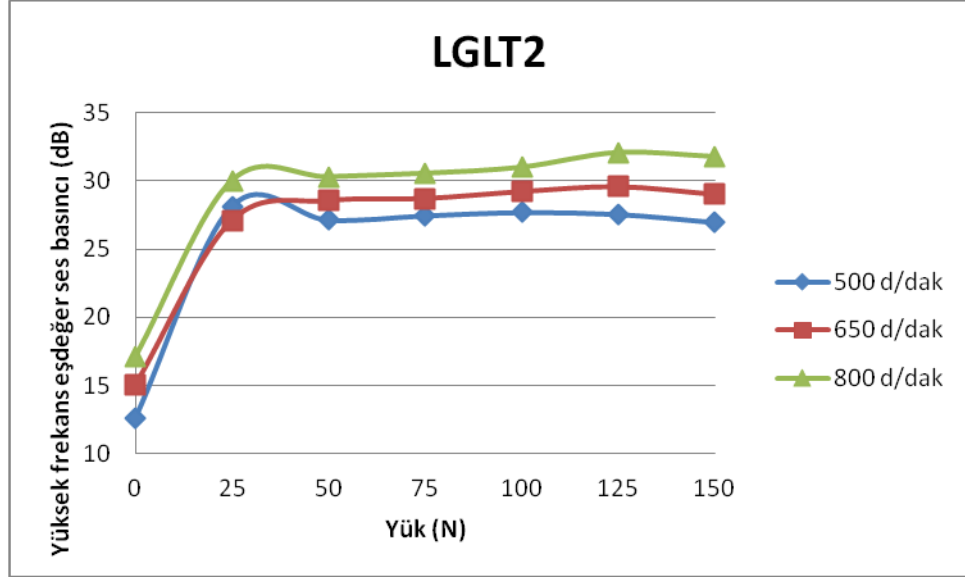
gürültü miktarının oldukça küçük artmasına ve bazı aralıklarda ise düşmesine neden olmuştur. Bu nedenle yük parametresini gürültüyü artıran bir etken olarak düşünmemek gerektiği söylenebilir.



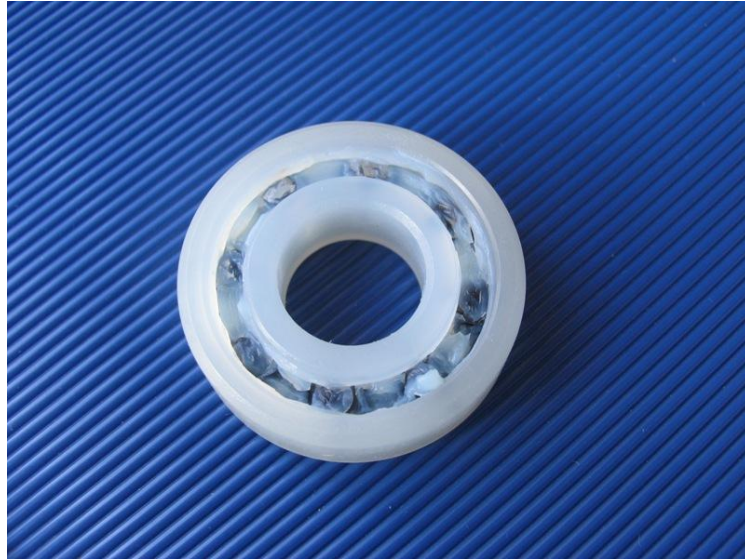
Şekil 7.4 : LGMT 3 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.

Şekil 7.5’de LGLT2 gres yağlayıcı için 500–650 ve 800 d/dak’da eşdeğer ses basıncı değerlerini incelersek, artan devir sayısı ile gürültü miktarının arttığı gözlenmiştir. Şekil 7.4’deki sonuçlara benzer şekilde yükün artırılması ile artan gürültü miktarının oldukça küçük olduğunu belirtmek gerekir. Bazı aralıklarda artan yük ile gürültü seviyesinin düştüğü de görülmektedir. Gürültü seviyesi artışının daha çok devir sayısının artışından kaynaklandığını belirtmek gerekir. 500 d/dk’da ölçülen eşdeğer ses basıncı seviyesi ile 800 d/dk’da ölçülen arasında maksimum 5-6 dB’lik bir fark mevcuttur.

Şekil 7.6’da LGLT2 yağlayıcı ile yağlanmış yatak gösterilmektedir. Şekil 7.7’de ise LGWA2 gres yağlayıcı için 500-650 ve 800 d/dak’da eşdeğer ses basıncı değerlerini incelersek, artan devir sayısı ve yük ile gürültü miktarının arttığı gözlenmiştir.

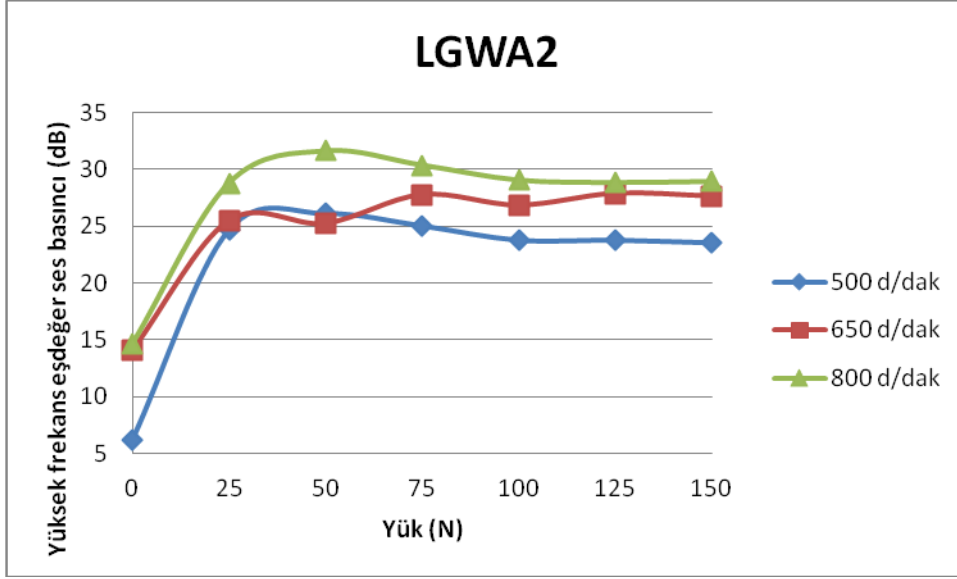


Şekil 7.5 : LGLT 2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı–yük grafiği.



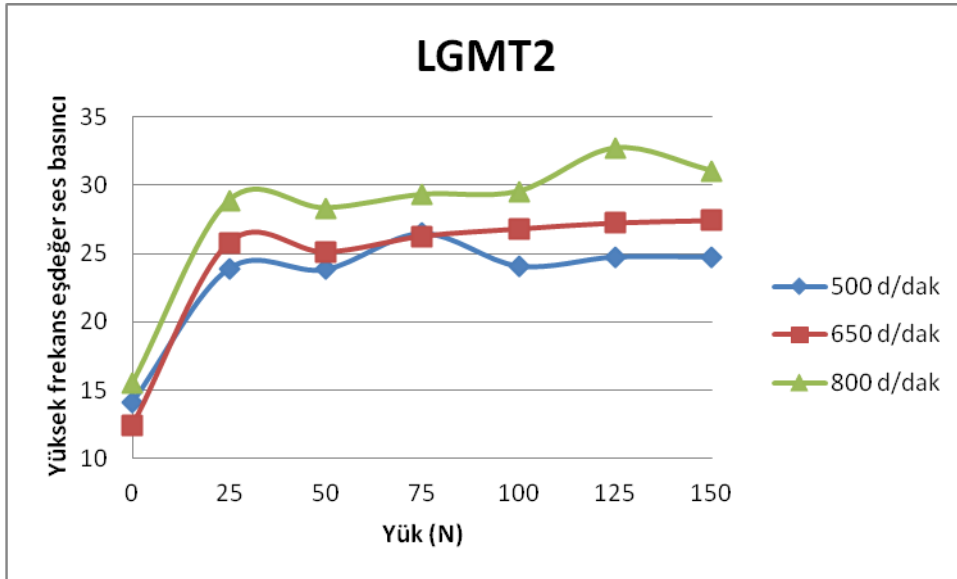
Şekil 7.6 : LGLT2 ile yağlanmış yatak.

Şekil 7.4 ve 7.5'deki sonuçlara benzer şekilde yükün artırılması ile gürültü miktarındaki artışın oldukça küçük olduğunu ve bazı durumlarda azalma olduğu gözlenmiştir. Gürültü seviyesindeki artışın daha çok devir sayısının artışından kaynaklandığını belirtmek gerekir. 500 d/dk'da ölçülen eşdeğer ses basıncı seviyesi ile 800 d/dk'da ölçülen arasında maksimum 5 dB'lik bir fark mevcuttur.



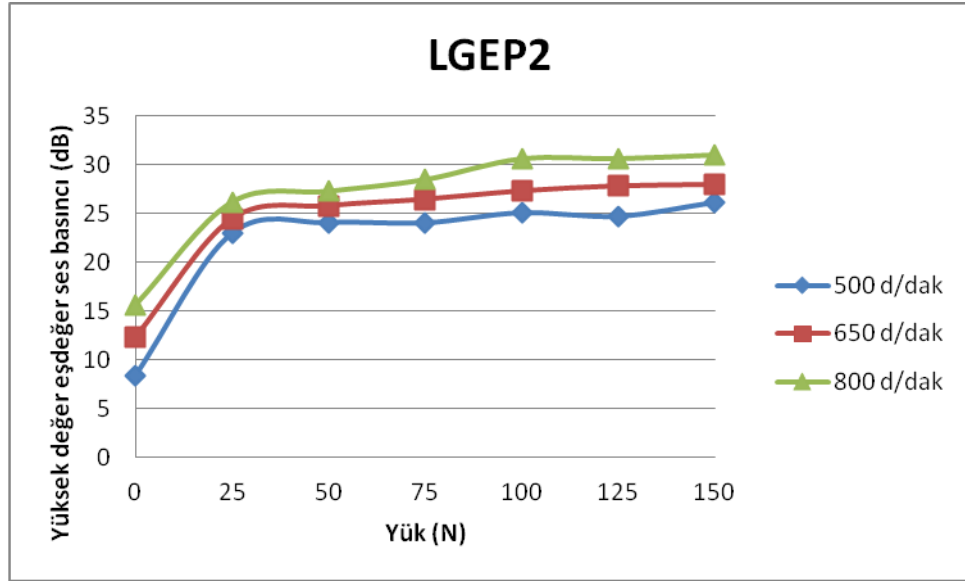
Şekil 7.7 : LGWA2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.

Şekil 7.8’de LGMT2 gres yağlayıcı için 500 – 650 ve 800 d/dak’da eşdeğer ses basıncı değerlerini incelersek, artan devir sayısı ve yük ile gürültü miktarının arttığı gözlenmiştir. Diğer grafiklerdeki sonuçlara benzer şekilde yükün artırılması ile gürültü miktarındaki artışın oldukça küçük olduğunu ve bazı durumlarda azalma olduğu gözlenmiştir.. Artışın daha çok devir sayısının artışından kaynaklandığını belirtmek gerekir. 500 d/dk’da ölçülen eşdeğer ses basıncı seviyesi ile 800 d/dk’da ölçülen arasında maksimum 5 dB’lik bir fark mevcuttur.



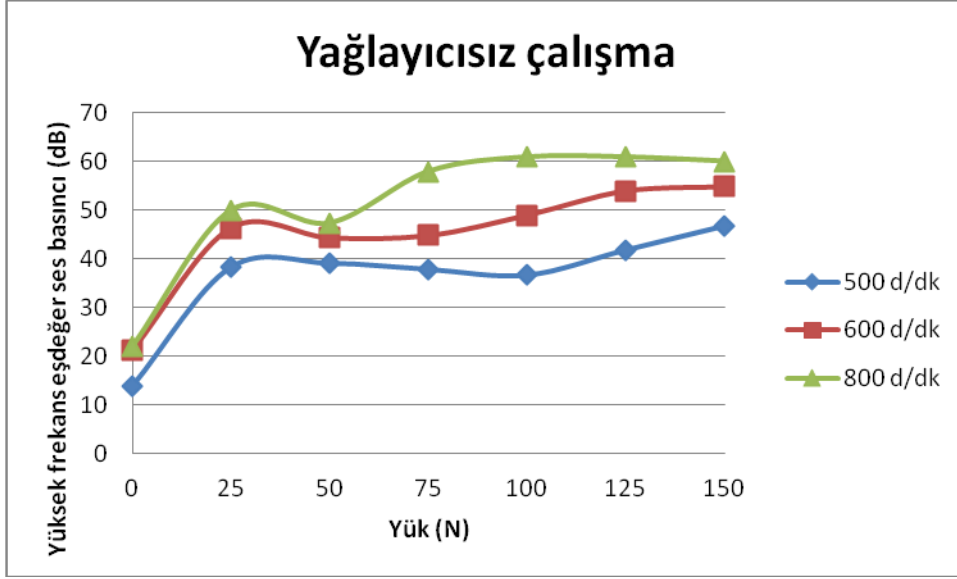
Şekil 7.8 : LGMT2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.

Şekil 7.9’da LGEP2 gres yağlayıcı için 500–650 ve 800 d/dak’da eşdeğer ses basıncı değerlerini incelersek, artan devir sayısı ve yük ile gürültü miktarının arttığı gözlenmiştir. Diğer grafiklerdeki sonuçlara benzer şekilde yükün artırılması ile gerçekleşen gürültü miktarının oldukça küçük olduğu ve bazı aralıklarda azalma olduğu gözlenmiştir. Artışın daha çok devir sayısının artışından kaynaklandığını belirtmek gerekir. 500 d/dk’da ölçülen eşdeğer ses basıncı seviyesi ile 800 d/dk’da ölçülen arasında maksimum 5 dB’lik bir fark mevcuttur.



Şekil 7.9 : LGEP2 yağlayıcısının eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.

Şekil 7.10’da yağlayıcısız çalışma ortamında 500-650 ve 800 d/dk’da 0 - 150 N yük aralığında eşdeğer ses basıncı değerleri görülmektedir. Bu koşullarda gürültü seviyesinin 800 d/dk’da 60 dB seviyelerine ulaştığı gözlenmiştir. Gürültü seviyesinin yağlayıcı kullanılan grafiklerle kıyaslandığı zaman 30 dB’lik bir fark olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kuru çalışma şartlarında sürtünmeden kaynaklı gürültünün oldukça fazla olduğunu söyleyebiliriz. Sürtünme katsayısı yağlayıcı kullanılmadığından yağlayıcı kullanılan duruma göre yüksek olduğundan sıcaklığında çalışma süresi boyunca hızla artmasına neden olmuştur. Yapılan bir başka deney sonucunda 150 N gibi büyük yüklemelerde ve yüksek devirlerde 920 d/dk’da polipropilen yatağın 100 °C’ye ulaştığı ve deformasyona uğrayıp dağıldığı gözlenmiştir. Şekil 7.11’de kafesi parçalanmış yatağın resmi gösterilmektedir.

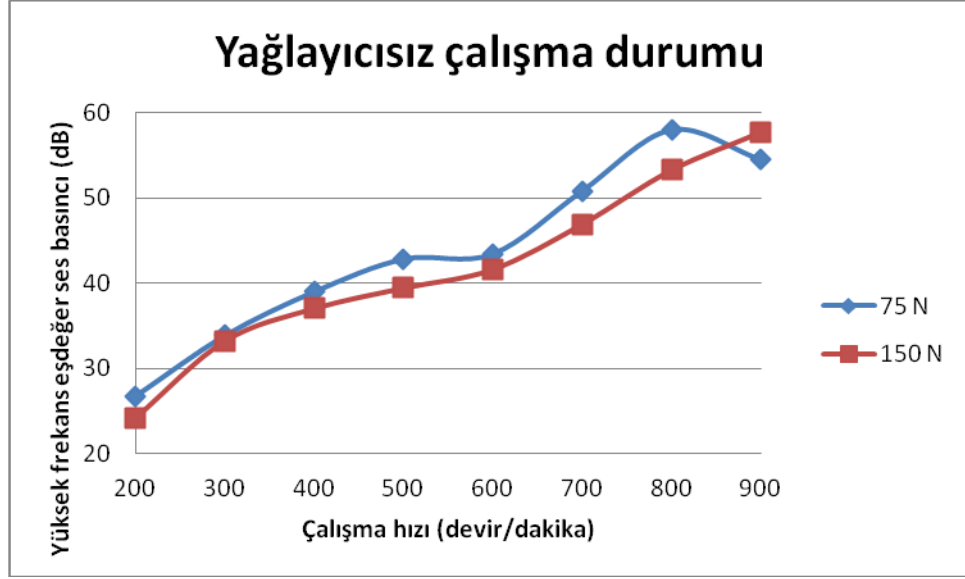


Şekil 7.10 : Yağlayıcısız çalışma ortamında eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.

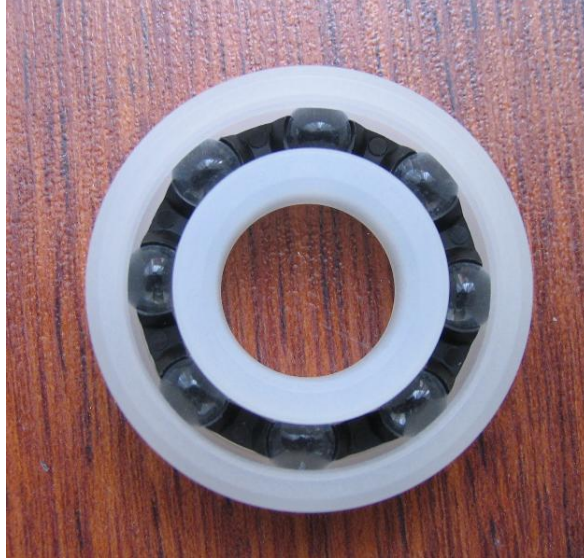


Şekil 7.11 : Kafesi parçalanmış bilyalı yatak.

Şekil 7.12’de yağlayıcısız çalışma durumunda 75 N ve 150 N yükleme koşullarında devir sayısı 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ve 900 d/dk devir sayılarında 2 kHz ve 12,5 kHz aralığındaki eşdeğer ses basınç değerleri incelenmiştir. Daha önceki grafiklerde de yorumlandığı gibi artan devir sayısı ile birlikte ses basıncının arttığı gözlenmiştir. Beklenenin aksine 150 N yükleme durumunda ses basınç seviyesinin, 75 N ile kıyaslandığında sadece 900 d/dk’da daha yüksek olduğu diğer bütün devirlerde ise daha az gürültülü çalıştığı gözlenmektedir. Buda yükün beklenenin aksine gürültüyü artıran bir parametre olmadığını açıkça göstermektedir.

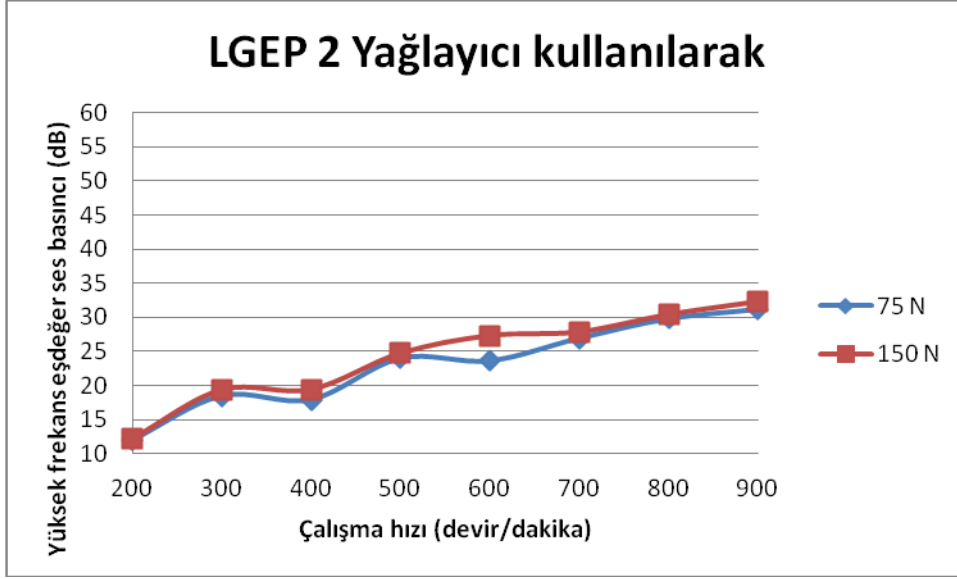


Şekil 7.12 : Yağlayıcısız çalışma ortamında eşdeğer ses basıncı – yük grafiği.



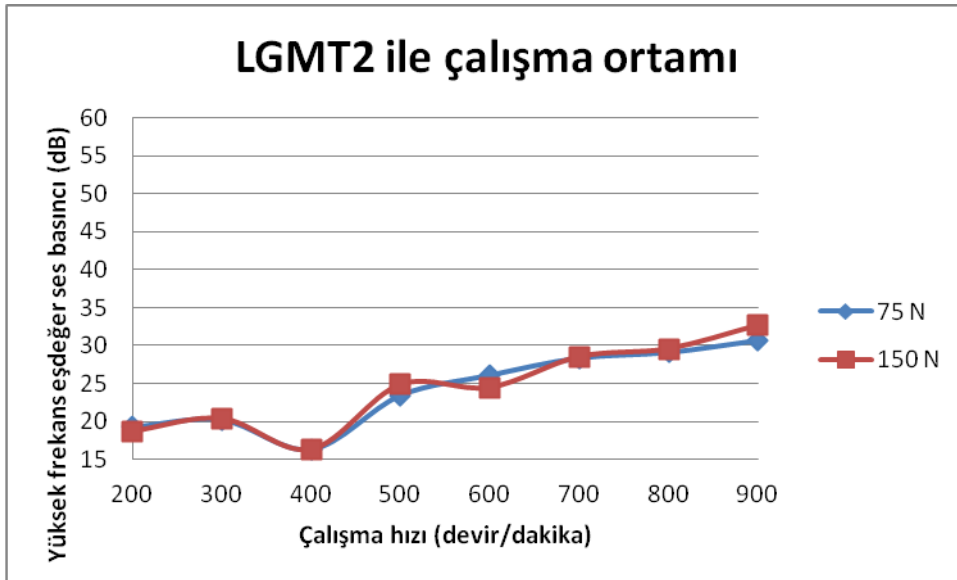
Şekil 7.13 : Yağlayıcı kullanılmamış yatak.

Şekil 7.13’de yağlayıcı kullanılmamış yatak resmi görülmektedir. Şekil 7.14’de ise LGEP2 yağlayıcı kullanılarak, 200–900 d/dk devir sayısı aralığında, 2 kHz–12,5 kHz frekans aralığında, 75 N ve 150 N yüklemelerde, eşdeğer ses basınç değerleri incelenmiştir. Artan devir sayısı ile gürültü seviyesinde bir artış gözlenmektedir. 150 N’da okunan gürültü seviyesi 75 N’daki seviyeden daha fazla olduğu görülmektedir. 900 d/dk’da okunan eşdeğer ses basınç seviyesinin, 75 N ve 150 N için 32-33 dB seviyelerine ulaştığı görülmektedir.

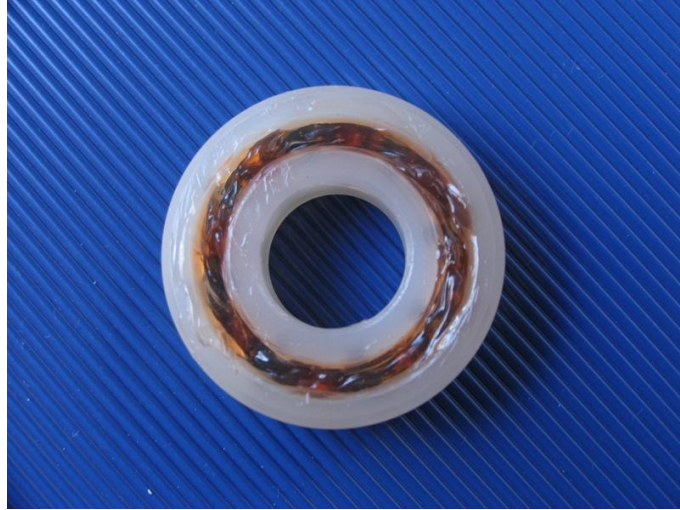


Şekil 7.14 : LGEP2 ile çalışma durumunda eşdeğer ses basıncı–çalışma hızı grafiği.

Şekil 7.15’de LGMT2 ile 200–900 d/dk devir sayısı aralığında, 2 kHz–12,5 kHz frekans aralığında, 75 N ve 150 N yükler için eşdeğer ses basıncı grafiği verilmiştir. Artan devir sayısı ile ses basınç düzeyinin arttığı gözlenmektedir. İlgi çekici bir durum olan 150 N’da 200 d/dk’da alınan ses basınç düzeyinin yüksek çıkmış olmasıdır. Diğer durumlar ise bir önceki grafiklerle benzerlik göstererek artan devir sayısı ile gürültü düzeyinin artmasıdır.



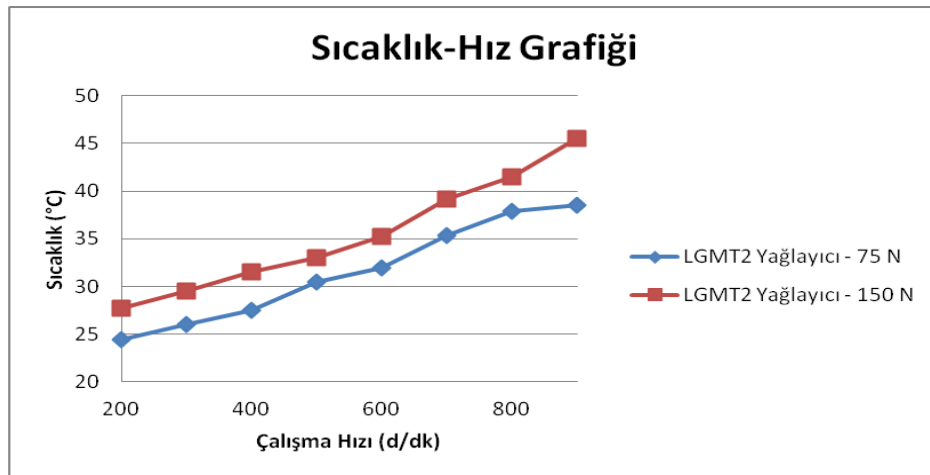
Şekil 7.15 : LGMT2 ile çalışma durumunda eşdeğer ses basıncı–çalışma hızı grafiği.



Şekil 7.16 : LGMT2 ile yağlanmış yatak.

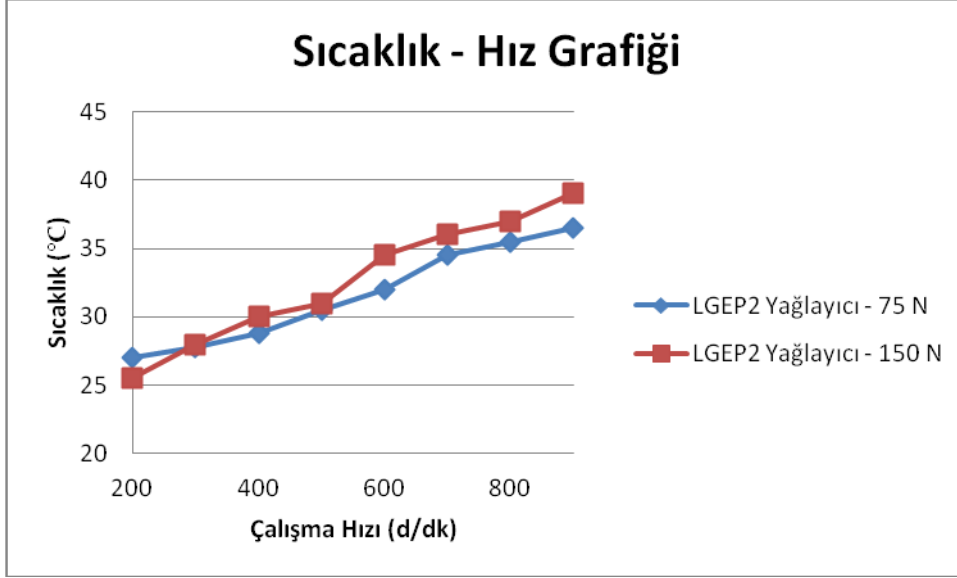
Şekil 7.16’da LGMT2 yağlayıcı kullanılarak yağlanan polipropilen yatak resmi görülmektedir. Önceki bölümde deney sırasında sıcaklık değerlerinin düzenli olarak ölçüldüğünden bahsedildi. Değişik durumlar için ölçülen Sıcaklık–Hız grafiklerini inceleyelim.

Şekil 7.17’den de görüldüğü üzere LGMT2 yağlayıcısı kullanılarak, 75 N ve 150 N yük altında, devir sayısının 200-900 d/dk arasında değişimi ile ölçülen sıcaklık değerleri görülmektedir. Sıcaklık 75 N’da 38,5 °C, 150 N yük altında ise 45,5 °C’ye ulaştığı görülmektedir. Buda bizim için polipropilen malzemenin Şekil 2.4’deki küçültme faktörünün 50 °C’ye kadar 1 olarak okunduğunu söyleyebiliriz.



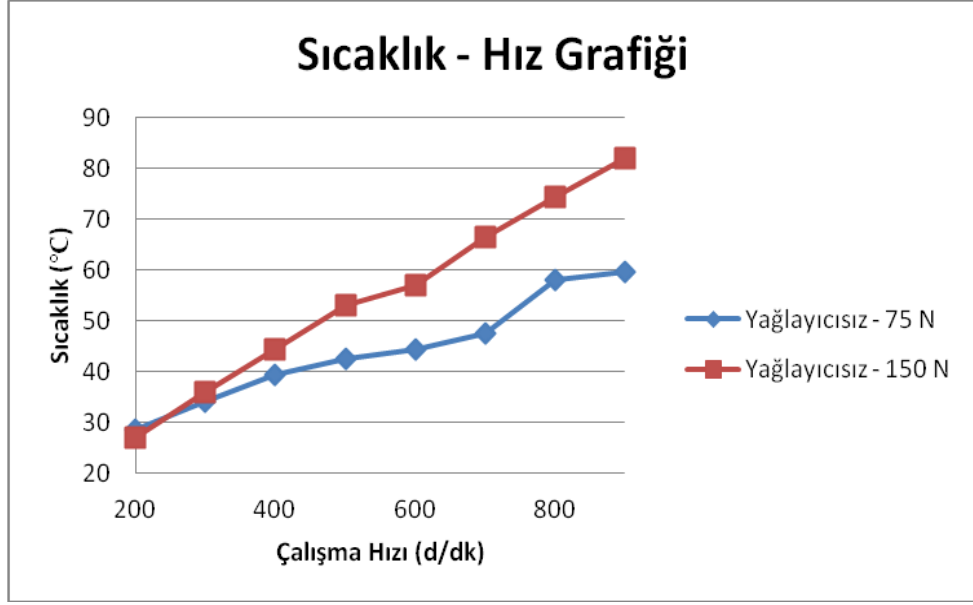
Şekil 7.17 : LGMT2 yağlayıcı 75 N–150 N yük altında 200-900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.

Şekil 7.18'den de görüldüğü üzere LGEP2 yağlayıcısı kullanılarak, 75 N ve 150 N yük altında, devir sayısının 200-900 d/dk arasında değişimi ile ölçülen sıcaklık değerleri görülmektedir. Sıcaklık 75 N'da 36,5 °C'ye, 150 N yük altında ise 39 °C'ye ulaştığı görülmektedir. Buda bizim için polipropilen malzemenin Şekil 2.4'deki küçültme faktörünün 50 °C'ye kadar 1 olarak okunduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 7.18 : LGEP2 yağlayıcı 75 N–150 N yük altında 200-900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.

Şekil 7.19'dan da görüldüğü üzere yağlayıcı kullanılmadan, 75 N ve 150 N yük altında, devir sayısının 200-900 d/dk arasında değişimi ile ölçülen sıcaklık değerleri görülmektedir. Sıcaklık 75 N'da 59,6 °C'ye, 150 N yük altında ise 82 °C'ye ulaştığı görülmektedir. Buda polipropilenin deformasyon sıcaklıklarına ulaştığı sıcaklıklardır. Polipropilen rulmanlı yatak, 150 N ve 900 d/dk'da çalıştırılmaya devam edilirse, sıcaklık artışı giderek arttığından 100 °C'lere ulaşıldığında kafes yapısının dağılıp parçalanmasına neden olmaktadır. Şekil 2.2'de polimer malzeme için verilen çalışma sıcaklıkları incelendiğinde, 100 °C'de polipropilen malzemenin kullanılamayacağını görmekteyiz.



Şekil 7.19 : Yağlayıcısız 75 N – 150 N yük altında 200 – 900 d/dk çalışma hızı aralığındaki sıcaklık değerleri.

7.1 Değerlendirme Sonucu ve Öneriler

Deneylerde kullanılan boyutlardaki akustik ortamın hacminin yetersiz olmasından dolayı 2 kHz'in altındaki frekans değerlerinde tekrarlanabilir sonuçlar elde edilememiş, bu sebeple ölçümlerde 2 kHz ile 12,5 kHz arasında ölçümler yapılarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan deneylerde bilyalı polimer yatakların değişik tipte yağlayıcılar kullanılarak çalışma sıcaklıklarının ve gürültü seviyelerinin düştüğü görülmüştür. Yağlayıcı kullanılan ve kullanılmayan grafiklerde eşdeğer ses basıncında 30 dB'e varan farklar meydana gelmiştir. Yağlayıcısız çalışma durumunda sıcaklık hızla artarken, sınır değerlerinde 920 d/dk ve 150 N yüklendiğinde sıcaklık 100 °C'ye ulaşmış ve yatak deformasyona uğrayıp dağılmıştır. Dağılan yatak incelendiğinde polipropilenden yapılan kafes yapısının bozulduğu ve bilyaların dağıldığı gözlenmiştir. Yağlayıcı kullanıldığı durumlarda deneyler sırasında ölçülen sıcaklık değerleri 40 °C'nin üzerine çıkmamış buda Şekil 2.5'deki grafiğe bakıldığında PP için kritik küçültme faktörünün 1 değerine eşit olduğu için hiçbir sorun teşkil etmemektedir. Çalışma hızları yüzdesi de 30 °C'de küçültme faktörü 0,95; 40 °C'de küçültme faktörü 0,9 olduğu görülmektedir. Deney sırasında okunan değerler maksimum 40 °C'yi bulduğundan Çizelge 6.1'de 6204/HR22Q2 kodlu yatak tipi için çalışma hızı 920 d/dk olan bu yatak tipinde hız maksimum 800 d/dk olarak deneylerde uygulanmıştır.

Yağlayıcıların sürtünme katsayısını düşürerek yüksek hızlara ulaşılmasını engellediği açık bir şekilde görülmektedir. Yağlayıcısız şartlarda yapılan deney sonuçlarında gürültü seviyesinin yüksek olması ve sıcaklığın hızlı bir şekilde artmasının nedeninde sürtünme katsayısının yüksekliğinden kaynaklanabilir.

Deneyel bulgular ve gözlemler polipropilen yatakların yağlayıcısız çalışmasının, yatak ömrü açısından mümkün olmadığını göstermiştir. Yağlayıcı kullanılarak bu sorunun çözülebileceği görülmektedir. Kullanılan yağlayıcı seçiminde polipropilen ile artan sıcaklıkları da göz önüne alarak tepkimeye girmeyecek bir yağlayıcı seçimi yapılmalıdır. Tez çalışmasında seçilen yağlayıcılar gibi lityum sabunlu, Mineral veya PAO baz yağ türünde; viskozitesi 40 °C'de 18 - 200 mm²/s, 100 °C'de 11-16 mm²/s aralığında olması tercih edilmelidir.

Deneyler neticesinde, bilyalı polimer yatakların gürültü düzeyiyle ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda, kullanılan polimer yatak ile aynı çapta fakat farklı bilya büyüklüklerindeki yataklarda gürültü düzeyinde nasıl bir etki yapacağının ele alınması faydalı olacaktır. Bunun yanında deney sırasında bilyalar üzerinden ölçülen sıcaklık parametrelerinin de ayrıca ele alınması gerekir.

KAYNAKLAR

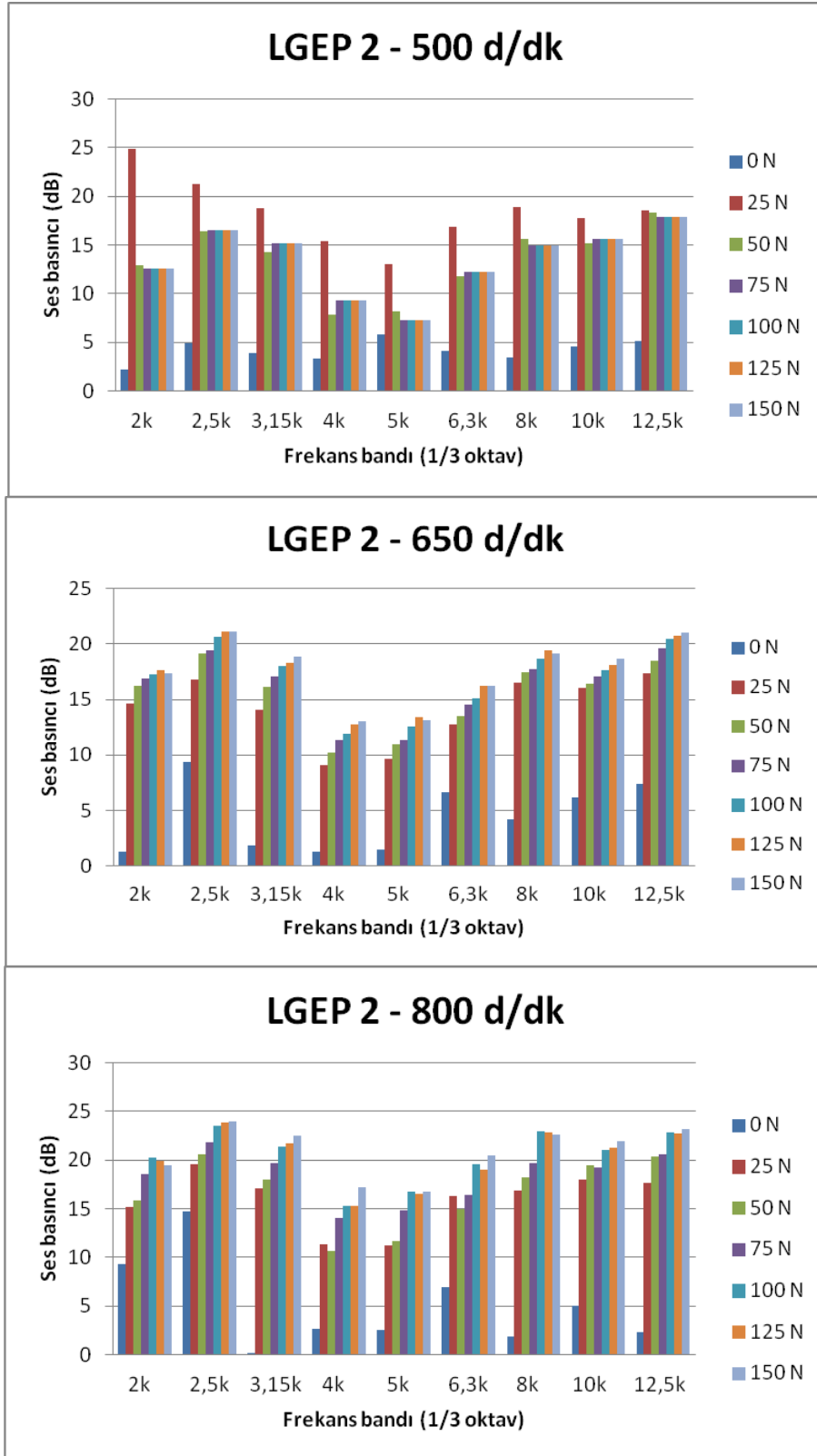
- [1] **Harris, T. A., Kotzalas, M. N.** (2006). *Rolling Bearing Analysis, Essential Concepts of Bearing Technology*, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, ISBN-10: 0-8493-7183-X, ISBN-13: 978-0-8493-7183-7
- [2] **KMS Bearings, Inc.** (t.y.). *Ten Good Reasons to Use Plastic Ball Bearings*. Alındığı tarih: 10.11.2011, adres: www.kmsbearings.com/pdf/RadialBallBrgs_Plastic.pdf
- [3] **SKF Group.** (t.y.). *Interactive Engineering Catalogue: Polymer Ball Bearings*. Alındığı tarih: 28.11.2011, adres: http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1_23_70
- [4] **Igarashi, T.** (1960). Noise of Ball Bearing (1st Report, Case of Simple Ball Bearing), *Bulletin of JSME*, **3**(10), 220-227
- [5] **Igarashi, T.** (1962). Noise of Ball Bearing (2nd Report, Case of Fitted Ball Bearing), *Bulletin of JSME*, **5**(17), 184-194
- [6] **Igarashi, T.** (1963). Noise of Ball Bearing (4th Report, Clearance and Fitting Effects on Fitted Ball Bearing Noise), *Bulletin of JSME*, **6**(22), 394
- [7] **Igarashi T.** (1964). Noise of Ball Bearing in Electric Motor, **7**(25), *Bulletin of JSME*, 200-208
- [8] **Igarashi, T.** (1964). Noise of Ball Bearing (5th Report, Generating Mechanism of Noise), *Bulletin of JSME*, **30**(220), 1516-1524
- [9] **Nagamatsu A., Fukuda M.** (1978-08). Sound Noise Generated from Ball Bearing in High Speed Rotation, *Bulletin of JSME*, **21**(158), 1306-1310
- [10] **Jayaram, V.D., Jarchow, F.** (1978). Experimental studies on ball bearing noise, *Wear*, **46**-2, 321-326
- [11] **Ban, J.E., Rho, B.H., Kim K.W.** (2007). A study on the sound of roller bearings under radial load, *Tribology International* , **40**, 21-28
- [12] **Serrato R., Maru M.M., Padovese L.R.** (2005). Effect of lubricant viscosity grade on mechanical vibration of roller bearings, *Mechanical Engineering Department, Sao Paulo University*
- [13] **Tandon N., Choudhury, A.** (1999). A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings, *ITMME Centre, Indian Institute of Technology*
- [14] **Kamburoğlu, E.** (2010). *Bilyalı Polimer Yatakların Gürültü Karakteristiğinin Deneysel Analizi*, İTÜ, Makine Fakültesi, (yüksek lisans tezi)
- [15] **Altınkaynak, A.** (2005). *Polimer Malzemelerde Sürtünme Kaynaklı Gürültü*, İTÜ, Makine Fakültesi, (yüksek lisans tezi)

- [16] **Harnoy, A.** (2003). Bearing Design in Machinery: Engineering Tribology and Lubrication (Dekker Mechanical Engineering), Marcel Dekker, Inc., New York, ISBN: 0-8247-0703-6
- [17] **Keen Mc, Laurence, W.** (1995). Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers, PDL Handbook Series, New York
- [18] **Ebewele, R.O.** (2000). Polymer Science and Technology, 1st Edition, CRC Press LLC, Boca Raton, ISBN 0-0849-8939-9
- [19] **Calafut, T.** (t.y.). Polypropylene Clive Maier, PDL handbook Series ebook
- [20] **Sinha, S. K., Briscoe, B. J.** (2009). Polymer Tribology, Imperial College Press, Singapore, ISBN-13 978-1-84816-202-0, ISBN-10 1-84816-202-2
- [21] **Blanchet, T. A.** (1997). Translated to english by: E. Richard Booser, Tribology Data Handbook - An Excellent Friction, Lubrication, and Wear Resource, CRC Press, Print ISBN: 978-0-8493-3904-2, eBook ISBN: 978-1-4200-5047-9
- [22] **Yamaguchi, Y.** (1990). Tribology of Plastic Materials, Elsevier Science Publishers B.V., New York, ISBN 0-444-87445-3
- [23] **Erol, H.** (t.y.). Endüstriyel akustik ve gürültü (ders notu)
- [24] **Everest, F.A.** (2009). Pohlmann K.C., Master Handbook of Acoustics, Fifth Edition, McGraw-Hill, eBook, ISBN 978-0-07-160333-1
- [25] **Rossing, T.D (Ed.)** (2007). Springer Handbook of Acoustics, Springer Science+Business Media LLC, New York, ISBN 978-0-387-30446-5
- [26] **Barron, R. F.** (2003). Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, Inc, New York, ISBN: 0-8247-0701-X
- [27] **Cheng, H. S.** (1992). ASM Handbook, Vol 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, Northwestern University
- [28] **Bayer, O.** (1989). Noise and vibration behaviour of Rolling bearings, Ball and Roller Engineering • Industrial Engineering, FAG
- [29] **Booser, E.R.** (1989). CRC Handbook of Lubrication: Theory and Practice of Tribology, Volume II: Theory and Design, CRC Press LLC, ISBN 0-8493-3902-2 (v.2) (s. 185, 189-190)
- [30] **SKF Online Catalogue.** (t.y.). *Engineering Products - Single Row Polymer Bearings*, Alındığı tarih: 15.11.2011 adres: http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/productTableViewer.jsp?presentationType=3&lang=en&tableName=1_23_5
- [31] **SKF yağlama ürünleri ve sistemleri-katalog.** (t.y.). Alındığı tarih: 03.12.2011, adres: www.skf.com/lubrication
- [32] **Brüel & Kjaer.** (t.y.). PRODUCT DATA - Modular Precision Sound Analyzer-2260 Investigator™ including BZ7206 and BZ7210 Sound Analysis Software

EKLER

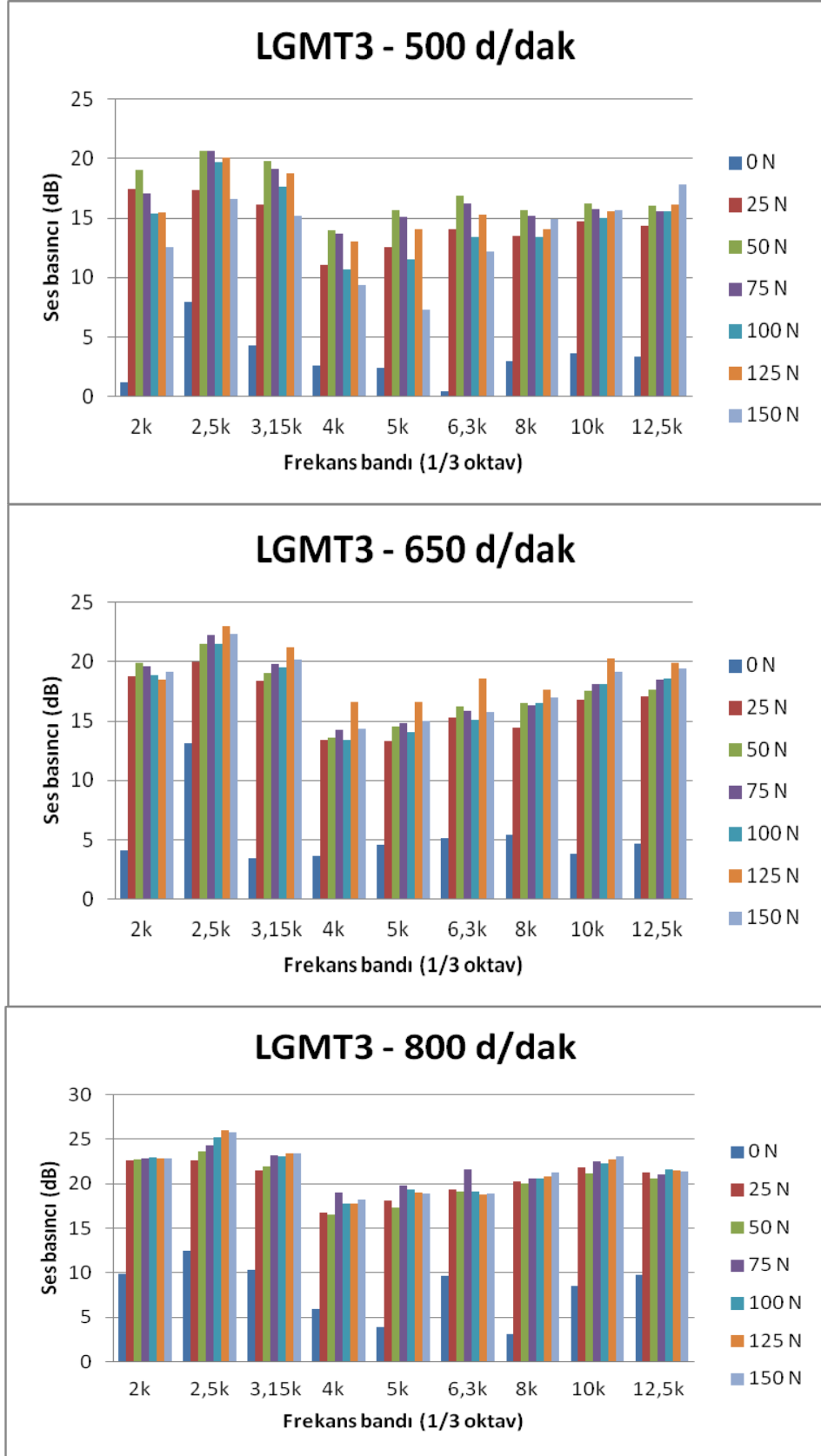
- EK A.1** : LGEP 2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı
EK A.2 : LGMT3 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı
EK A.3 : LGWA2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı
EK A.4 : LGMT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı
EK A.5 : LGLT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı

EK A.1



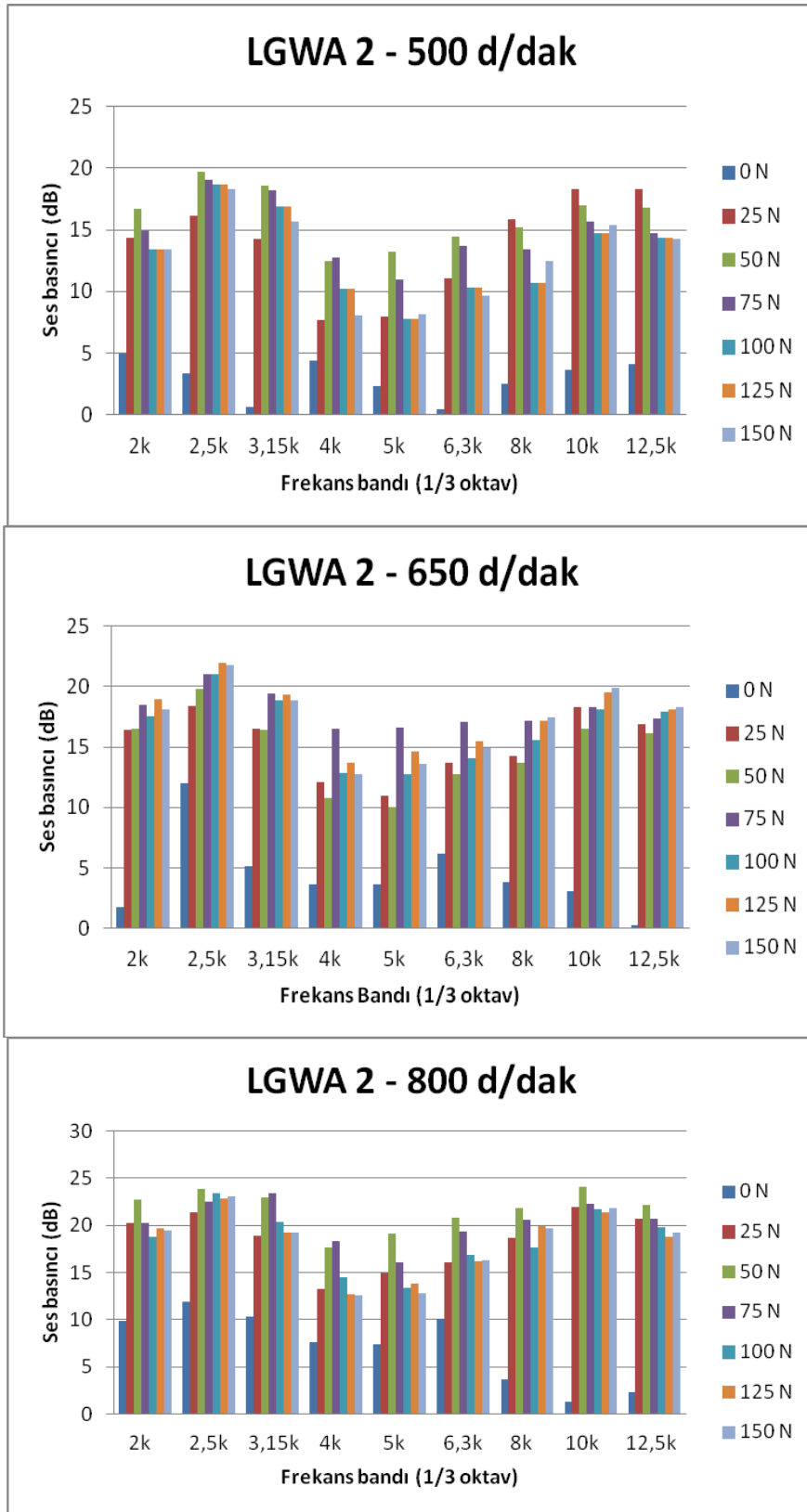
Şekil A.1 : LGEP 2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı.

EK A.2



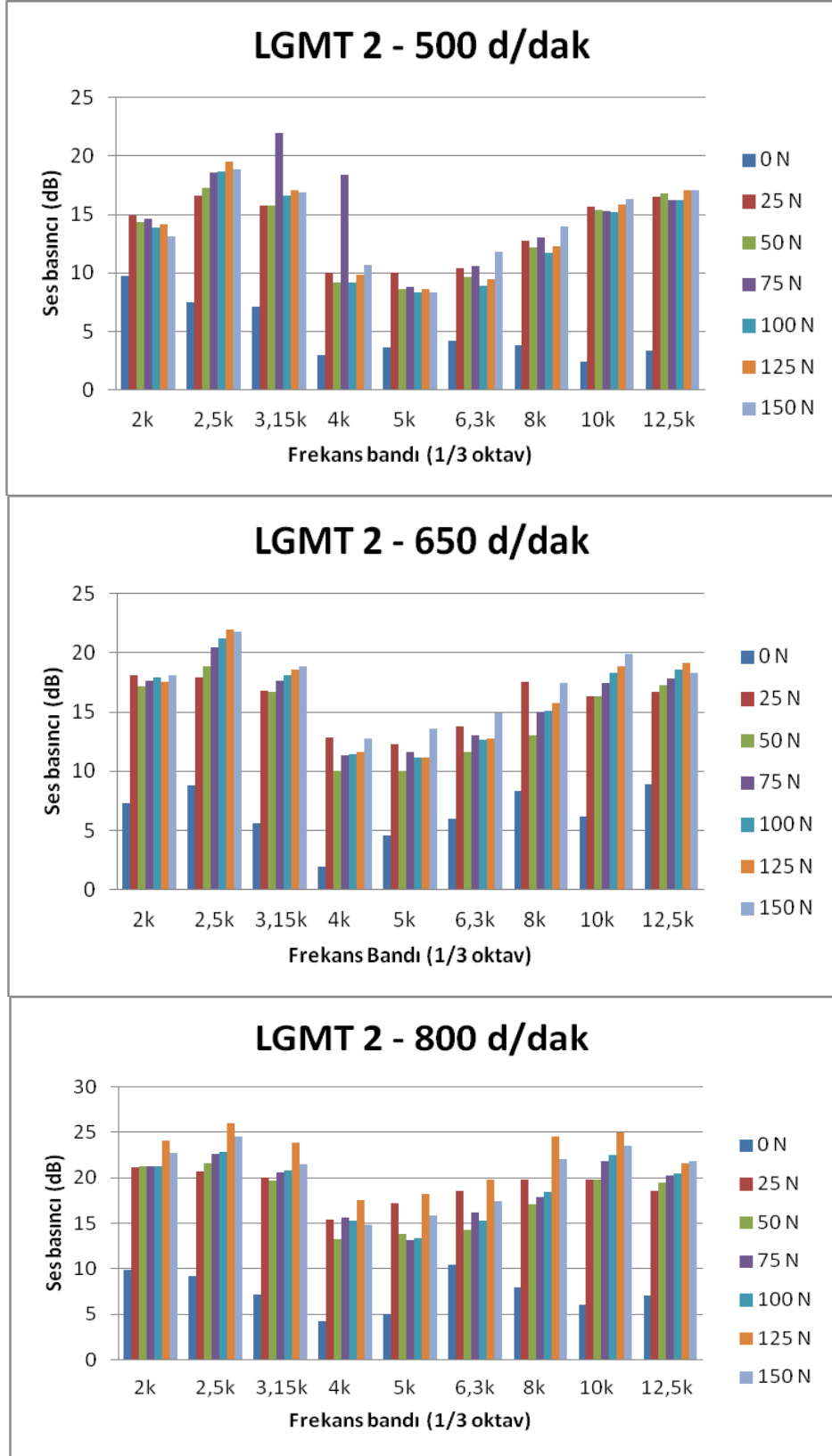
Şekil A.2 : LGMT3 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı.

EK A.3



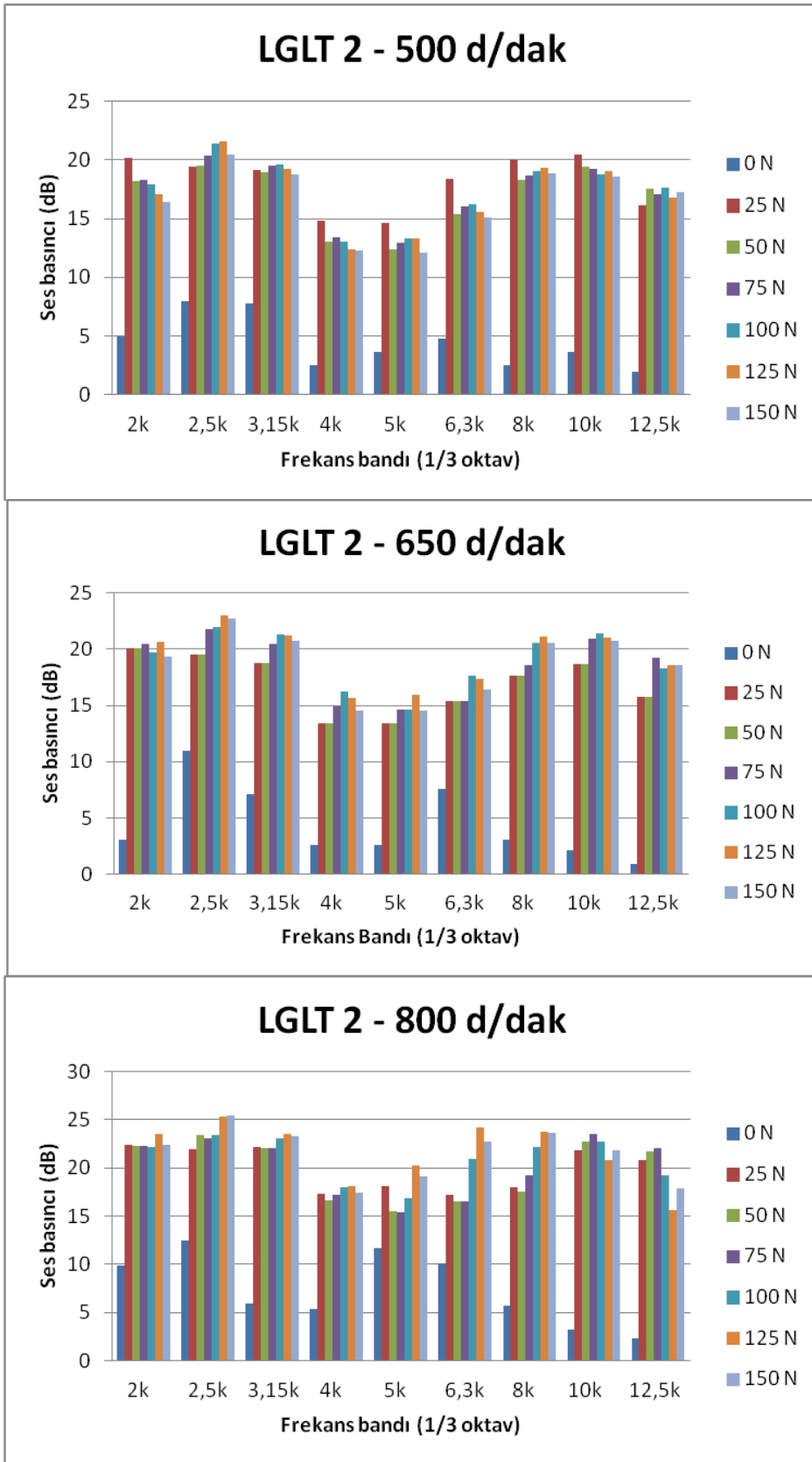
Şekil A.3 : LGWA2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı.

EK A.4



Şekil A.4 : LGMT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı.

EK A.5



Şekil A.5 : LGLT2 500-650-800 d/dk çalışma durumunda ses basıncı-frekans bandı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Sibel KARAÇAM DİNÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 02.07.1982

Adres: İstanbul

E-Posta: sibelkaracam@yahoo.com

Lisans: Makine Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2009 – 2011 Elektromag Makine San. Tic. A.Ş.

2012 – halen Mercedes-Benz Türk A.Ş.