

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE TAŞIYICI YATAK
REHABİLİTASYONUNUN YATAK SICAKLIĞI VE BASINCI
ÜZERİNE ETKİSİ**

Abdussamet YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ekim 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERDE TAŞIYICI YATAK
REHABİLİTASYONUNUN YATAK SICAKLIĞI VE BASINCI ÜZERİNE
ETKİSİ**

Tez Yazarı
Abdussamet YILDIRIM

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Halit Lutfi YÜCEL

Ekim 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Hidroelektrik Santrallerde Taşıyıcı Yatak Rehabilitasyonunun Yatak Sıcaklığı ve Basıncı Üzerine Etkisi
Yazarı:	Abdussamet YILDIRIM
İlk Teslim Tarihi:	15.06.2024
Savunma Tarihi:	18.10.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Halit Lutfi YÜCEL Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÇITLAK Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Hidroelektrik Santrallerde Taşıyıcı Yatak Rehabilitasyonunun Yatak Sıcaklığı ve Basıncı Üzerine Etkisi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

18.10.2024

Abdussamet YILDIRIM



ÖNSÖZ

Hidroelektrik santraller (HES) mekanik ve elektriksel ekipmanlardan meydana gelmiştir. Zaman içerisinde ekipmanlarda meydana gelen deformasyonlar sonucunda ciddi performans kayıpları meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra sürekli meydana gelen arızalardan dolayı uzun süren duruşlar olmakta ve çoğu zaman eski teknolojik ürünlerin yedekleri bulunamamaktadır. Bu durumlardan dolayı HES’lerde hidrodinamik kaymalı yataklar rehabilite edilip eski performansları geri kazandırılmalıdır. Bu yenileme işlemi yapılırken rehabilitasyon yapılan ekipmanların mevcutta bulunan ekipmanlarla iyi bir uyum yakalaması sağlanmalıdır.

Tez çalışması boyunca hiçbir desteğini esirgmeden süreci yürütüp, bilimsel açıdan yol gösterici davranan kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halit Lutfi YÜCEL’e ve Doç. Dr. Gökhan KAHRAMAN’a katkıları için çok teşekkür ederim. Tez çalışması esnasında bilgi ve belge konusunda yardımcı olup süreci kolaylaştıran başta TÜBİTAK-MAM’dan Dr. Mehmet Sait ÇAY’a ve kurumum EÜAŞ Keban HES İşletme Müdürlüğü personelleri Teknik Müdür Yardımcısı Kağan KONU’ya, Elektrik Bakım Mühendisi İbrahim ÖRGEN’e, Makine Tamir Bakım Başteknisyeni Yüksel KÜNKÜL’e, Makine Bakım Ustabaşı Ziya KÜÇÜK ile tüm Makine Bakım personellerine katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Daima motivasyon eksikliğimi gideren ve destekleriyle tezin başarıya ulaşması için hiçbir yardımı esirgemeyen kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Çalışmalar 2024-4/32 Etik Kurulunun 23/01/2024 tarih ve 432367 sayılı izni ile gerçekleştirilmiştir.

Abdussamet YILDIRIM

ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. Giriş.....	1
1.1. HES'LERİN ENERJİ ÜRETİMİNDEKİ ÖNEMİ	4
1.2. Keban HES'in Genel Özellikleri.....	6
1.2.1. Genel Karakteristikleri.....	6
1.2.2. Hidrolik Karakteristikler	6
1.2.3. Baraj Karakteristikleri.....	7
1.2.4. Türbin Karakteristikleri.....	7
1.2.5. Generatör Karakteristikleri	8
1.2.6. Generatör Teçhizat Boyut ve Ağırlıkları	8
1.2.7. Ana Güç Transformatörlerinin Karakteristikleri.....	8
1.2.8. Üretim Değerleri.....	8
1.2.9. Türbinler ve Francis Türbinleri	8
2. KEBAN HES YENİLEME ÇALIŞMASI.....	11
2.1.1. Rehabilitasyon programının genel amaçları	11
3. HİDRODİNAMİK YAĞLAMALI TAŞIYICI YATAKLAR.....	26
3.1. Hidrodinamik Yağlamalı Yatakların Genel Özellikleri	26
3.1.1. Bilyalı ve Soketli Taşıyıcı Yataklar	26
3.1.2. Kayar (kaymalı) Yataklar	27
3.2. Metal Kaplamasına Göre Taşıyıcı Yataklar.....	27
3.2.1. Babbitt Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar	27
3.2.2. Polimer Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar (Teflon (PTFE) ve Polieter Eter Keton (PEEK)/Çelik Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar).....	29
3.2.2.1. Teflon (PTFE) Taşıyıcı Yataklar.....	29
3.2.2.2. PEEK (Polieter eter keton) Taşıyıcı Yataklar.....	31
3.2.3. Sert elmas benzeri karbon (DLC)/çelik kaplamalı taşıyıcı yataklar.....	32
3.2.4. Bronz/çelik kaplamalı taşıyıcı yataklar:.....	33
3.3. Taşıyıcı Yatakların Çalışma Prensibi	34
3.3.1. Taşıyıcı Yatak Bakım İşlemi.....	37
3.4. Taşıyıcı Yatak Soğutma Sisteminin İncelenmesi.....	39
3.4.1. Sıcaklık ile Yağ Viskozitesi İlişkisi.....	39
4. MATERYAL VE METOT	45
4.1. Taşıyıcı Yatak Rehabilitasyon işlemleri	45
4.2. Hidrodinamik Eksenel Yatakların Denklemlerinin Elde Edilmesi	51
4.2.1. Sıcaklık Hesaplamaları	53

4.2.2. Basınç-Kuvvet Hesaplamaları.....	59
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	62
5.1. Taşıyıcı Yatak Sıcaklık Ölçümlerinin Analizi	62
5.1.1. Taşıyıcı Yatak Metal Sıcaklığının Analizi	62
5.1.2. Taşıyıcı Yatak Yağ Filminin Sıcaklığının Analizi.....	64
5.2. Taşıyıcı Yatak Eksenel Kuvvet ve Taşıyıcı Yatak Basınç Analizi.....	68
5.2.1. Taşıyıcı Yatak Eksenel Kuvvet Analizi	68
5.2.2. Taşıyıcı Yatak Basınç Analizi.....	71
6. SONUÇLAR.....	78
ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Hidroelektrik Santrallerde Taşıyıcı Yatak Rehabilitasyonunun Yatak Sıcaklığı ve Basıncı Üzerine Etkisi

Abdussamet YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2024, Sayfa: xiv + 82

Hidroelektrik enerji yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en kadim olanıdır. Fosil yakıt kökenli enerji tüketiminin çevreye verdiği zararlar gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde ülkeler, kişi başına enerji tüketiminin artması sebebiyle enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği çeşitlendirip arttırmaya çalışmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji çeşitlendirilip bu enerji kaynaklarından üretilen toplam enerji miktarı sürekli artmaktadır. Bu amaçla kadim enerji kaynağımız olan suyun daha etkili ve tasarruflu kullanılıp etkin bir şekilde enerjiye dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda hidroelektrik santrallerde yapılacak rehabilitasyon önem arz etmektedir. Bu çalışmada Keban HES ünitelerinde hidrodinamik yağlamalı taşıyıcı yatakların rehabilitasyonu incelenmiştir. Taşıyıcı yatak metal sıcaklığı, yağ giriş sıcaklığı, yağ filmi sıcaklığı, yatağa binen eksenel kuvvetler ve taşıyıcı yatak basıncı parametreleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan rehabilitasyon işlemi matematiksel hesaplamalar yardımıyla bulunarak deneylerle kıyaslamalar yapılmıştır. İyi bir rehabilitasyon işlemi için yapılması gereken hususlara dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik santraller, Hidrodinamik yağlamalı taşıyıcı yataklar, Yenilenebilir enerji, Rehabilitasyon.

ABSTRACT

The Effect of Thrust Bearing Rehabilitation on Bearing Temperature and Pressure in Hydroelectric Power Plants

Abdussamet YILDIRIM

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

October 2024, Pages: xiv + 82

Hydroelectric energy is the most ancient of renewable energy sources. The environmental damage caused by fossil fuel-based energy consumption is increasing day by day. Today, countries are trying to diversify and increase the electricity produced from renewable energy sources to meet their energy needs due to the increase in energy consumption per capita. In our country, renewable energy is diversified and the total amount of energy produced from these energy sources is constantly increasing. For this purpose, water, which is our ancient energy source, should be used more effectively and economically and effectively converted into energy.

In this context, rehabilitation in hydroelectric power plants is very important. In this study, the rehabilitation of hydrodynamically lubricated thrust bearings in Keban HEPP units was investigated. The bearing metal temperature, oil inlet temperature, oil film temperature, axial forces on the bearing and bearing pressure parameters were evaluated. The rehabilitation process was calculated with the help of mathematical modeling and comparisons were made with experiments. Attention is drawn to the points that should be done for a good rehabilitation process.

Keywords: Hydroelectric power plant, hydrodynamically lubricated thrust bearings ,renewable energy, rehabilitation.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Keban Barajı rezervuar vaziyet planı	5
Şekil 1.2. Keban Barajı	6
Şekil 1.3. Francis türbini bileşenleri	9
Şekil 1.4. Keban HES enine kesiti	10
Şekil 2.1. İkaz setinin eski hali	12
Şekil 2.2. İkaz setinin yeni hali	13
Şekil 2.3. Eski Hız Regülatörü	13
Şekil 2.4. Yeni Hız Regülatörü	14
Şekil 2.5. Senkronizasyon, kontrol ve koruma panoları	15
Şekil 2.6. Eski ve yeni iç ihtiyaç trafoları	15
Şekil 2.7. Tam pantograf ayırıcı	16
Şekil 2.8. Akım ve gerilim trafoları	17
Şekil 2.9. Vibrasyon ölçüm sistemi kumanda ekranı	18
Şekil 2.10. Debimetre Çeşitleri ve Debimetre Ölçüm Cihazı	18
Şekil 2.11. Debimetre montajlı cebri boru	19
Şekil 2.12. Drenaj sistemi eski ve yeni pompalar	19
Şekil 2.13. Yeni yangın pompaları ve jokey pompa	20
Şekil 2.14. Soğutma suyu sistemi demontaj ve montaj hali	21
Şekil 2.15. Fancoil sistemiyle trafoların soğutulması işlemi	21
Şekil 2.16. Yeni soğutma sistemi pompaları	22
Şekil 2.17. Eski ana güç trafoları	23
Şekil 2.18. Yeni ana güç trafoları	23
Şekil 2.19. Diklik ayarı için şim malzemesi	25
Şekil 2.20. İki ucunda flanş bulunan şaftta iki flanşın orta eksenindeki kaçıklığı veya bozulma kontrolü	25
Şekil 3.1. Bilyalı ve soketli taşıyıcı yatak	27
Şekil 3.2. Babbitt kaplamalı taşıyıcı yatak lokma pedi	28
Şekil 3.3. Teflon taşıyıcı yatak lokma pedlerinin yapısı	31
Şekil 3.4. Teflon taşıyıcı yatak sistemi	31
Şekil 3.5. PEEK taşıyıcı yatak lokma pedi	32
Şekil 3.6. Elmas benzeri karbon (DLC) taşıyıcı yataklar	33

Şekil 3.7. Bronz/Çelik taşıyıcı yatak lokma pedi	34
Şekil 3.8. Taşıyıcı yatak lokma pedi beyaz metal görünümü	35
Şekil 3.9. Taşıyıcı yatak lokmasının alt ayna üzerindeki görünümü.....	36
Şekil 3.10. Taşıyıcı yatak lokma pedinin eksenel yük altında performans şeması	36
Şekil 3.11. Farklı derecedeki yağların viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	40
Şekil 3.12. ISO-VG-68 türbin yağının viskozite-sıcaklık grafiği	41
Şekil 3.13. ISO-VG-68 yağı viskozitesinin 15-25°C’ler arasında değişimi.....	41
Şekil 3.14. Farklı yağlarla yağlanan muylu yatağının dönme hızının bir fonksiyonu olarak minimum film kalınlığı	42
Şekil 3.15. Farklı yağlarla yağlanan muylu yatağının dönme hızının bir fonksiyonu olarak toplam güç kaybı	43
Şekil 4.1. Taşıyıcı yatak rehabilitasyon öncesi demontaj işlemi	45
Şekil 4.2. Rehabilitasyon öncesi keten hortum ile rehabilitasyon sonrası kauçuk hortum	46
Şekil 4.3. Rehabilitasyon öncesi lokma askıdayken pimlerin görünümü	46
Şekil 4.4. Taşıyıcı yatak lokma altı yaylı destek pimi demonte görünümü	47
Şekil 4.5. Rehabilitasyon işlemi esnasında destek pimlerinin dağıtılıp, kontrol edilmiş hali	47
Şekil 4.6. Taşıyıcı yatak lokma ölçü değerleri projesi	48
Şekil 4.7. Lokma üzerinde harflendirmeler.....	49
Şekil 4.8. Taşıyıcı yatak lokma pedleri rehabilitasyon öncesi görünümü	49
Şekil 4.9. Taşıyıcı yatak lokmaları rehabilitasyonda temizlenirken	50
Şekil 4.10. Rehabilitasyon işlemi esnasında lokma raspalama işlemi ve raspanmış hali.....	51
Şekil 4.11. Doğrusal Bir Ped Yatağının Geometrisi	52
Şekil 4.12. Hidrodinamik eksenel yatağın üstten görünüşü	53
Şekil 4.13. Elimko PR-100 haberleşme ve bilgilendirme cihazı	54
Şekil 4.14. Cıvalı elektrik kontaklı termometreler	54
Şekil 4.15. Keban HES taşıyıcı yatak yağlama sistemi	55
Şekil 4.16. Düzenli iki boyutlu akışta termal sınır tabakasındaki diferansiyel kontrol hacmi ile ilişkili ısı ve kütle akışı yoluyla enerji transferleri.....	56
Şekil 4.17. Taşıyıcı yatak basınç ölçüm göstergeleri.....	60
Şekil 5.1. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği.....	63
Şekil 5.2. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği	64
Şekil 5.3. Rehabilitasyon öncesi yağ giriş sıcaklığı.....	65
Şekil 5.4. Rehabilitasyon sonrası yağ giriş sıcaklığı.....	66
Şekil 5.5. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği.....	66

Şekil 5.6. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklık grafiği	67
Şekil 5.7. Rehabilitasyon Öncesi Eksenel Kuvvet (kN) grafiği.....	69
Şekil 5.8. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak eksenel kuvvet grafiği.....	70
Şekil 5.9. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak basıncı grafiği	72
Şekil 5.10. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak basınç grafiği	73
Şekil 5.11. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı	74
Şekil 5.12. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası serpantin yağ giriş sıcaklığı	74
Şekil 5.13. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası yağ filmi sıcaklığı	75
Şekil 5.14. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası taşıyıcı yatak basınç değerleri	76
Şekil 5.15. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası eksenel kuvvet değerleri.....	77



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Şaft Diklik Ayarı Esnasında Yapılması Gereken İşlemler	24
Tablo 3.1. Keban HES taşıyıcı yatak babbitt beyaz metal özellikleri	29
Tablo 3.2. Taşıyıcı Yatak Bakım İşlemi	37
Tablo 3.3. Farklı özellikteki yağların viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	40
Tablo 3.4. Sentetik esterlere dayalı mineral yağ ve yüksek viskozite indeksli yağ özellikleri.....	43
Tablo 4.1. Taşıyıcı yatak elemanları ve sayıları.....	48
Tablo 4.2. Taşıyıcı yatak alt ayna ile lokma beyaz metal üst yüzeyi arası mesafe	49
Tablo 5.1. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı	62
Tablo 5.2. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı	63
Tablo 5.3. Yağ filmi giriş sıcaklığı rehabilitasyon öncesi ve sonrasına göre kıyaslanması	65
Tablo 5.4. Rehabilitasyon sonrası yağ giriş sıcaklığı	65
Tablo 5.5. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklığı	67
Tablo 5.6. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı grafiği.....	68
Tablo 5.7. Rehabilitasyon Öncesi Eksenel Kuvvet (kN)	69
Tablo 5.8. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak eksenel kuvvet değerleri	70
Tablo 5.9. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak basıncı.....	71
Tablo 5.10. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak basıncı değerleri	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

h_o	: Minimum yağ filmi kalınlığı
h_1	: Maksimum yağ filmi kalınlığı
B	: Lokma pedi genişliği
K	: Yakınsama oranı
ΔE_{sistem}	: Sistemdeki enerji değişimi
$E_{akış}$	: İç enerji
h	: entalpi
C_p	: Özgül ısı
ρ	: Yoğunluk
μ	: Dinamik Viskozite
k	: Isı iletim katsayısı
Φ	: Viskoz ısı dağılma fonksiyonu
V	: Çevresel hız
P_m	: Taşıyıcı yatak basıncı
d_m	: Taşıyıcı yatak ortalama çapı
F_a	: Taşıyıcı yatağa etkiyen eksenel kuvvet

Birimler

MW	: Güç
GW	: Güç
kW	: Güç
kV	: Gerilim
kWh	: Elektrik enerjisi
M	: Uzunluk
Km ²	: Alan
m ³	: Hacim
m ³ /s	: Debi
MVA	: Trafo Kapasitesi
d/d	: Devir Sayısı
kVA	: Trafo Kapasitesi
AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım
μm	: Uzunluk
°C	: Santigrat Derece
mm ² /s	: Milimetre Kare Bölü Saniye
VG	: Kinematik Viskozite
Kg/m ³	: Yoğunluk(özkütle)

Lt/dk	: Debi
m ³ /sa	: Debi
MP	: Kuvvet
N	: Kuvvet
N/snm ²	: Güç

Kısaltmalar

HES	: Hidroelektrik Santraller
CFD	: Computational Fluid Dynamics(Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
ANSYS	: Analysis System
DLC	:Diamond Like Carbon(Karbongibi Elmas)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
SCADA Sistemi)	: Supervisory Control and Data Acquisition (Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi)
PTFE	: PolyTetraFluoroEthylene
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı)
SAE	: Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Derneği)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
TÜBİTAK-MAM	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ

21. Yüzyıla girerken, artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi ülkemizin mevcut kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark giderek artmaktadır. Bu durumda mevcut enerji kaynaklarımızdan daha etkin bir şekilde yararlanmak gittikçe önem arz etmektedir. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin biçimde yararlanılması amacıyla enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyacı karşılayacak en uygun yöntemlerin geliştirilmesi faydalı olacaktır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmının karşılanmasında kullanılan geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Bu yöntemlerde kullanılan fosil yakıtların tüketiminin, çevre konusundaki uluslararası protokoller, sözleşmeler aracılığıyla azaltılması için çalışmalar devam etmektedir. Yapılan araştırmalara göre 1-2 asırlık ömrü kalan fosil yakıtlar dinamik süreçte enerji isteminin artması ile tüm dünyada alışlagelmiş enerji kaynaklarının geliştirilmesinin nedenidir. Bütün gelişmiş ülkeler çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya olağanüstü bir önem vermektedir. Bu yönüyle gelecek yüzyıl, diğer tükenmez ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir yüzyıl olma görünümündedir. Bu enerji kaynakları güvenli olup yaygın olarak kullanılabilirler ve ileri teknoloji gerektirmemektedirler. Ayrıca, kullanımları sırasında hiçbir çevre kirliliğine neden olmazlar. Tükenmeyen enerji kaynakları oluşları, dışa bağımlı olmayışları ve işletme masraflarının düşük olması gibi avantajlarının yanında, yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve geniş alanlara ihtiyaç göstermesi gibi dezavantajları da vardır.

HES'ler yenilenebilir enerji kaynaklarından en kadimidir. Binlerce yıldır insanlık suyun gücünden yararlanarak günlük hayattaki enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Örneğin un değirmenlerinde suyun gücünden yararlanılarak buğday öğütülerek un elde edilmiştir. Ülkemizde sudan elektrik üretimi, küçük ölçekteki HES'lerle başlamıştır. Osmanlı İmparatorluğu'nda 1902 yılında Tarsus'ta yapılan 60 kW'lık HES, ülke sınırları içerisinde kurulan ilk HES'tir [1]. HES'ler çevre kirliliğine sebep olmayan enerji üretimi esnasında çok az enerji sarfıyatı yapan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santraller enerji üretirken çok düşük oranlarda enerji sarfıyatı yapmaktadırlar. Bu kaynaklar verimli ve tasarruflu bir şekilde kullanılmalıdır. Bu amaçla ülkemizde kurulu olan eski sistem HES'lerin yeni teknolojiye uygun hâle getirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yeterince enerji üretilmeden akan her damla su ülkemiz için büyük bir kayıptır. Çünkü son yıllarda ülkemizde ve yerküremizde kuraklığın etkisi iyice hissedilmektedir. Ve kurak geçen yıllarda ülkemizde büyük enerji arzı açığı ortaya çıkmaktadır. Çünkü HES'lerde yeterince elektrik üretilmediği için arz-talep dengesinin sağlanabilmesi adına ithal doğalgaz ve ithal kömür gibi dış menşeli malzemelerden üretim yapan santrallerden enerji

ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu durumda bütçeye ciddi yük olup cari açığın artmasına sebep olmaktadır.

Ülkemizde uzun yıllar önce kurulup ekipmanları deformasyona uğrayan, ciddi verim ve güç kayıplarına uğrayan HES'lerin rehabilitasyona ihtiyacı vardır. Bunun yanı sıra eski sistemlerde yeterince kontrol mekanizması ve haberleşme ağı yoktur. Bu sistemlerin modernizasyona ihtiyacı vardır. HES'lerde bulunan ekipmanlardan türbin-generatör yatakları sistem içerisinde en fazla yüke ve deformasyona maruz kalan parçaların başında gelmektedir. Taşıyıcı shaftın dönme hareketi esnasında ünitenin ve ayar kanatlarından çarka giren suyun ağırlığını üzerine alması sebebiyle bu yataklarda yapılacak olan bakım ve rehabilitasyon işlemleri çok hassas bir çalışma gerektirmektedir. Mikron düzeyinde yapılacak olan hataların dahi telafisi çok zordur. Yapılacak olan yenileme çalışması yatağın daha yüksek güç üretimi esnasında daha düşük sıcaklıklarda kalmasını sağlayacaktır. Zira rehabilitasyon çalışmasının amacı üniteyi kurulum gücünün üstüne çıkartmak ya da bu yapılamazsa bile en azından ünitenin ilk kurulum gücünde elektrik üretimi sağlamaktır.

Baş, hidrodinamik kaymalı yataklarda yüzey pürüzlülüğünün yatakların performansına etkilerini incelemiş ve yatak malzemesi aynı olan üç farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip yatakları kullanarak farklı yüklerde ve sıcaklıklarda yüzey pürüzlülüğünün, özellikle sınır ve değişkenlik gösteren sürtünme bölgesinde sıvı sürtünme bölgesinden daha fazla etkin olduğunu belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün artmasının yağ filmini bozduğu, yüzeydeki aşınmayı ve yataktaki güç kaybını arttırdığını tespit etmiştir [2]. Howarth, eksenel taşıyıcı yataklarının geniş uygulama yelpazesini gösteren işletme ve deneysel verilerini sunarak 1911'den bu yana başarılı bir şekilde işletilen tipik tesislerin ayrıntılarını verip bu yatakların geniş uygulamasını dikey ve yatay hidroelektrik türbin generatör ünitelerinde, yatay buhar türbinlerinde, santrifüj pompalarında ve gemi sevk millerinin üzerinde yapmıştır [3]. Tretiak vd., hidrogeneratörlerin taşıyıcı yataklarının temel tasarım versiyonlarını ele alarak yüksek güçlü bir hidrogeneratörün eksenel yatak ünitesindeki acil durumların ana nedenlerini dikkate almışlardır. Taşıyıcı yataklarının çalışması için temel gereksinimler sunularak kusurların ortaya çıkması ve gelişmesiyle ilgili neden-sonuç ilişkileri kurarak sabit bir çalışma modu için klasik formülasyonda bir eksenel yatağın gerilimli durumunu hesaplamak için mevcut yöntemleri kullanmışlardır. Eksenel yatak ünitesi çalışmasının en önemli özellikleri, kaymalı yatakların özelliklerine göre araştırılmıştır [4]. Wasilczuk ve Dabrowski, Polonyada 125 MW'lık bir türbinin eksenel yatağına özel bir aletli ped takarak durumun standart izleme sisteminin kullanımından daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve araştırma ile geliştirme girişimlerine yardımcı olmasını amaçlamışlardır. Bu işlem için pedin sıcaklık dağılımının ölçümünde 16 termokupl ve ped konumu ile yağ filmi kalınlığının değerlendirilmesi için 3 adet yakınlık probu kullanarak hidrostatik kaldırma pompası çalışma süresinin geçici durumlarda rulman performansı üzerindeki etkisine ilişkin araştırma yapmışlardır [5]. Ikram vd., 100 MW'lık Francis türbininin eksenel yatak (taşıyıcı yatak) sıcaklığını tahmin etmek için SPSS

yazılımı kullanarak içinde on beş önemli bağımsız değişkeni birleştiren çoklu regresyon modeli geliştirmişlerdir. Tüm değişkenlerin veri setleri toplanarak bir yıllık bir süre boyunca istatistiksel model formüle edilmiş; önerilen model ise gerçek veri seti ile test edilerek tahmin edilen taşıyıcı yatak modelinin performansını doğrulamak amacıyla sıcaklık değerleri gerçek eksen yatağı sıcaklık değerleriyle karşılaştırmışlardır [6]. Huang vd., Baihetan Elektrik Santrali'nin 1000 MW'lık Francis türbin generatör ünitesinin eksenel yatak (taşıyıcı) modelini ele alıp akışkan-katı bağlantı teorisi ile CFD, ANSYS programı kullanılarak eksenel yatakların yağ filmi özellikleri analiz etmiş ve eğim açıları ile kurulum sapmalarının eksenel yatakların yağ filmi akış performansı üzerindeki etkisini tartışmışlardır [7]. Elsayed K. Elsayed vd. eksenel rulmanların modellenmesinin doğruluğunu arttırmak için, daha önce araştırılmamış olan eğimli yastıklı hidrodinamik eksenel rulmanların birinci ve ikinci dereceden rulman katsayılarını değerlendirip; eksenel yatağın yatak katsayıları üzerinde yanlış hizalamanın, dönme hızının ve ağ boyutunun etkisini araştırmışlardır [8]. Wasilczuk ve Wodtke; karışık sürtünmeli pedlerde geçiş de dâhil olmak üzere belirli çalışma rejiminde akışkan film yataklarının performansını incelemiştir. Testler, farklı tipte dört adet eğilebilir ped yatağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Malzeme bileşimleri; çelik/bronz, DLC/çelik, çelik/polieter eter keton (PEEK) ve çelik/babbittir. Testler yük altında durmayı ve dönme hızını çok düşük seviyelere indirerek Stribeck eğrisinin yeniden üretilmesini içermektedir. Düşük değerler ve karışık sürtünme rejimlerindeki geçiş sırasında sürtünme kuvvetinde meydana gelen değişimleri gözlemlemişlerdir [9]. Bashyal, mekanik ve elektrik elemanlarının sürekli bozulması nedeniyle verimliliği önemli ölçüde azalmış ve tasarlanan üretimden daha az enerji/güç üreten santralin koşullu değerlendirme durumu sonrasında tesis rehabilitasyonuna yönelik olası durumu ve mevcut işletme senaryosunu gösteren performans endekslerinin değerlendirilmesini araştırmıştır [10]. Shkurti, Skavica hidroelektrik santrali ve ilgili yatırım planının yaşam döngüsü analizini sağlayan bir dizi sürdürülebilirlik göstergesini ele alarak büyük bir HES'in inşasına ilişkin genel dış etkenleri belirlemiş ve Skavica HES'in özel durum çalışmasıyla bağlantısını kurmuştur. Ayrıca fayda ve maliyetlerin tahmin edilmesi ve kamuya açık tartışmaları, barajların planlandığı bölgelerde yaşayan insanların meşru sosyal ve çevresel kaygılarını kanıtlamak için incelemiştir [11]. De Araujo ve Ando Junior, bir projedeki müdahale alternatiflerini değerlendirmeye yönelik metodolojiyi kullanarak Marimondo Hidroelektrik Santralinin elektromekanik ekipmanının iyileştirilmesi ve otomasyon sistemleriyle eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilir rehabilitasyon vaka çalışmasını göstermiştir [12]. Zhou J. vd.; günümüz turbo makinelerinin hızlarına ve yüklerine maruz kalan polimer kaplı eksenel rulmanlar ile aynı tasarıma sahip ve benzer koşullar altındaki babbitt kaplı rulmanların gösterdikleri performans durumunu test sonuçlarını sunarak karşılaştırmıştır. Test sonuçları polimer kaplı taşıyıcı yatakların, babbitt kaplamalı taşıyıcı yataklara göre daha yüksek yatak birimi yüklerinde çalışabileceğini göstermektedir [13].

1.1. HES'LERİN ENERJİ ÜRETİMİNDEKİ ÖNEMİ

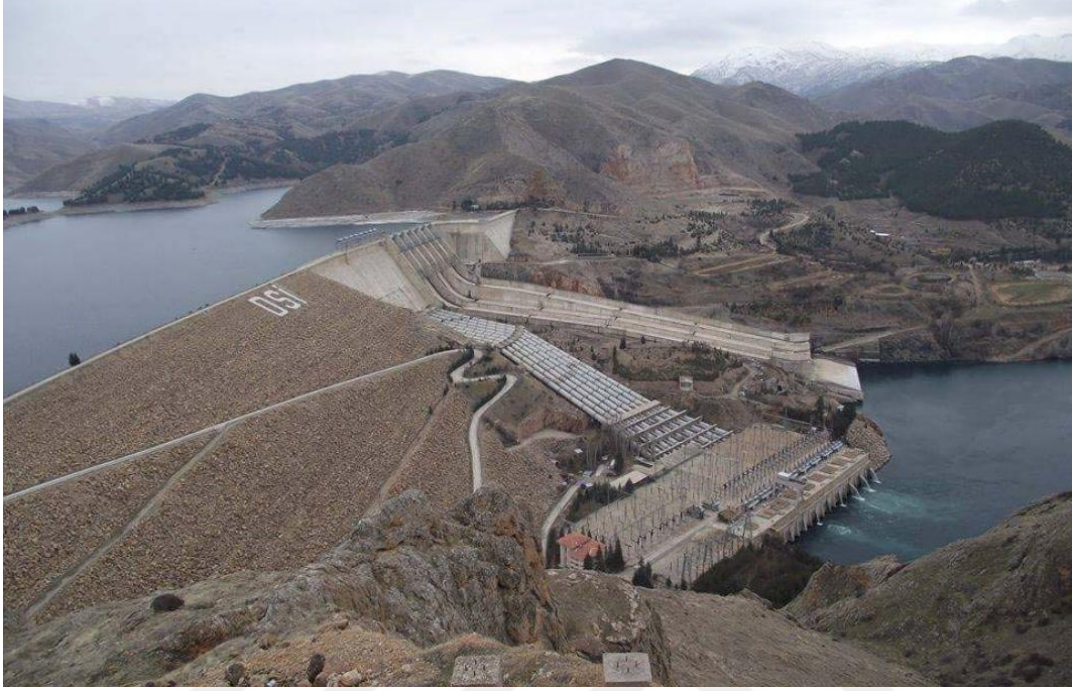
Dünyamızda her geçen gün enerjinin önemi daha da artmaktadır. Eski dönemlerde enerji ihtiyacı genelde fosil yakıtlar üzerinden karşılanmaktaydı. Fosil yakıtlar dışında kullanılan tek yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik enerjiydi. Fosil yakıtların artan tüketimi karşılama konusunda yetersiz kalması üzerine yeni arayışlar içine girildi. Ayrıca fosil yakıtların tüketimi ciddi sera gazının salınımına ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerjinin hidroelektrik enerji dışında çeşitlendirilmesine yönelik çalışmalar başlatıldı. Bu kapsamda güneş, rüzgâr, dalga, jeotermal, biyoenerji vs. gibi enerji çeşitlerine yönelim başladı.

Son yıllarda kurulan santrallerin %86'sını yenilenebilir enerji santralleri oluşturmaktadır. Dünya yenilenebilir enerji kurulu gücü 3.870 GW'a yükseldi. Bu kapasitede en büyük pay 1419 GW ile güneş enerjisine aittir. HES'lerin kurulu güç kapasitesi ise 1268 GW ile ikinci sıradadır [14]. Ülkemizde de son yıllarda fosil kaynakların tükenmeye başlaması ve daha önemlisi ise çevreye verdiği zararların-sera gazları- küresel ısınmaya sebep oluşu nedeniyle yenilebilir enerjiye ciddi yönelim vardır. Gerek devlet, gerekse özel sektör kuruluşları yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumuna ciddi bütçeler ayırmıştır.

Ülkemizde toplam kurulu güç 110.033 MW'a ulaşmış durumdadır. Bu kurulu gücün içinde yenilebilir enerjinin payı 62.883 MW'a yükselmiştir. Bu kurulu güç içinde 32.212 MW'lık pay ile hidroelektrik enerji birinci sıradaki yerini korumaktadır [15]. Ayrıca Enerji Bakanlığı'nın 29 Mayıs 2024 tarihli yaptığı açıklamaya göre ülkemiz yenilenebilir enerjide dünyada on birinci sıraya, Avrupa'da ise beşinci sıraya yükselmiştir [16]. Bu durum göz önünde bulundurularak enerjinin sürdürülebilirliği için gerekli atılımların sürekli yapılarak sadece kurulu güçte değil aynı zamanda üretilen güçte de çok büyük bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklı olması gerekmektedir. Bu durum hem dışa bağımlılığı azaltacaktır hem de daha yaşanabilir bir Türkiye için büyük bir fırsat olacaktır.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti, temel ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak amacıyla ülkedeki enerji kaynaklarından etkin bir şekilde yararlanmak için büyük bir atılım yapmıştır. Bu amaçla devlet ülkenin en büyük su kaynağı olan Fırat Nehri'nin hidrolik potansiyelinden yararlanmaya karar vermiştir. Fırat nehri üzerine kurulu barajların ilki olan "Keban Barajı" ile ilgili çalışmalar 1930'lu yıllara kadar uzanmaktadır. 1965 yılında barajın inşaat çalışmalarına başlanmıştır. Keban HES'te ilk elektrik üretimi 1974 yılında Keban HES'te ilk dört ünitenin devreye alınmasıyla başlanmıştır. Devamında 1982 yılında son 4 ünitenin de devreye alınmasıyla tam teşekküllü enerji üretim başlamıştır. Fırat nehri Hidroelektrik enerji potansiyeli açısından Türkiye'nin en büyük su kaynağıdır, Keban HES ise bu nehir üzerine kurulu olan dev baraj serisinin ilkidir. Keban HES kaskat yapıya sahip olup nehir üzerindeki bütün barajların çalışma koşullarını etkileyecek

yılda ortalama 6,5 milyar kWh enerji üretmektedir [17]. Şekil 1.2.'de Keban Barajı seyir tepesinden memba, baraj gövdesi, dolu savaklar, şalt sahası ve mansapta kuyruk suyunun çıkışı görülmektedir. Sayılan elemanlar HES'lerin en önemli parçalarıdır.



Şekil 1.2. Keban Barajı

1.2. Keban HES'in Genel Özellikleri

Keban HES'te santralin mekanik ve elektriksel olarak genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

1.2.1. Genel Karakteristikleri

Azami ve Asgari işletme kotu:	845 m- 813 m
Kret kotu:	849 m
Mansap kotu:	693 m
Havza uzunluğu:	125 km
Havza alanı:	64,1 km ²
Azami göl alanı:	681.828.000 m ²
Azami göl hacmi:	31.001.589.000 m ³

1.2.2. Hidrolik Karakteristikler

Ortalama debi:	635 m ³ /s
----------------	-----------------------

Azami günlük debi:	6.800 m ³ /s
Asgari günlük debi:	145 m ³ /s
Proje Taşkın debisi:	17.000 m ³ /s

1.2.3. Baraj Karakteristikleri

Baraj tipi:	Merkezi kil ve beton çekirdekli kaya dolgu
Temelden azami yükseklik:	210,86 m
Nehir yatağından azami yükseklik:	167 m
Kaya dolgu kret uzunluğu:	601,38 m
Yapı tipi :	850,2 m
Azami yükseklik:	87,8 m
Kret uzunluğu:	88 m
Kret genişliği:	11 m
Cebri boru sayısı, uzunluğu ve iç çapı:	8 adet / 435 m / 5,2 m
Su giriş kapakları adet ve tipi:	8 adet / Sabit makaralı kapak
Giriş kapakları boyutu:	6,54m*7,07m
Giriş kapakları ağırlığı:	48.000 kg
Dolu savak kapak sayısı ve tipi:	6 adet Radyal kapak
Kapak boyutu:	23,84m*16m
Savak max. boşaltma kapasitesi:	17.000 m ³ /s

1.2.4. Türbin Karakteristikleri

İmalatçı firma:	CREUSSSOT - LOIRE
Türbin tipi:	Düşey milli Francis
Gücü:	249.000 HP
Devir sayısı:	166,7 d/d
Net efektif düşü:	145 m
Asgari düşüdeki debi:	153,3 m ³ /s
Verim:	% 93,18
Çark malzemesi:	A48 M3S Çelik döküm(ASTM A27 Gr 65.35)
Çark eksen kotu:	689,5 m
Deşarj ringi çapı:	4,38 m
Çark kanadı sayısı:	17 adet
Ayar kanadı sayısı ve yüksekliği:	24 adet - 0,955 m
Sabit kanat sayısı:	24 adet

1.2.5. Generatör Karakteristikleri

İmalatçı firma:	AEG-SIEMENS
Generatör gücü:	175 MVA(İlk 4)-201.25 MVA(Son 4)
Nominal gerilim:	14.400 V
Azami akım:	8.069 A
Cos ϕ ve Devir:	0,9 - 166,7 d/d
Frekans:	50 Hz

1.2.6. Generatör Teçhizat Boyut ve Ağırlıkları

Stator dış ve iç çapı:	12.300 mm - 8.250 mm
Rotor çapı:	8.216 mm
Mil çapı:	1.000 mm
Rotor ağırlığı(mil dâhil):	400 ton
Stator ağırlığı:	174 ton

1.2.7. Ana Güç Transformatörlerinin Karakteristikleri

İmalatçı firma:	Jeumont Schneider ve Alsthom Savoisiennne
Tipi:	Açık hava
Gücü:	3 x 60.300 kVA
Gerilim:	14.400 / 380.000 V
Frekans:	50 Hz
Kısa devre gerilimi:	% 10,90
Bağlantı grubu:	DY7

1.2.8. Üretim Değerleri

Günlük ortalama üretim:	17.000 MWh
Aylık ortalama üretim:	510.000 MWh
Yıllık ortalama üretim:	6.200.000 MWh
Suyun enerjiye oranı:	2,85 m ³ /kWh
Santral verimi:	% 93,04 [17]

1.2.9. Türbinler ve Francis Türbinleri:

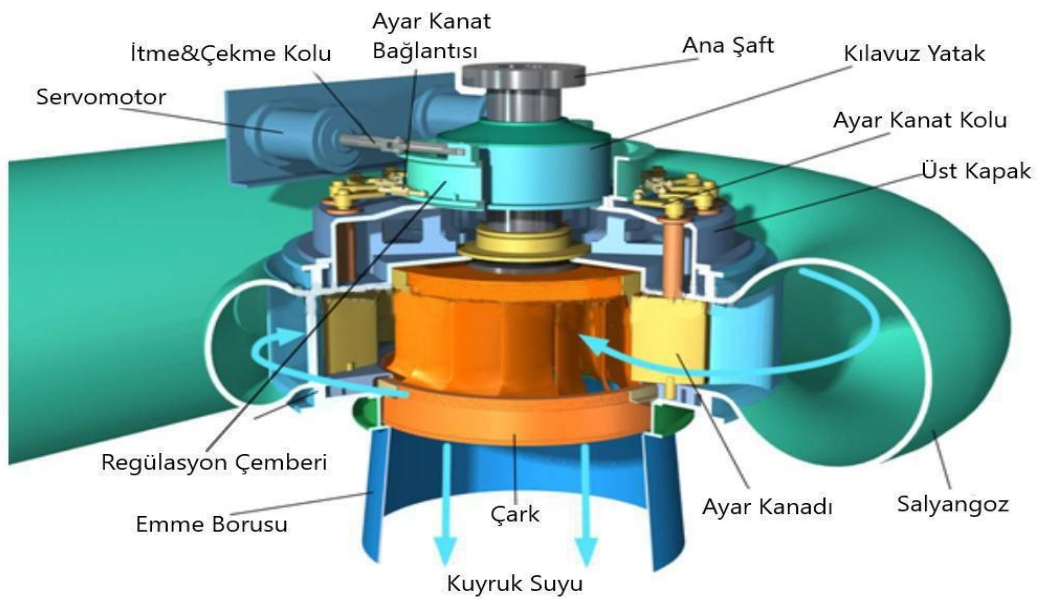
Hidrolik türbinler, suyun hidrolik akım enerjisini devamlı olarak döner çarklar (rotorlar) yardımı ile mekanik enerjiye çeviren döner (dinamik) hidrolik makinelerdir. Hidrolik türbinlerde türbin

rotoru kanatlarının aralıklarından geçirilen suyun basınç enerjisi ile hız enerjisi, dönen türbin rotorunun kanatlarının aralıklarında mekanik enerjiye dönüşürler.

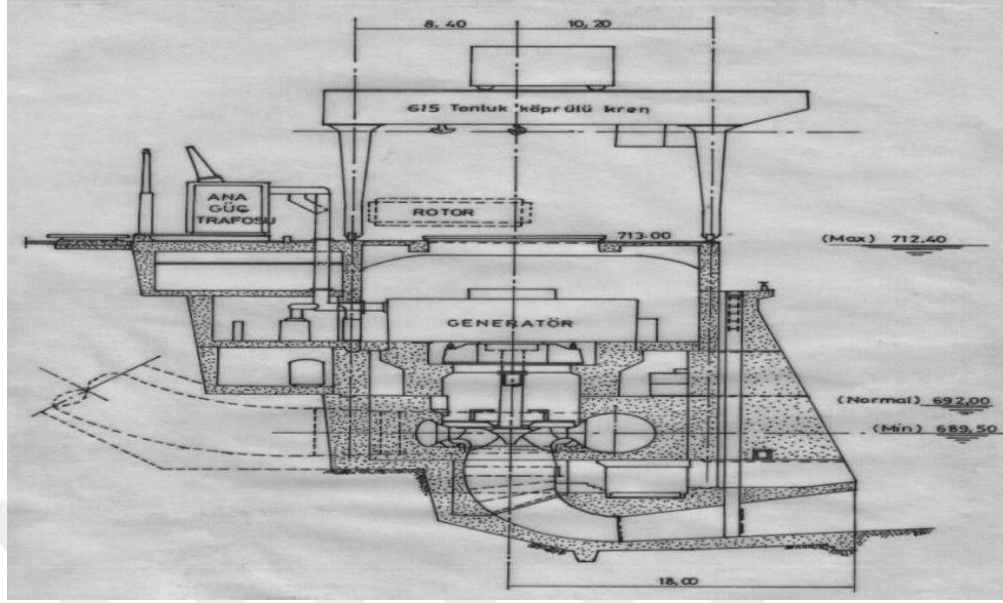
Tahrik suyunun rotor girişindeki basıncına göre hidrolik türbinler ikiye ayrılır. Bunlar üst basınç türbinleri ve serbest püskürtmeli türbinlerdir. Üst basınç türbinleri ise Francis ve Kaplan türbinleridir. Serbest püskürtmeli türbinler ise Pelton ve Michell-Banki türbinleridir. Bu türbinlerden sadece konuyla alakalı olması sebebiyle Francis türbinlerinden bahsedilecektir.

1.2.9.1. Francis Türbinleri:

Bu tip türbinlerde, türbin rotoru kanatlarının aralıklarında suyun giriş basıncında bir düşme meydana gelir ve su basıncında meydana gelen bu düşüş, suyun ivmelenmesine yani hızlanmasına hizmet eder. Francis tipi hidrolik türbinler ilk defa 1838 yılında Amerikalı Howd tarafından keşfedilmiş ve 1848 yılından da yine Amerikalı Francis tarafından geliştirilerek denenmiştir. Francis tipi hidrolik türbinler $H=2$ (m) ile 600 (m) hidrolik düşüler arasındadır. Birkaç kW'tan başlayıp 1000 MW'ı bulan güçlere kadar imal edilmektedirler [18]. Şekil 1.3.'te bir Francis türbini bileşenleriyle beraber gösterilmiştir. Francis türbininde şekil 1.3.'te gösterilen salyangozdan gelen basınçlı su ayar kanatlarının yönlendirmesiyle çarka çarparak türbin rotorunu döndürüp harekete geçirerek mekanik enerji ortaya çıkar. Ortaya çıkan mekanik enerji ise generatör rotorunu döndürerek elektrik enerjisi için gerekli hareketi sağlar. Şekil 1.4.'te ise Keban Barajı'nın santral kısmının enine kesiti tüm detaylarıyla gösterilmiştir. Ayrıca şekil 1.4.'te santralda bulunan her katın rakımı(kot) gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Francis türbini bileşenleri [19]



Şekil 1.4. Keban HES enine kesiti [17]

2. KEBAN HES YENİLEME ÇALIŞMASI

1974 yılında üretime başlayan Keban HES’te zaman içerisinde ekipmanların eskimesi, verimin düşmesi ve birçok arızanın meydana gelmesi gibi sorunlarla karşı karşıya kalınmıştır. Bu sebeplerden dolayı Keban HES’te genel bir yenileme ve rehabilitasyon çalışması yapılmasına ihtiyaç olduğuna karar verilmiştir. Bashyal; zaman içerisinde birçok elektromekanik ekipmanlarının bozulması sebebiyle devamlı arızalanıp verim ve güç değerleri düşen bir santralin olası rehabilitasyon çalışmasıyla artacak olan performansını endekslerle değerlendirerek durumun önemine işaret etmiştir [10]. De Araujo ve Ando Junior ise projelerdeki farklı çözüm yollarını deneyerek Marimondo Hidroelektrik Santralinin elektriksel ve mekanik bileşenlerinin iyileştirilip otomasyon sistemiyle donatılmasını inceleyip rehabilitasyon çalışmasının gerçekleştirilmesini ortaya koymuştur [12]. Bu amaçla 2008 yılında Keban HES’in rehabilitasyonu için ihaleye çıkılmıştır. İhale sürecini Enerji Bakanlığı aracılığıyla EÜAŞ yürütmüştür. Yapılan ihaleyi TEMSAN-RAIN POWER (Norveç Firması) kazanmıştır. TEMSAN-RAIN POWER ortaklığı yapılacak işlerle ilgili geniş kapsamlı birçok raporlar hazırlayarak süreci başlatmıştır. Fakat ihale sürecindeki uyumsuzluklar sebebiyle ihale iptal edilmiştir.

Son olarak yurtdışı firmalarıyla yapılan uzun ihale süreçlerinden sonra iki devlet kurumu olan EÜAŞ ile TÜBİTAK-MAM EE arasında 2017 yılında Keban HES’in 8 ünitesinin rehabilite edilmesi konusunda anlaşmaya varılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak anlaşma yapılırken Keban HES’te hız regülatörü, ikaz sistemi, koruma sistemi SCADA, şalt sistemi ve ünite güç trafosu, iç ihtiyaç sistemi ile seviye ve debi ölçüm sistemi, yatak yağlama sistemi, soğutma sistemi, vibrasyon ölçüm sistemi, drenaj sistemi, trafo yangın söndürme sistemi gibi yardımcı sistemler tümüyle yerli mühendislik ile güncel teknoloji kullanılarak yenilenmesine karar verilmiştir. TÜBİTAK-MAM çoğunlukla ülke içinde uluslararası arenada bilinirliği olan yerli firmalarla çalışarak rehabilitasyon sürecini başlatmıştır.

2.1.1. Rehabilitasyon programının genel amaçları

1. Tesisin performans ve güvenilirliğinin geliştirilip Şebeke Yönetmeliği ve ENTSO-E kuralları ile frekans ve gerilim regülasyon uygunluğu sağlanmıştır. Elektrik piyasasının değişen ve gelişen koşullarına karşın Keban HES’in sistemleri hala eski yönetmeliklere göre çalışmaktadır. Bu sebeple şebekenin ihtiyacına uygun olmayan hallerden dolayı

sürekli ceza yemekteydi. Yapılacak yenileme çalışmasıyla sistem gelişen teknolojiye uygun hale getirilip sistemin ceza yemekten kurtulması sağlanmıştır.

2. 8 ünitenin gerilim regülasyon teçhizatı statik uyarma teçhizatı ile değiştirilmiştir. Keban HES'teki ilk 4 üniteye mevcut olan dinamik ikaz sistemi statik ikaz sistemine dönüştürülmüştür. Şekil 2.1. dinamik ikazlı generatörü göstermektedir. Dinamik ikaz sisteminin bakım maliyetinin yüksek olması, teçhizatın zamanla yıpranması sebebiyle ikaz setinde dinamik ikaz yerine statik ikaz sistemi kurulmuştur. Keban HES'teki son 4 ünitenin ise statik ikaz sistemleri yeni teknolojiye uygun hale getirilmiştir. Şekil 2.2'de dinamik ikazı statik ikaza dönüştürülen generatör bloğu gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İkaz setinin eski hali



Şekil 2.2. İkaz setinin yeni hali

3. Hidrolik hız regülatörleri ve frekans regülasyon teçhizatı değiştirilmiştir. Eski sistem mekanik hız regülatörlerinin elektronik sistemli hız regülatörlerle yenilenip SCADA yardımıyla kontrolü sağlanmıştır. Şekil 2.3.'te eski hız regülatörü governor ünitesi, yağ tankı ve hava tankıyla birlikte gösterilmiştir. Şekil 2.4.'te ise yeni hız regülatörü governor ünitesi, elektronik hız regülatörü panosu, yağ tankı ve hava tankıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Eski Hız Regülatörü



Şekil 2.4. Yeni Hız Regülatörü

4. Santralin tamamına yeni kontrol (SCADA) ve koruma sistemi kurulmuştur. Ünite yerel kontrol panosunda yer alan kontrolcü, santralin kontrolü için oluşturulan kontrol yazılımının çalıştırılacağı bölümdür. Bu birim ile ilgili üniteye ait bilgiler toplanmakta, komut veya ayar değerler üniteye ilgili ekipmana gönderilmektedir. Kontrol odasında yer alan SCADA ekranlarına alternatif olarak ünite yerel kontrol panosu üzerinde bulunan dokunmatik panel kullanılarak ünite ile ilgili kontrol ve gözlem faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2.5.'te SCADA sisteminin en önemli bileşenlerinden rölelerin koruma sistemleri, ekipmanların kontrol panoları ve senkronizasyon panoları gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Senkronizasyon, kontrol ve koruma panoları

5. AA ve DA iç ihtiyaç sisteminin yenilenip iyileştirilerek mevcutta bulunan teçhizatlara adaptasyonu sağlanmıştır. Sistemde kullanılan elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla iç ihtiyaç trafoları kullanılmaktadır. Mevcutta bulunan iç ihtiyaç trafoları yağlı trafoları yeni sistem kuru tip reçineli trafo sistemleriyle yenilenmiştir. Şekil 2.6.'da solda eski iç ihtiyaç trafoları, sağda ise yeni iç ihtiyaç trafoları gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Eski ve yeni iç ihtiyaç trafoları

6. Şalt sahasında aşınan, fonksiyonları yetersiz olan teçhizatlar ve şalt sahası kontrol sisteminin değiştirilmiştir. Şalt sahasında bulunan ana güç trafolarının sinyalleri kontrol

panolarına taşınmıştır. Yarı pantograf olan ayırıcılar tam pantograf ayırıcılar ile yenilenmiştir. Gerilim ve akım trafoları yenilendi. Şekil 2.7.'de yenilenen tam pantograf ayırıcı gösterilmiştir. Şekil 2.8.'de yenilenen ve ağırlıkları azaltılıp teknolojik hale getirilen akım ile gerilim trafoları gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tam pantograf ayırıcı



Şekil 2.8. Akım ve gerilim trafoları

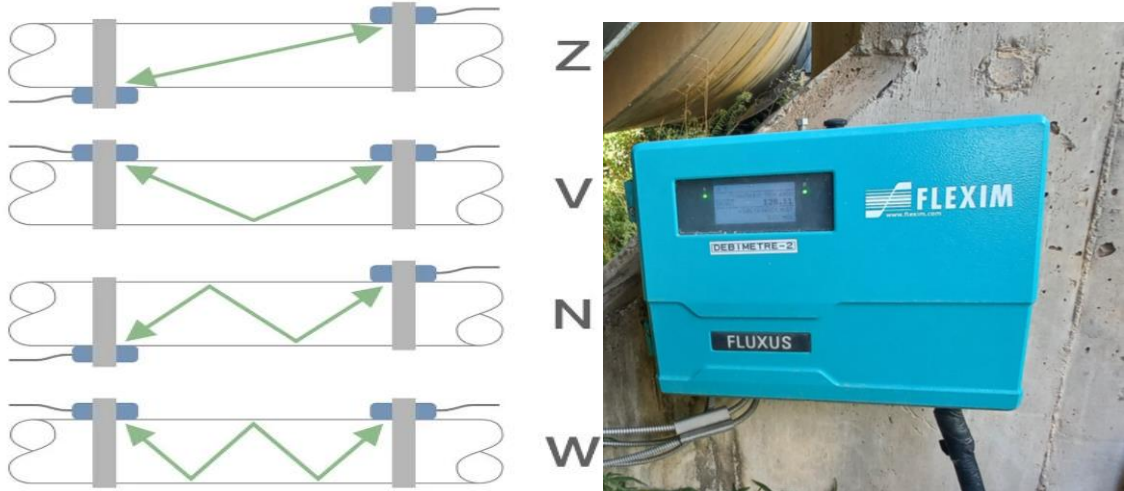
7. Yardımcı sistemlerde ihtiyaç duyulan yenilemelerden vibrasyon ölçüm sistemi, debi ve seviye ölçüm sistemi, drenaj sistemi ve trafo yangın sistemi yenilenmiştir. Bunlardan vibrasyon ölçüm sistemi kurularak anlık olarak shaftın mutlak pozisyonu, mutlak titreşim, izafi titreşim, kavitasyon ve sargılarda hava aralığının takibi yapılacaktır. Kestirimci bakım yöntemiyle vibrasyonun izlenmesi, yataklar hakkında önceden meydana gelebilecek arızaların tespitini sağlayıp sisteme önceden müdahale edilebilecek hale getirecektir. Ayrıca hava aralığının izlenmesi, generatörde erken arıza teşhisi açısından önem arz etmektedir. Bu sensör ile tespit edilmesi beklenen arızalar ise şöyledir: Kutupların konumlarında değişim, yatak ayarında meydana gelen bozulmalar, rotor çemberindeki gevşeklik, rotor çemberindeki deformasyon, rotor dönme merkezindeki kaçıklık, stator çekirdeği ve çerçevesinin ayrışması gibi durumlar önceden tahmin edilebilecektir. SCADA sistemiyle vibrasyon sistemi arasında haberleşme ağı kurularak örneğin izafi ya da mutlak titreşimlerde normal olmayan yükselmeler olması durumunda sistemde hasar oluşmasını engellemek amacıyla öncelikle alarm uyarısı, değerin darbe bırakacak duruma yaklaşması halinde ise trip komutu verilerek üniteye durdurma verilecektir. Şekil 2.9.'da vibrasyon sisteminin kontrol ve kumanda ekranı gösterilmiştir.

TUM OKULCULAR		ÜNİTE 1	ÜNİTE 2	ÜNİTE 3	ÜNİTE 4	ÜNİTE 5	ÜNİTE 6	ÜNİTE 7	ÜNİTE 8
Debi Hızı	167 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm	0 rpm
Elektro Potansiyel	557.4 µm	527.8 µm	512.1 µm	512.5 µm	496.6 µm	537.7 µm	587.2 µm	1.824 µm	1.824 µm
Elektro Potansiyel	527.3 µm pp	16.73 µm pp	5.357 µm pp	0.721 µm pp	5.441 µm pp	5.821 µm pp	5.842 µm pp	5.172 µm pp	5.172 µm pp
İzali Titrasyon	78.92 µm Max pp	3.555 µm Max pp	4.187 µm Max pp	4.687 µm Max pp	5.671 µm Max pp	2.512 µm Max pp	3.631 µm Max pp	3.289 µm Max pp	3.289 µm Max pp
KOMBİNE YATAK									
Mutlak Titreşim	0.259 mm/s rms	0.165 mm/s rms	0.095 mm/s rms	0.185 mm/s rms	0.045 mm/s rms	0.047 mm/s rms	0.142 mm/s rms	0.055 mm/s rms	0.055 mm/s rms
Mutlak Titreşim	0.257 mm/s rms	0.111 mm/s rms	0.115 mm/s rms	0.592 mm/s rms	0.637 mm/s rms	0.855 mm/s rms	0.135 mm/s rms	0.129 mm/s rms	0.129 mm/s rms
İzali Titreşim	142.6 µm Max pp	8.525 µm Max pp	4.040 µm Max pp	7.373 µm Max pp	23.85 µm Max pp	9.935 µm Max pp	10.53 µm Max pp	28.47 µm Max pp	28.47 µm Max pp
TÜRBİN KILAVUZ YATAĞI									
Mutlak Titreşim	0.450 mm/s rms	0.174 mm/s rms	0.196 mm/s rms	0.295 mm/s rms	0.040 mm/s rms	0.095 mm/s rms	0.292 mm/s rms	0.114 mm/s rms	0.114 mm/s rms
Mutlak Titreşim	0.349 mm/s rms	0.119 mm/s rms	0.237 mm/s rms	0.509 mm/s rms	0.038 mm/s rms	0.083 mm/s rms	0.223 mm/s rms	0.072 mm/s rms	0.072 mm/s rms
Kavitasyon	1.915 g pk	1.789 g pk	2.145 g pk	2.118 g pk	1.898 g pk	1.859 g pk	1.776 g pk	1.550 g pk	1.550 g pk
HAVA ARALIĞI (Ortalama değerler)									
#1	46.97 mm	47.50 mm	51.03 mm	49.74 mm	47.68 mm	59.35 mm			
#2	47.59 mm	47.14 mm	51.27 mm	44.69 mm	51.28 mm	59.79 mm	Sensörler Bağlı Değil	Sensörler Bağlı Değil	
#3	46.85 mm	50.01 mm	51.35 mm	42.23 mm	50.93 mm	51.59 mm			
#4	47.82 mm	43.65 mm	51.11 mm	43.71 mm	43.13 mm	54.34 mm			
SARGI UCU TİTREŞİMLERİ									
#1	0.124 g rms	0.069 g rms	0.012 g rms	0.031 g rms	0.012 g rms	0.015 g rms	Sensörler Bağlı Değil	Sensörler Bağlı Değil	
#2	0.305 g rms	0.022 g rms	0.014 g rms	0.064 g rms	0.010 g rms	0.023 g rms			
#3	0.584 g rms	0.082 g rms	0.013 g rms	0.018 g rms	0.011 g rms	0.018 g rms			

Şekil 2.9. Vibrasyon ölçüm sistemi kumanda ekranı

Cebri borulara debi ölçüm sistemi yapılarak anlık olarak verim değerleri hesaplanmıştır. Cebri borularda debi ölçümü ultrasonik sensörler yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 2.10.'da debimetre çeşitlerinin yerleşimi ve debimetre ölçüm cihazı gösterilmiştir. Bu debimetreler cebri boruya herhangi bir giriş olmadan ölçüm yapabilmektedir.

Debimetre ölçüm metotları 4 çeşittir. Z, V, N ve W metotlarıdır. Z tipi debimetreler genellikle 300 mm'den büyük boru çapları için kullanılır, diğer tipler ise hidrolik santral cebri borularına uygun değildir. Z tipi debimetrelerde ultrasonik sinyal yansımaz, bu sayede daha güçlü bir mukavemete sahiptir. Bu yöntem zayıf ve bozuk sinyalleri önler. [20] Şekil 2.11.'de Z tipi debimetreler cebri boruya montajlı, ölçüm cihazı duvara sabitlenmiş halde gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Debimetre Çeşitleri [20] ve Debimetre Ölçüm Cihazı



Şekil 2.11. Debimetre montajlı cebri boru

Santralde 1970’li yıllardan kalma kullanılan drenaj sistemi yenilenmiştir. Kelebek vananın olmayışı sebebiyle cebri boru su alma ağız kapaklarında, ayar kanatlarında, türbin çukurlarında ve karbon salmastra filtrelerinde yüksek miktarlarda su kaçağının olması sürekli derin kuyudaki su seviyesini yükseltmektedir. Yapılan bakımlar esnasında derin kuyuda seviye çok yükselmektedir. Bu sebeple drenaj pompaları çok fazla devreye girip çıkmaktadır. Mevcut pompalar teknolojiye uygun daha yüksek debili pompalarla değiştirilmeye başlanıp santral emniyete alınmıştır. Şekil 2.12.’de 1 ve 4 numaralı pompalar yenilenmiş derin kuyu pompalarını, 2 ve 3 numaralı pompalar ise yakın zamanda yenilenecek olan eski derin kuyu pompalarını göstermektedir. Büyük pompalar seviye sensörlerinin ölçümüyle devreye girerken, küçük pompalar zaman ayarlı olarak devreye girip drenaj kuyusunda biriken suyu mansaba göndermektedir.



Şekil 2.12. Drenaj sistemi eski ve yeni pompalar

Trafoalarda yangın söndürme sistemleri için yangın odaları kurularak SCADA yardımıyla sistemin kontrolü sağlanıp ani durumlarda sistemin devreye girip su püskürtme görevini yerine getirmesi sağlanacaktır. Ayrıca yenilenen yangın pompaları anlık olarak devreye girmeden sistemdeki kayıp basıncı tamamlamak amacıyla sisteme bir adet jokey pompa ilavesi yapılmıştır. Şekil 2.13.'te yenilenen yangın pompaları gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Yeni yangın pompaları ve jokey pompa

Soğutma sisteminin komple yenilenip ve sisteme soğutucu fancoil ilavesi yapılmıştır. Soğutma sisteminde kullanılan borular 1970'li yıllardan beri vardır. Bu sebeple sızdırmazlık özelliğinin yitirmeye başlanması, korozyonlar ve paslanma gibi sorunlar ile karşı karşıyadır. Bu sebeple eski sistem ekipmanları sökülüp yerine yeni galvanizli borular ilave edilmiştir. Ayrıca sisteme aktüatörlü otomatik valf ilavesi yapılarak SCADA sistemi üzerinden açma kapama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.14.'te soğutma sistemi borularının yenilenme işlemi gösterilmiştir. Fancoiller(radyatör mantığıyla çalışan soğutma sistemi) yardımıyla sistemde dolaştırılan su ısınan iç ihtiyaç ve ikaz trafo ile panoları soğutulmuştur. Şekil 2.15.'te fancoillerin trafoları soğutma işlemi gösterilmiştir.



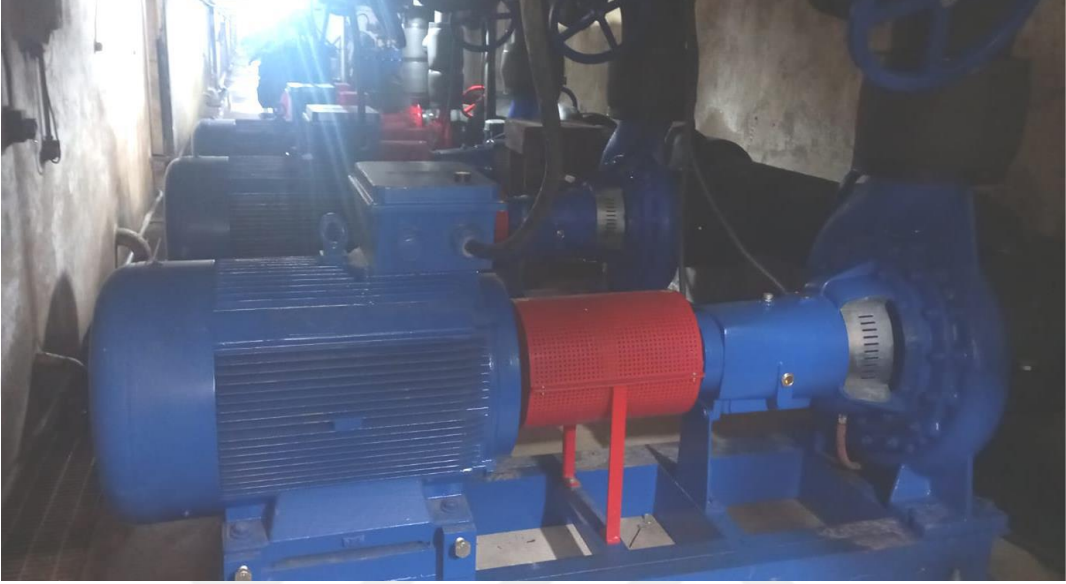
Şekil 2.14. Soğutma suyu sistemi demontaj ve montaj hali



Şekil 2.15. Fancoil sistemiyle trafoların soğutulması işlemi

Santral soğutma sisteminin ihtiyacı olan su mansaptan karşılanmaktadır. Mansaptan gelen su önce filtrelenir ve ardından filtrelenmiş su soğutma suyu pompaları yardımıyla santrale gönderilmektedir. Oldukça eskiyip santralin ihtiyacını karşılamakta zorlanan bu sistem yenilenerek daha hassas filtreler ve daha güçlü pompalar sisteme ilave edilmiştir. Hem daha güçlü hem de daha verimli pompalar sisteme ilave edilerek santral hem daha çevreci hem de daha güvenli hale getirildi. Bu

yenileme durumu taşıyıcı yatağın ve sargıların daha iyi soğutulmasını sağlayacaktır. Şekil 2.16.'da soğutma suyu sistemi yenilenmiş haliyle gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Yeni soğutma sistemi pompaları

1 üniteye ait ana güç transformatörlerinin yenilenmiştir. 50 yıla yakındır istikrarlı bir şekilde enerji üretimine devam eden Keban HES'in ana güç trafoları eski üretim gücünü kaybetmiştir. İstenen güçte üretim yapamayıp ısınma problemleri yaşamaktadır. Sargılarda, sac nüvede ve buchholz rölesinde ciddi sorunlar kısa devreler vb. meydana gelmektedir. Ayrıca ana güç trafosunda yüksek miktarda bulunan trafo yağında asetlen ve hidrojen gazları gibi yanıcı gazlar oluşmaya başlamaktadır. Bu gazlar ilerleyen süreçte yanıcı özelliği sebebiyle trafonun patlamasına can kayıplarına veya yaralanmalara sebep olabilecektir. Bu sebeple sistemlerin yeni ana güç trafosuyla değiştirilmesi gerekmektedir. Eski ana güç trafoları 3 fazdan oluşup her bir faz 60 MVA'dır. Fakat yeni montajı yapılan trafoların her biri 70 MVA'dır. Geriye kalan 21 adet ünitenin ana güç trafoları ile 2 adet yedek ana güç trafosunun ihalesi EÜAŞ tarafından yapılarak en kısa zamanda değişimine başlanacaktır. Değişimi yapılacak ana güç trafoları yerli ve milli sermaye üretimi ile olacaktır. Bu değişimle birlikte üniteler rehabilitasyondaki iyileşmelerin sonucunda ihtiyaç duyulan daha yüksek güç üretimi sağlanırken ısınma problemine maruz kalmayarak ülke ekonomisine ciddi bir katkı sağlayacaktır. Şekil 2.17.'de santralin kurulumundan beri aktif olarak çalışan eski ana güç trafoları gösterilmektedir. Şekil 2.18.'de ise yeni sistem ve yerli üretim daha yüksek elektrik üretimi sağlayan ana güç trafoları gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Eski ana güç trafoları



Şekil 2.18. Yeni ana güç trafoları

Taşıyıcı yatak ve kılavuz yatakların bakım onarımı duruma göre yenilenmesi işlemi: Hidroelektrik santrallerde dönen parçalara dönme işlemi esnasında 2 adet kılavuzluk yapan yataklama sistemi, dönme işleminde dönen parçaların ve türbin çarkına giren suyun taşıma işlemini yerine getirip sistemi yüklenen 1 adet taşıyıcı yatak sistemi vardır. Düşey Francis türbinlerinde taşıyıcı yatak ve generatör kılavuz yatak bölgesi kombine bulunmaktadır. Bu yataklardan taşıyıcı yatak bölgesi eksenel yüke maruz kalması sebebiyle aşırı yükten dolayı aşınmaya maruz kalmaktadır.

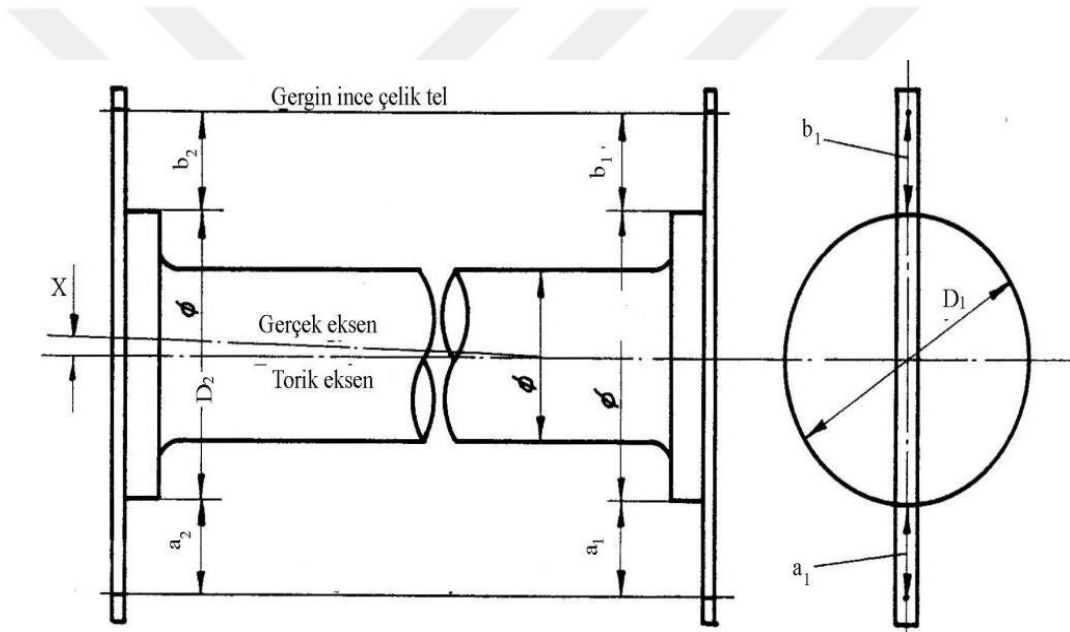
Kılavuz yataklar ise radyal yüklere maruz kalması sebebiyle pek aşınmayıp daha uzun ömürlü olurlar. Keban HES 50 yılı aşkın süredir üretime devam ettiği için bu yataklarda büyük çaplı bakım-onarım çalışmaları yapılması gerekmektedir. Hatta duruma göre lokmanın beyaz metal yüzeyinde kaplamanın yenilenmesine ya da lokmanın tamamen yenilenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yataklarda yapılan en önemli işlemlerden biri de yatak bakımının ardından şaftın diklik durumunun tespittir. Şaftın diklik durumunun tespiti ve ardından yapılması gereken işlemler tablo 2.1.'de detaylı olarak anlatılmıştır. Şekil 2.19.'da diklik işlemi esnasında kullanılan şimler gösterilmiştir. Şekil 2.20.'de teorik olarak şaft ekseninin kaçıklığının kontrolü gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Şaft Diklik Ayarı Esnasında Yapılması Gereken İşlemler

Yatak Diklik Ayarı 1. Yöntem	Yatak Diklik Ayarı 2. Yöntem
1. Şaft diklik ayarı yapılırken taşıyıcı yatak montajı tamamlandıktan sonra generatör ve türbin kılavuz üst kapağı açılır.	1. Şaft diklik ayarı yapılırken taşıyıcı yatak montajı tamamlandıktan sonra generatör ve türbin kılavuz üst kapağı açılır.
2. Generatör kılavuz yatakta üst aynanın üzerine hassas kare su terazisi konularak şaftın diklik durumu kontrol edilerek herhangi bir eksene doğru bulunan yatık olma durumu belirlenir.	2. Generatör kılavuz yatakta üst aynanın üzerine hassas kare su terazisi konularak şaftın diklik durumu kontrol edilerek herhangi bir eksene doğru bulunan yatık olma durumu belirlenir.
3. Yatıklık eksenine taşıyıcı yatak alt ringi sökülmüşken segmanların arasına yatıklık ölçüsüne göre şim atılarak diklik ayarı yapılır.	3. Türbin-generatör şaftı kılavuz yataklardan serbest bırakılarak yapılacak müdahaleler için müsait hale getirilir.
4. Yatık olma değeri 0,2 mm kabul edersek; üç önceki segmana 0,05 mm, iki öncekine 0,1 mm, bir öncekine 0,15 mm ve esas segmana 0,2 mmlik şim eklenir.	4. Kriko şafta birleştirilerek yatık ekseninde şafta baskı uygulanarak diklik ayarı yapılabilir.
5. Sonrasında ise esas segmandan bir sonrakine 0,15 mm, iki sonrakine 0,1 mm ve üç sonrakine 0,05 mmlik şim eklenir.	



Şekil 2.19. Diklik ayarı için şım malzemesi [21]



Şekil 2.20. İki ucunda flanş bulunan şaftta iki flanşın orta eksenindeki kaçıklığı veya bozulma kontrolü [18]

8. Taşıyıcı yatak, yağlama ve soğutma sistemi elemanlarının yenilenmesi ve generatör sargı soğutma sisteminin yenilenmesi: Taşıyıcı yatak ve generatör kılavuz yatağın birlikte çalıştığı kombine yatak bölgesinde akışkan olarak kullanılan yağın ünite devreye girmeden önce mekanik ekipmanların sürtünme sebebiyle aşınmasını engellemek amacıyla sistemin basınçlandırılması gerekmektedir. Sistemdeki yağı basınçlandıran taşıyıcı yatak pompaları 2 adettir. Bu sistem 380V 3 fazlı AA pompa ve 110V DA pompadan meydana gelmekteydi. Yeni sistemde ise gücü aynı fakat motoru daha verimli debisi daha yüksek olan aynı zamanda ikisi de 380V 3 fazlı AA pompalar montajlandı. Yeni sistemin tüm iç ihtiyaç beslemesi TÜBİTAK tarafından AA'ya çevrildiği için pompalar da AA beslemeye uygun temin edilmiştir.

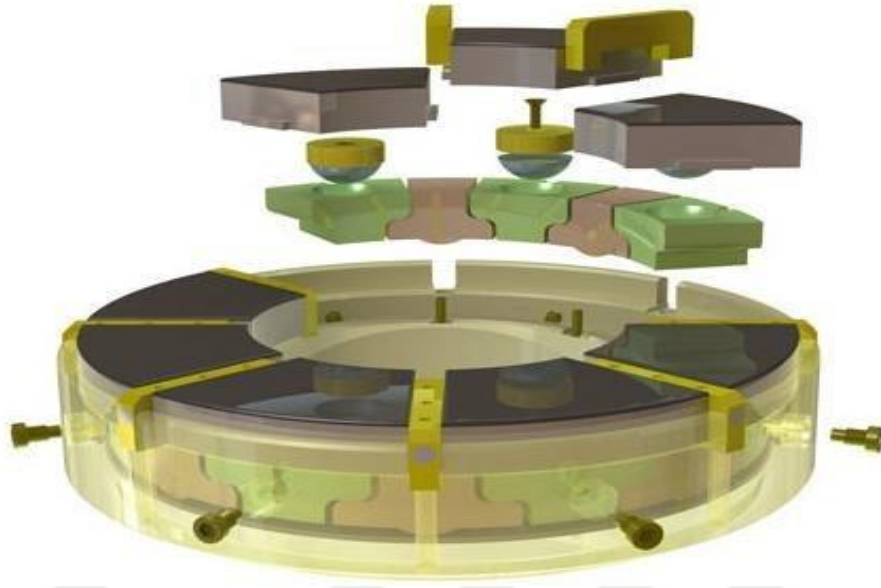
3. HİDRODİNAMİK YAĞLAMALI TAŞIYICI YATAKLAR

Hidrolik türbin-generator ünitesinde çark rotoru kanatları üzerine etkiyen aksel hidrolik yük (aksel itme yükü) ile çark rotoru dönmesi esnasında boşluklardan kaçan su, çark rotorunun üstündeki yüzeyi etkiler. Bu işlem esnasında oluşan hidrolik yükün yataklar tarafından karşılanması gerekir. Bu taşıma işlemini yapan yatağa “taşıyıcı yatak” denir. Taşıyıcı yatak pedleri, hidrolik türbin-generator sistemleri içerisinde en önemli parçalardan biridir. Hidrolik türbin-generator sistemlerinde 3 ya da 4 adet yataklama sistemi mevcuttur. Bu yataklama sistemleri; alttan üste türbin kılavuz yatak, taşıyıcı yatak, generator kılavuz yatak ve bazı sistemlerde ise fazladan ikaz yatağı vardır. Taşıyıcı yatak sistemi aksel yüke maruz kalmaktadır, diğer yataklar ise radyal yüke maruz kalmaktadır. Keban HES’te ikaz yatağı yoktur fakat ikaz yatağı olan sistemler daha düşük vibrasyonda çalışıp, daha az ısınma işlemine maruz kalmaktadır. Hidrolik santrallerde kullanılan bazı yaygın taşıyıcı yatak türleri şöyle sınıflandırılır:

3.1. Hidrodinamik Yağlamalı Yatakların Genel Özellikleri

3.1.1. Bilyalı ve Soketli Taşıyıcı Yataklar

Bilyalı rulmanlar, yüksek hızda dönen parçaların olduğu uygulamalar için idealdir ve hidrolik santrallerde türbinlerin ve diğer dönen teçhizatların rulman desteği için genellikle kullanılır. Bilyalı ve soketli taşıyıcı yataklar, tipik olarak eğimli ped yataklarda bulunan pivot aşınmasını ve temas kaynaklı gerilimleri azaltır. Bilya ve soket milinin tam yüzey teması, gerilimleri azaltırken ihtiyaç duyulan sertliği ve yanlış hizalamayı engellemeyi sağlar. Bilyalı ve soketli aksel taşıyıcı pedler, aksel taşıyıcı hat boyunca eşit yükleme sağlayan, kendi kendini dengeleyen bir tasarımın parçasıdır. Yönlendirilmiş yağlama ile yağ, nozul blokları aracılığıyla her bir yastığın ön kenarından sağlanır ve özellikle yüksek hızlarda yağ akışını, güç kaybını ve yatak yüzey sıcaklıklarını azaltır. Bilya ve soket malzemesi uygulama ihtiyaçlarına bağlıdır. Çelik ve babbitt, bakır ile babbitt veya polimer yüzeyleri içerebilir. Tipik kullanım alanları şunlardır: Entegre dişli/süreç kompresörlerinde, pompalarda, motorlarda, türbinlerde, genişleticilerde ve şanzımanlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.1.’de bilyalı ve soketli taşıyıcı yatak hem montajlı hem de demontajlı olarak tüm bileşenleriyle gösterilmektedir. [22]



Şekil 3.1. Bilyalı ve soketli taşıyıcı yatak [22]

3.1.2. Kayar (kaymalı) Yataklar

Kayar yataklar, hidrolik türbinlerin ve diğer büyük teçhizatların bileşenlerinde kullanılır. Bu yataklar genellikle ağır yükler altında düşük sürtünme kuvvetiyle çalışırlar. Kaymalı yataklara örnek olarak eksenel taşıyıcı yataklar ve radyal kılavuz yataklar gösterilebilir. Eksenel taşıyıcı yataklar; türbin ve generatörün yatay ya da düşey yönlü eksenel yüklerini taşımak için kullanılırlar. Rotorun, şaftın vb. teçhizatın eksenel yüklerini desteklemek için kullanılabilirler. Bu yatak sistemleri enerji santrallerinin performansını iyileştirip ömrünü uzatma konusunda önemli etkiye sahiptir.

3.2. Metal Kaplamasına Göre Taşıyıcı Yataklar

Hidrolik santrallerde kullanılan taşıyıcı yataklarda esas kısmı oluşturan gövde malzemeleri beyaz metal kaplamalarına göre birçok sınıfa ayrılır:

3.2.1. Babbitt Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar

Babbitt metal düşük erime noktalı yumuşak fazlı ve sert parçacık fazlı alaşımlı kalay, kurşun, antimon, bakırın karışımıdır. Amerikalı metalürji mühendisi Babbitt tarafından icat edildiği için bu adı almıştır. Babbitt alaşımı genellikle döküm, püskürtme veya kaplama yöntemleri ile elde edilirken yaklaşık yoğunluğu 7,38 kg/m³'dir. Kimyasal elementlerine göre kalay bazlı babbitt alaşımı ile kurşun ve kadmiyum bazlı babbitt alaşımı olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Çoğu Babbitt alaşımı kaymalı yatakları üretmek için kullanılır. Kayar yataklar, yüksek hızlarda çalışan ağır yüklerdeki şafta güçlü bir şekilde temas eder, bu da babbitt alaşım yapısının yumuşak matris sert noktalarına sahip olmasını

gerektirir. Yumuşak faz matrisine sahip olmak, alaşıma çok iyi gömülebilme, uyumluluk ve ısırmaları önleme özelliğine sahip olmasını sağlar. Birbirine alıştırma yapıldıktan sonra, yumuşak matrisin yapısı içte içbükey ve sert noktanın bulunduğu kısım da dışbükeydir, böylece kaygan yüzeyler arasında, yağlama yağının depolanmasına yardımcı olup sürtünmeyi azaltan küçük bir boşluk oluşur. Dışbükey üzerinde bulunan sert nokta desteklenir, bu da rulman için faydalıdır [24]. Kalay Babbitt alaşımları %3 ile %15 arasında antimon, %2 ile %6 arasında bakır ve kadmiyum oranı ise %1'den az olan kalay bazlı alaşımlardır. Kalay taşıyan alaşımların yumuşak faz matrisi kalayın içinde antimon barındıran katı bir çözeltidir ve sert noktalarda SnSb ve Cu₃Sn gibi metal bileşikler bulunur [24]. Kalay bazlı babbitt alaşımının avantajları iyi bir esneklik ve termal iletkenliğe sahip olması, küçük sürtünme katsayısı ve genişleme katsayısına sahip olmasıdır ancak dezavantajları ise düşük yorulma mukavemeti ve düşük çalışma sıcaklığı sunar, özellikle yüksek güçlü yüksek hızlı buhar motoru, buhar türbini gibi büyük makine rulmanlarını ve takım tezgâhı mil yatağı gibi elemanları dökmek için kullanılır. Kalay alaşımı, kurşun alaşımından daha yüksek mukavemet ve sertlik oranına, daha iyi korozyon direncine sahiptir, bu nedenle endüstriyel uygulamalarda daha popülerdir. Yaygın olarak kullanılan markaları SnSb11Cu6, SnSb8Cu4, SnSb8Cu8vb'dir [23]. Şekil 3.2.'de babbitt kaplamalı taşıyıcı yatak alt ringe montajlı vaziyette gösterilmektedir. Keban HES'te kullanılan babbitt metalin yüzeyinde bulunan beyaz metal özellikleri tablo 3.1.'de bahsedilmiştir.



Şekil 3.2. Babbitt kaplamalı taşıyıcı yatak lokma pedi [24]

Tablo 3.1. Keban HES taşıyıcı yatak babbitt beyaz metal özellikleri [18]

Kimyasal İçeriği	Mekanik Özellikleri	
Kurşun (Pb) : %0,06	Sertlik Değeri (20, 50 ve 100°C'de)	35, 27.9, ve 17.3 HBr
Kalay (Sn) : %80,5	Yumuşama Sıcaklığı	235°C
Kadmiyum (Cd): %1,2	Optimum Dökülebilme Sıcaklığı	520 °C
Bakır (Cu) : %5,5	Akma Mukavemeti 20 °C'de	8,2 kg/mm ²
Antimon (Sb) : %12,0	DIN50106'ya göre Akma Mukavemeti	4,9 kg/mm ²
Nikel (Ni) : %0,3	Kopma Mukavemeti	39,2 kg/mm ²
Arsenik (As) : %0,5	Özgül Ağırlık	7 340 kg/mm ³

3.2.2. Polimer Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar (Teflon (PTFE) ve Polieter Eter Keton (PEEK)/Çelik Kaplamalı Taşıyıcı Yataklar)

Polimer kaplı taşıyıcı yatakları, babbitt yataklarına kıyasla çalışma sınırlarını genişletebilir ve güvenilirliği artırabilir. Mühendislik polimerleri, kendiliğinden yağlamayı ve ısı dağılımını iyileştirmek için yatak sınıfı malzemeler kullanır, bu da polimer yataklarının daha ince hidrodinamik filmlerle ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasına olanak tanır. Mühendislik polimerleri ayrıca mükemmel gömülme kabiliyeti, korozyon direnci ve aşınma önleyici özellikler sağlar, bu da hasarı önler ve yatak ömrünü uzatır. Polimer kaplı yataklar, babbitt bileşenlerinin doğrudan yerine geçebilir veya çalışma sınırlarını genişletmek için yeni tasarımlara entegre edilebilir. Polimer kaplı yataklar endüstride iki çeşittir:

- Teflon(PTFE) Taşıyıcı Yataklar
- PEEK/Çelik(Polieter Eter Keton) Taşıyıcı Yataklar

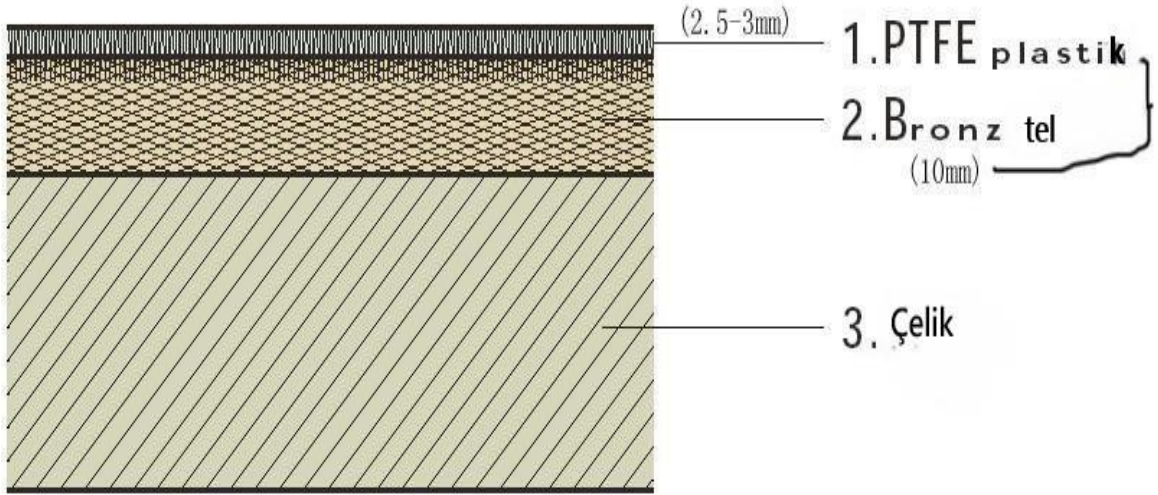
3.2.2.1. Teflon (PTFE) Taşıyıcı Yataklar

Teflon yataklar; Ruslar tarafından bulunup geliştirilmiştir. Çinliler yaygın olarak kullanmaktadır. Babbitt yataklara göre birçok avantajları vardır.

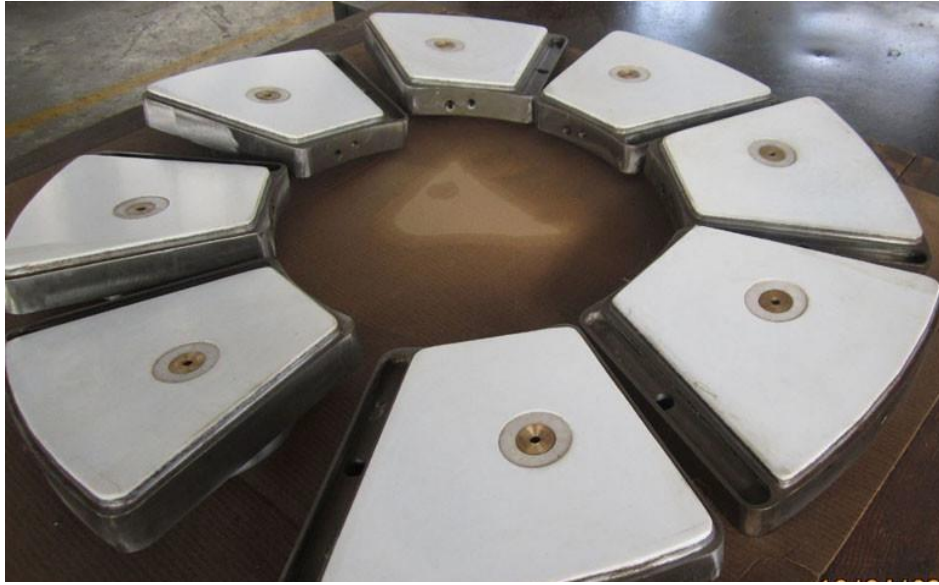
Teflon yatakların avantajları şunlardır:

- Fiziksel ve kimyasal özelliklerin stabilitesi vardır. Yağlama yağı ile reaksiyona girmez, yağlama yağını kirletmez.
- Mükemmel kendiliğinden yağlama özelliğine sahiptir. Sürtünme katsayısı 0,04~0,08 değerleri arasındadır. Kurulumunda hayvansal yağa ihtiyaç duyulmaz, sadece az miktarda türbin yağı eklenmesi yeterlidir. Bu, süreci basitleştirir, hafiflik sağlar ve iyi bir etki sunar.

- Kazıma ve taşlama gerektirmeden kuruluma müsaittir. Bu durum, ilk kurulum esnasında iş yoğunluğunu azaltır ve bakım süresini büyük ölçüde kısaltır.
- Yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Güvenli ve güvenilir kullanım sağlar. Değişken yük veya aşırı yük durumlarında bile sıcaklık düşük değerlerde ve sabit kalır, bu da ünitenin çıkıştaki verimliliğini artırır.
- Mükemmel yalıtım özelliklerine sahiptir. Lokalde aşırı ısınmayı azaltır. 110 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. 70 °C çalışma sıcaklığına kadar izin verilir. Yağlama yağı bozulduğunda, sınır yağlaması ve kuru sürtünme koşullarında yüksek sıcaklıkta erimez ve ayna plakasını zedelemmez.
- Kriko olmadan çalıştırmaya müsaittir. Soğuk ve sıcak çalıştırmalar, birimin çalışma esnekliğini büyük ölçüde artırır. Elastik ped 30 gün çalışmadığında bile, genellikle doğrudan çalıştırılabilir.
- Mükemmel kapsamlı özelliklere sahiptir. Aşırı hızda, düşük hızda taksi yapma, çeşitli yüklerin reddedilmesi, %115'in üzerinde çalışma ve kısa süreli su sızıntısı veya pabucun su sıcaklığı gibi çeşitli özel koşullarla başa çıkabilip normal ve güvenilir koşullarda çalışmaya devam eder.
- Frenleme hızını nominal hızın %10-15'ine düşürebilir, çatlama ve asbest tozu kirliliği ile piston aşınma halkası motor frenleme koşulunu çözer.
- Bir lokma pedi yüzeyinin ciddi aşınması durumunda, diğer lokma pedlerinin çalışmasını etkilemez ve ayna plakasını zedelemmez. Geleneksel Babbitt lokma pedlerinde ise bir aşınma tüm lokma ped setinin zarar görmesine neden olup aynı zamanda ayna plakasının güvenliğini tehlikeye atmasına neden olabilmektedir.
- Kendi kendini ayarlama özelliğine sahiptir. Basınç ve sıcaklık alanında, lokma ped yüzeyini kendi kendine ayarlayabilir. Bu, lokma ped yüzeyi ile ayna plakası arasındaki yağ filmi kamasını stabil tutar ve her noktadaki yağ filmi basınç değerini eşit tutar, ünitenin daha güvenli koşullarda çalışmasını sağlar [25].
- Şekil 3.3.'te bir teflon taşıyıcı yatak lokmasının genel yapısı ve boyutsal özellikleri verilmektedir. Şekil 3.4'te ise alt lokma ringine montajlı vaziyette bulunan bir teflon taşıyıcı yatak sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Teflon taşıyıcı yatak lokma pedlerinin yapısı [25]



Şekil 3.4. Teflon taşıyıcı yatak sistemi [26]

3.2.2.2. PEEK (Polieter eter keton) Taşıyıcı Yataklar

PEEK(Polieter eter keton) yataklar teflon yataklarla birlikte endüstriyel uygulamalarda en çok görülen yatak tipidir. Başlangıç koşullarında düşük sürtünme katsayısı ve yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olan teflon yataklar, hidrolik santral türbin generatör taşıyıcı yataklarında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Zhou, J. vd. ne göre; turbo makinelerin çoğunda, hidrodinamik akışkanlarla çalışan yataklarda eskiden kullanılan yataklara göre daha yüksek hızlarda ve daha yüksek yükler altında çalışmasına rağmen, babbitt kaplamalı yataklar hala baskın yatak malzemesi

olarak kullanılmaya devam etmektedir. Bu durumun sebebi ise PEEK yatakların özelliklerinin ve performansının yeterince bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.5.'te PEEK taşıyıcı yatak lokma pedi gösterilmektedir. [13]



Şekil 3.5. PEEK taşıyıcı yatak lokma pedi [13]

3.2.3. Sert elmas benzeri karbon (DLC)/çelik kaplamalı taşıyıcı yataklar

DLC, "elmas benzeri karbon" demektir. Elmasa benzeyen karbonlar kullanılarak yapılan yüzey kaplama işlemidir. Bu DLC kaplama dayanıklı ve sürtünmeyi azaltan kaplama, gerçekte grafit kaplı olup sadece yüzeyinde birkaç nanometre çapındaki elmaslardan oluşur. Elmasa benzeyen katmana sahip yapısıyla DLC çelikler, olağanüstü sert yüzey özelliklerine sahiptir, bu da onu ultra sertleştirilmiş çelik sınıflarından önemli ölçüde daha sert ve dayanıklı kılar. Bunun yanında korozyona karşı daha dayanıklıdır ve daha yüksek anti-alerjik özelliklere sahiptir [27]. Katsaros K. vd. yaptıkları araştırmada PTFE ve DLC ile kaplanmış yatakların, yaygın çelik ve babbitt uygulamalarına kıyasla daha düşük sürtünme kuvvetleri gösterdiğini tespit etmişler. Aynı zamanda, DLC kaplamalı eksenel taşıyıcı yatakların yağ akışını ve ısınmayı PTFE'ye göre daha az etkilediği görülmüş ve bu da onu eksenel yatak uygulamaları için daha uygun hale getirmektedir. [28] Şekil 3.6.'da Elmas benzeri karbon (DLC) taşıyıcı yataklar montajlı halde gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Elmas benzeri karbon (DLC) taşıyıcı yataklar [28]

Wasilczuk ve Wodtke; dört çeşit kaplamalı (Babbitt, PEEK, Bronz ve DLC) yatağı eşit koşullarda çalıştırarak performanslarını incelemişler. DLC yataklarında karışık sürtünmeye geçişin olduğu koşullarda daha yüksek yükün altında diğer yataklara göre daha karışık yağlama koşullarında daha iyi performans göstermiştir. Bunun yanında dur-kalk testlerinde diğer yataklara göre daha düşük sürtünme katsayısına (CoF) sahip olup ve daha kararlı bir performans sergilemiştir [9]

3.2.4. Bronz/çelik kaplamalı taşıyıcı yataklar:

Taşıyıcı yataklarda kaplama malzemesi olarak kalay esaslı bronz, darbeli ile ağır yüklerde ve yüksek sıcaklıklarda korozyon koşulları altında kullanılmaya uygundur. Kalay bronzları içerisinde en iyi performans gösterip, sahada da en çok kullanılan tipi %90 Cu ve %10 Sn içeren kalay bronzudur [29]. Bronz yataklar ve babbitt yataklar; kaymalı yataklama sistemlerinde hala en yaygın kullanılan taşıyıcı yatak sistemi olmaya devam etmektedir. Şekil 3.7.'de bronz/çelik taşıyıcı lokma sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Bronz/Çelik taşıyıcı yatak lokma pedi [29]

3.3. Taşıyıcı Yatakların Çalışma Prensibi

Yatay ekseninde çalışan türbin-generatör yataklama sistemi ile düşey ekseninde çalışan türbin-generatör yataklama sisteminin çalışma şekli aynıdır. Fakat düşey ekseninde çalışan türbin-generatör taşıyıcı yatakları, elektrik üretiminde çark kanatları içine giren hidrolik yükü; türbin çark rotorunu ve şaftını, generatör rotoru ve şaftını, ikaz sistemi ile şaftı gibi dönen tüm mekanik parçaların yükünü taşıması sebebiyle yatay ekseninde çalışan türbin-generatör sistemlerine göre daha fazla yüke maruz kalmaktadır. Düşey eksenli türbin-generatörlerinde taşıyıcı yatak generatör kılavuz ile kombine şekilde, yatay eksenli türbin-generatörlerinde ise türbin kılavuz yatak ile kombine olarak çalışmaktadır [18]. Howarth; eksenel yatakların performansını ve kullanımını 20. yy.'nin başlarından itibaren HES'lerin yatay ve düşey türbinlerinde, kömür ve gaz türbinlerinde, gemileri hareket ettiren millerde ve pompa çeşitlerinde detaylı bir şekilde incelemiştir [3]. Taşıyıcı yatak bölgesi generatör kılavuz yatak ile kombine olarak yağ dolu haznenin içindedir. Kombine yatak bölgesindeki yağı basınçlandırmak amacıyla eş görevde iki adet yüksek basınç pompaları vardır. Keban HES'te ünite sekans koşulları içerisinde ünite çalışmaya başlamadan önce taşıyıcı yatak bölgesindeki yağı basınçlandırmak için pompa devreye girer. Devreye girdikten sonra yaklaşık lokma yüzeyinde $50\mu\text{m}$ kalınlığında bir yağ filmi tabakası oluşur. Bu yağ film tabakası metal-metal aşınmasını engelleyip taşıyıcı yatağı ve üst aynayı korumak amacıyla oluşur. Üst aynanın uniform bir durumda olması çok kritik öneme sahiptir. Keban HES'te türbin hızı nominal devir olan 166,7 devir/dk'nın %70'ine ulaşıncaya taşıyıcı yatak pompası devre dışı kalır. Bundan sonraki süreçte taşıyıcı yatakta var olan momentum kuvveti ya da vorteks olayı sayesinde sistemde yağ film tabakası var olmaya devam eder. Hidrodinamik yağlama olayının yeterince olmadığı yani yağ

filminde yırtılmanın meydana geldiği bölümlerde hidrostatik yağlama olacaktır. Bu durumda metal-metal teması olabilmektedir. Taşıyıcı yatak lokma pedlerinin üstünde white metal (beyaz metal) vardır. Beyaz metaller yapısında %80'ler civarına ulaşan miktarda kalay bulunan bir alaşım yapısına sahiptir. Şekil 3.8.'de görüldüğü üzere lokma pedinin üst yüzeyi yumuşak bir yapıda olup üstteki ayna (upper bracket) ile temasında ayna yüzeyinde aşınmalara sebep olmayacak bir formdadır.



Şekil 3.8. Taşıyıcı yatak lokma pedi beyaz metal görünümü

Taşıyıcı yatakta en üstte lokma pedi (tilting pad, axial pad or thrust pad) bulunmaktadır. Lokma pedinin altında yaylı destek pimi vardır. Pimin saplama kısmına monteli şekilde yağlama işlemi esnasında hareket sağlayan yay vardır. Yayın altında ise yine pimin saplama kısmına montajlı alttaki aynanın (lower bracket) üstüne oturan disk bulunmaktadır. Pimin disk altında kalan kısmı alt aynada bulunan deliğin içindedir. Bu delikten yayın esneme hareketiyle pim aşağı yukarı yönlü hareket ederek hidrodinamik yağlama işleminin gerçekleşmesini sağlar. Yukarıda detayları anlatılan taşıyıcı yatak çalışma sistemi şekil 3.9.'a bakılınca daha anlaşılır olacaktır.



Şekil 3.9. Taşıyıcı yatak lokmasının alt ayna üzerindeki görünümü

Baş; lokma pedinin yüzeyindeki pürüzlülük azaldıkça lokmanın daha iyi bir yağlamaya ve daha düzgün bir yağ filmi tabakasına sahip olacağını göstermiştir. Bu sayede taşıyıcı yatak güvenli bir şekilde çalışarak türbin-generatör sistemini korumaya devam eder. Şekil 3.10.'da eksenel yük altındaki lokma pedlerinin hareketi esnasında basınç dağılımı ve akışkanın hız alanı gösterilmektedir [2]. Eğilmeye izin vermek ve aynı zamanda bu noktasal sabit temas noktasından kaçınmak için yay destekli taşıyıcı yatakları oluşturulmuştur. Bu ikinci tür taşıyıcı yataklar, geniş bir çalışma koşulları yelpazesinde iyi bir verimlilik sağlayarak çalışmaya imkân tanırırlar.



Şekil 3.10. Taşıyıcı yatak lokma pedinin eksenel yük altında performans şeması

3.3.1. Taşıyıcı Yatak Bakım İşlemi

Taşıyıcı yatak, hidrolik santrallerde türbin-generatör mekanik ekipmanları içinde bakımı en önemli olan elemanlardandır. Tablo 3.2.'de taşıyıcı yatağı bakım onarım işlemine hazır hale getirmek için izlenecek aşamalar anlatılmıştır. İlgili maddeler dikkate alınmadan yapılacak bakım işlemi tehlikeli sonuçlar doğurabilecektir.

Tablo 3.2. Taşıyıcı Yatak Bakım İşlemi

Taşıyıcı Yatağı Bakım İşlemine Hazır Hale Getirilmek İçin Yapılan İşlemler			
1.	Cebri boru gövde su alma ağzı kapağına kapama komutu verilmiştir.	9.	Taşıyıcı yatak muhafaza ringi söküldü.
2.	Karbon salmastra kilitleri atılmıştır.	10.	Ringin üzerinde biriken çamur tortuları temizlendi.
3.	Kombine yatak haznesinde bulunan yağ boşaltılmıştır.	11.	Taşıyıcı yatak indirme sistemiyle yardımcı aparatlar kullanarak yatak aşağıya indirildi.
4.	Boşaltılan yağ laboratuvar incelemesi için yağ tasfiye odasına gönderilmiştir.	12.	Ring ile yatak arasında bulunan segmanlar söküldü.
5.	Yağ seviyesi aşağı indikten sonra PT-100'ler ve cıvalı kontak sökülüştür.	13.	Yatak indirildikten sonra taşıyıcı yatak temizlenmiştir.
6.	14 adet frenin 4 adet fren diski kilitlenmiştir.	14.	Taşıyıcı yatak lokmaları yüksek basınç hortumları söküldü.
7.	Kriko pompasıyla ünite 5-6 mm yukarıya kaldırıldı.	15.	Tamirat işlemi için yatak teçhizatları yerinden söküldü.
8.	Gevşeyen salmastra kilitleri tekrar sıkıldı.		

1. Yatak çalışmasına başlarken ilk olarak cebri boru gövde su alma ağzı kapağına kapama komutu verilmiştir.
2. Cebri boru basıncı 7 barın altına indikten sonra türbin çukurunda bulunan karbon salmastra sızdırmazlık elemanının 4 adet kilidi yerine montajlanarak türbin çukuru güvence altına alınmıştır.
3. Cebri borunun boşaldığından emin olunduktan sonra kombine yatak haznesinde ve yatak soğutucu serpantinlerde bulunan yaklaşık 4500 litrelik yağ, yağ pompaları yardımıyla yağ tasfiye odasına gönderilmiştir.

4. Ünitelerden boşaltılan yağın genel durumu bilinmediği için laboratuvara gönderilerek içindeki köpük ve su durumunun tespiti yapılacaktır. Duruma göre yağ tasfiye sistemi aracılığıyla yağlar sepere edilerek kullanıma hazır hale getirilecektir.
5. Keban HES ünitelerinde taşıyıcı yatak lokmalarında 4 adet PT-100 sensörü ve 1 adet cıvalı gösterge kontağı vardır. Bu ölçü kontrol cihazları ile anlık sıcaklık takibi yapılmaktadır.
6. Rotor yukarıya kalktığı için frenler boşalacaktır. Keban HES'te kelebek vana sistemi olmaması sebebiyle ünitelerde ciddi su alma ağzı kapağı kaçakları ve ayar kanadı kaçakları vardır. Bu durum sebebiyle kaldırma işlemi esnasında önlem amaçlı 3-4 fren kilitlenerek su kaçakları sebebiyle türbin çarkı rotorunun dönerek üniteyi harekete geçirmesi engellenmiştir.
7. Ünitelerde bulunan rotor frenlerinde hidrolik ve pnömatik sistem vardır. Pnömatik sistem yardımıyla alçak basınç kompresörlerinde (7,4 bar basınçlı hava) üretilen hava rotorun frenlemesi için kullanılır. Frenlerin hidrolik sistemi üzerinden (150 bar basınca kadar çıkılır.) ünite kriko pompası yardımıyla 5-6 mm civarı yukarıya kaldırılmıştır.
8. Yatağın yukarıya kaldırılması sebebiyle salmastra kilitleri boşa düşmüştür. Bu sebeple su tehlikesini önlemek amacıyla kilitler biraz daha sıkılmıştır. Salmastra kilitleri ortası pimli bronz saplama şeklindedir.
9. Taşıyıcı yatağın dibinde taşıyıcı yatağı muhafaza eden büyük çember şeklinde bir ring vardır.
10. Taşıyıcı yatak ringinin üstünde soğutucu serpantinden sızan sular sebebiyle çökelti şeklinde çamurlaşmış su-yag karışımı, metal tozları gibi pislikler birikir. Bu pislikler öncelikle temizlenir.
11. Yatak indirme pompası ve indirme aparatları yardımıyla 4 köşeden ayaklar konularak destek iskeleti oluşturulur. Bu iskelet yardımıyla yatak aşağıya indirilir. Bu işlem hidrolik yağ yardımıyla yapılır.
12. Taşıyıcı yatak ringini yatağa sabitlemek amacıyla arada segmanlar vardır. Bu segmanlara yatak ayarı esnasında dikliği ayarlamak için şim atılır.
13. Taşıyıcı yatak genel temizliği yapıp çökelti şeklindeki yağ, su ve metal tozu karışımı alınır.
14. Taşıyıcı yatakta ünite devreye alınmadan önce taşıyıcı yatak pompaları yardımıyla ünitenin basınçlanma işleminde yağın sistemde dolaşmasını basınçlı hortumlar sağlamaktadır.
15. Taşıyıcı yatak bakım işlemi için lokmalar caraskal yardımıyla askıya alınarak sırayla indirilmiştir. Ardından lokmanın altında bulunan yaylı destek pimleri yerinden sökülerek indirilmiştir.

3.4. Taşıyıcı Yatak Soğutma Sisteminin İncelenmesi

Ünitelerde taşıyıcı yatakta, yatağı soğutarak sıcaklığın kontrolünü ve yağ filminin muhafaza edilmesini sağlayan yağ, soğutma sisteminde yer alan serpantinler yardımıyla sürekli sirküle edilmektedir. Sirküle edilen yağ, soğutma sisteminde yer alan plakalı eşanjörlerden geçirilen düşük sıcaklıktaki (~ 10 °C) soğutma suyu ile soğutulmaktadır. Bunun sonucunda yataktan gelen yağın sıcaklığı ~ 40 °C'den ~ 30 °C'lere düşürülmekte ve tekrar yatağa gönderilmektedir. Serpantinle yağ sirkülasyonun sağlandığı bu sistemde etkin bir soğutma sağlanabildiği görülebilmektedir ve yağ sirkülasyon debisinin artırılması ile yağ sıcaklığı düşürülebilmektedir. Ancak yağ sıcaklığının düşürülmesi ile generatör taşıyıcı yatak sıcaklığında aynı oranda düşüş sağlanamamaktadır ve yağ sıcaklığı ile yatak sıcaklığı arasında lineer bir bağıntı bulunmamaktadır. Generatör taşıyıcı yatağında istenen mertebede soğutma sağlanamaması aşağıda sıralanan faktörlerden kaynaklanabilir:

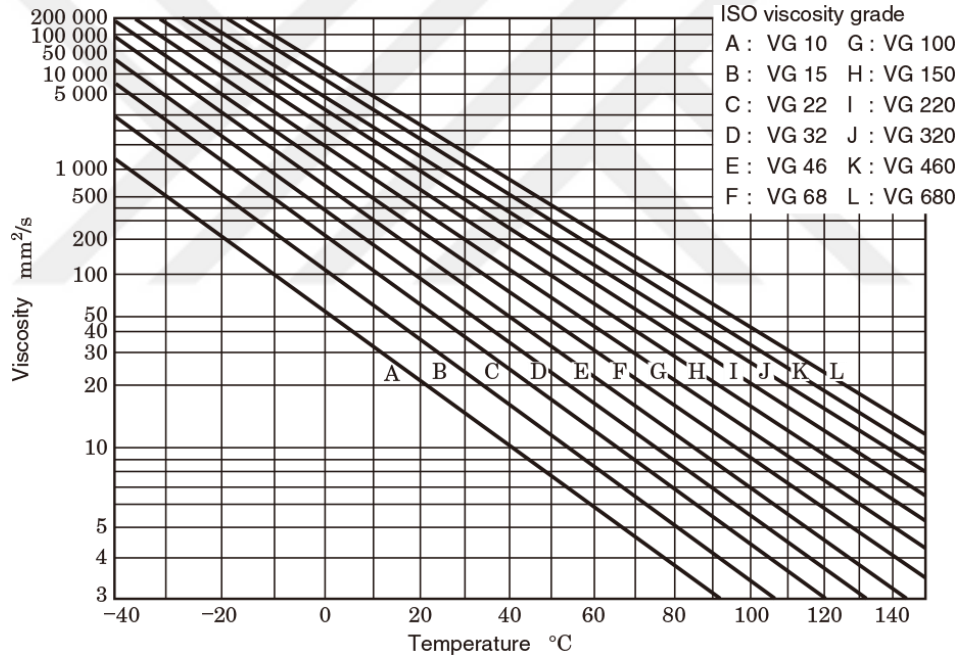
- ✓ Yağın fazla soğutulması sonucunda yağ viskozitesinin artışı ile yataktaki sürtünme kuvvetinin ve sürtünme sonucu açığa çıkan ısı miktarının artması,
- ✓ Türbin generatör setindeki bir düzensizlik nedeniyle, yataklarda açığa çıkan ısı yükünün artması. Bu ilave ısı yüklerinin kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;
 - Sargılarda normalden fazla ısı üretilmesi (sargı kaynaklı sorun) ve bu ısının taşıyıcı yatak yağ sıcaklığını yükseltmesi
 - Sargılarda açığa çıkan ısının radyatörlere yeterli miktarda transfer edilememesi (radyatör kaynaklı sorun) ve bu ısının taşıyıcı yatağa transfer olması
 - Şaftın eksen kaçıklığının toleransların dışında olmasından dolayı lokmalarda daha yüksek ısının açığa çıkması

3.4.1. Sıcaklık ile Yağ Viskozitesi İlişkisi

Viskozite, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın biçim değişikliğine karşı gösterdiği dirençtir. Bir başka deyişle, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın bir bölümünün hemen yanındaki bir bölüme göre yer değiştirmesine karşı gösterdiği dirence viskozite denir. Akışkanların boru hattıyla iletilebilmesi ve yağlama malzemesi olarak kullanılabilmesi için, bu akışa karşı koyan kuvvetlerin belirlenmesinde en önemli etkenlerden biri viskozitedir. Sıcaklık yükseldiği anda sıvıların viskozitesi hızla azalırken, gazlarınki artar. Bu yüzden ısıtılan sıvılar daha kolay gazlar ise daha yavaş akar. Tablo 3.3.'de yağların viskozite değerlerinin değişen sıcaklık koşulları altındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.11.'de farklı viskozite değerlerine sahip yağların sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Farklı özellikteki yağların viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi [30]

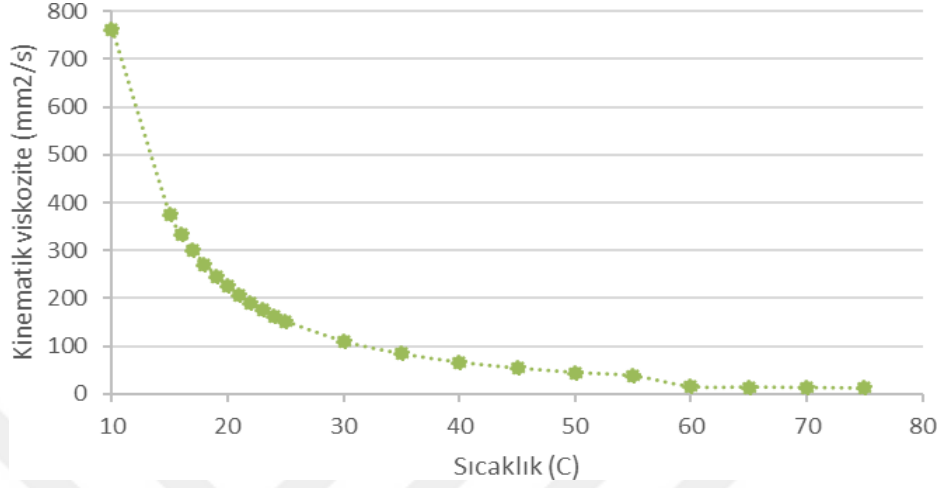
Sıcaklık	Kinematik viskozite (mm ² /s)		
	ISO VG 68	ISO VG 46	ISO VG 32
15	374	183	125
20	225	127	89
30	110	71	49
40	67	45	32
42	61	41	29
45	54	37	26
50	45	28	23
55	35	23	18
60	28	19	15



Şekil 3.11. Farklı derecedeki yağların viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi [30]

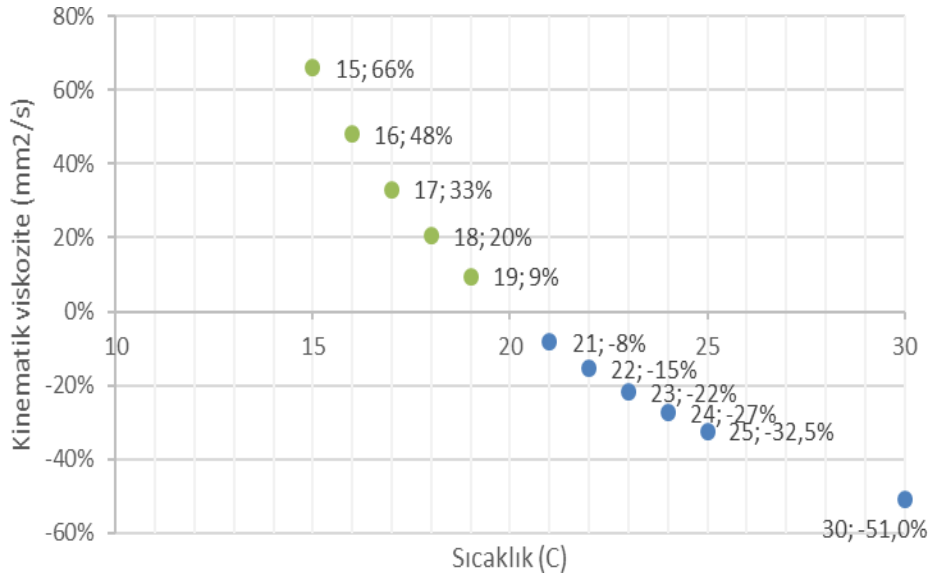
Mevcutta bulunan eski hidrolik santrallerde genellikle ISO-VG-68 yağı kullanılmaktadır. Aynı şekilde Keban HES'te de bu yağ kullanılmaktadır. Şekil 3.12.'de VG-68 türbin yağının kinematik viskozite-sıcaklık grafiği gösterilmektedir. Görüldüğü üzere kullanılan yağın sıcaklığı 30°C'nin altına indiğinde viskozite değişiminin sıcaklığa duyarlılığı artmaktadır. Örneğin yağın sıcaklığı 25°C'den 15°C'ye düşürüldüğünde viskozitesi %146 artarken, 55°C'den 45°C'ye düşürüldüğünde ise viskozitesi %42 artmaktadır. Dolayısıyla yağın fazla soğutulması viskozitede önemli oranda

değişikliğe neden olmaktadır ve viskozitedeki aşırı değişimler yatakta karışık yağ filminin oluşmasına neden olabilir.



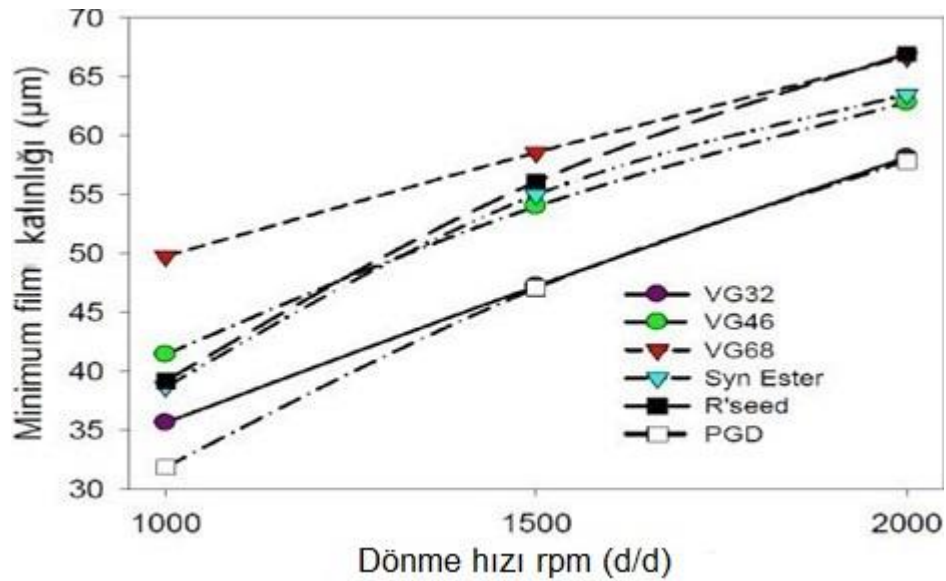
Şekil 3.12. ISO-VG-68 türbin yağının viskozite-sıcaklık grafiği [30]

Şekil 3.13'te generatör taşıyıcı yatak yağlama sisteminde kullanılan yağın 20°C'deki viskozitesinin sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmektedir. Taşıyıcı yatak yağının sirkülasyon debisi arttırıldığında hem yatakta sirküle edilen yağ miktarı hem de serpantinden geçen yağ debisi artmakta ve bunun sonucunda yağ daha fazla soğutulmaktadır.

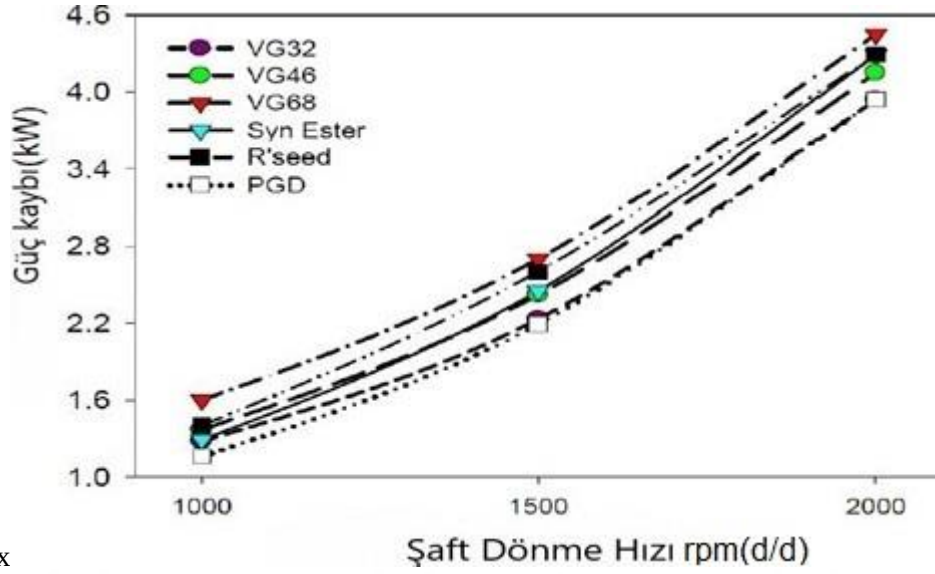


Şekil 3.13. ISO-VG-68 yağı viskozitesinin 15-25°C'ler arasında değişimi [31]

Yağın daha fazla soğutulmasıyla viskozitenin artması ise yatağın tasarımındaki yağ özelliklerinden giderek uzaklaşmasına neden olmaktadır. Örneğin yağ 23 °C'den 19 °C'ye soğutulduğunda viskozitesi yaklaşık %40 yükseltmektedir. Yağ 20 °C'nin altına soğutulduğunda viskozite eğrisinin eğimi daha keskin bir şekil alarak viskozite artış hızı da artmaktadır. Dolayısıyla yağ daha fazla soğutulduğunda viskozite daha yüksek oranda artmaktadır. Büyük bir taşıyıcı yatak test düzeneğinde yağ banyosu sıcaklığını değiştirerek üç farklı derecedeki yağ (ISO VG 68, VG 46 ve VG 32) ile yağ sıcaklığı değişiminin etkisi incelenmiştir. Viskozitesi düşük yağ kullanarak film kalınlığında bir azalma ile birlikte güç kaybında da üç kat düşüş sağlanabilmiştir. 33 °C banyo sıcaklığında ISO VG32 yağı kullanıldığında, sürtünme kaybı 73 kW olmuştur ve banyo sıcaklığının 90 °C'ye yükseltilmesinden sonra yaklaşık 27 kW'a inmiş, ancak aynı anda film kalınlığı da 22 µm'den 14 µm'ye düşmüştür. Yapılan çalışmada, 14 µm film kalınlığının yeterli olduğu, ancak yine de güvenlik payının oldukça düşük olduğu belirtilmiştir. Modern makinelerde yağ viskozite derecelerini azaltma eğilimi gözlenmektedir. Örneğin otomobillerde yakın zamana kadar 20W/40 yağları yaygın olarak kullanılmaktayken şimdi SAE viskozite sınıfı 0W/20 veya 5W/30 motor yağları yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı yağlarla yapılan denemede muylu yatağında meydana gelen minimum film kalınlığının durumu şekil 3.14.'te incelenmiştir. Ayrıca şekil 3.15.'te ise farklı yağlarla yapılan denemede toplam güç kaybının durumu gözlemlenmektedir. Yapılan iki gözlemden de işlemler dönme hızının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Farklı yağ kullanımı konusunda Porjus enerji santralinde kurulu 10 MW'lık bir su türbininde ISO VG 68 mineral yağı, viskozite indeksi 150'ye eşit olan bir VG 46 sentetik bir yağla değiştirildi. [31].



Şekil 3.14. Farklı yağlarla yağlanan muylu yatağının dönme hızının bir fonksiyonu olarak minimum film kalınlığı [31]



Şekil 3.15. Farklı yağlarla yağlanan muylu yatağının dönme hızının bir fonksiyonu olarak toplam güç kaybı [31]

Test edilen yağların 40°C ve 100°C'de viskozitesi Tablo 3.4.'de sunulmaktadır ve her iki yağın da 100°C'de benzer viskoziteye sahip olmasına rağmen, sentetik yağın 40°C'de çok daha az viskoz olduğu gözlemlenebilir. Elde edilen sonuçlara göre, kış aylarında yağ banyosu sıcaklığı 24°C'ye ve yatak sıcaklığı 84°C'ye, yaz aylarında ise sırasıyla 35°C ve 88°C'ye eşit olmaktadır. Farklı bir viskozite indeksine sahip yağ, yatakların maksimum sıcaklığının 7°C düşürülmesini (daha kalın bir filmle) mümkün kılmıştır, ancak diğer taraftan, yağ banyosu sıcaklığı 5°C daha yüksek olmuştur. Sonuç olarak, muylu yatağındaki toplam sürtünme kaybı %18,5 azaltılmış ve 30 kW güç kazancı sağlanarak makine verimliliği %0,3 arttırılmıştır. [31].

Tablo 3.4. Sentetik esterlere dayalı mineral yağ ve yüksek viskozite indeksli yağ özellikleri

Parametre	TurbWaySE	ISO VG 68
40 °C'deki viskozite (mm ² /s)	46	69
100 °C'deki viskozite (mm ² /s)	8,1	8,8
Viskozite indeksi	149	98

^a Wasilczuk 2015 [31].

Viskozite statik bir ölçümdür, yani bir akışkanın belirli koşullarda ve belirli bir andaki akışkanlığını ifade eder. Viskozite indeksi, sıcaklık değişiminde viskozitenin değişim miktarını da hesaba dâhil eder. Viskozite indeksi yüksek olan yağlar, düşük viskozite indeksi olan yağlara göre viskozitelerini daha iyi korur. Sıcaklık arttığında yağın akışkanlığı da

artar. Yüksek viskozite indeksli yağlarda birden fazla tek mevsimlik yağın viskozite değerleri tek bir üründe bir araya getirilmiştir, böylece uygulama alanı daha geniş bir sıcaklık aralığına yayılabilmektedir. Bir yağın viskozitesi, baz yağları ve katkı maddeleri ile belirlenir. Bu katkı maddelerinden biri de viskozite değiştiricidir. Yağın viskozitesini dengelemenin sırrı, viskozite değiştiricinin yapısında gizlidir. Bu maddeler motor yağının viskozite indeksini artırabilir. Sıcaklık değiştiğinde viskozite değiştiricilerin içindeki moleküllerin çıkıntıları genişler ve daralır, bu özellik molekül seviyesinde gerçekleşir. Sıcaklık arttığında moleküller genişlemeye başlar ve akışkanın viskozitesini dengelemek için birbirlerine tutunurlar. Sıcaklık düştüğünde moleküller daralır ve diğer moleküller de daha serbest hareket edebilir [32]



4. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasının temel amacı zaman içerisinde teçhizatları eskiyen, verimi düşen ve arızalanan HES’lerde yapılacak rehabilitasyon çalışmasının önemini açıklamaktır. Özellikle tez çalışmasında HES’lerin çalışmasını en çok etkileyen ve arıza durumunda uzun süreli duruşlara sebep olacak taşıyıcı yatak incelenecektir. Taşıyıcı yatağın metal sıcaklığı, taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı, taşıyıcı yatak basıncı ve taşıyıcı yatağa uygulanan eksenel kuvvet; yapılan rehabilitasyon sonrasında önceki haliyle kıyaslanarak yapılan işlemin sistemin performansına olan etkisi incelenecektir. Bu inceleme işlemi esnasında taşıyıcı yatak elemanlarına yapılan işlemler detaylı olarak anlatılacaktır.

4.1. Taşıyıcı Yatak Rehabilitasyon işlemleri

Taşıyıcı yatak kısmında bakım işlemine hazırlık süreçleri detaylarıyla anlatılmıştır. Bu işlemlerden sonra yatakta bakım onarım çalışmalarına başlanmıştır. Şekil 4.1. de görüldüğü üzere rehabilitasyon öncesinde taşıyıcı yatak aşağıya indirilerek çalışmalara başlanmıştır.



Şekil 4.1. Taşıyıcı yatak rehabilitasyon öncesi demontaj işlemi

Yatak aşıya indirildikten sonra lokmaların hortum bağlantıları sökülüp caraskal yardımıyla yerinden alınır. Şekil 4.2’de gösterilen deforme olmuş eski yüksek basınçlı keten hortumlar sökülüştür. Yerine yeni teknolojiye uygun yüksek mukavemetli tek kat sentetik kauçuklu tekstil örgüden mamul basınçlı hortum montajlanmıştır.



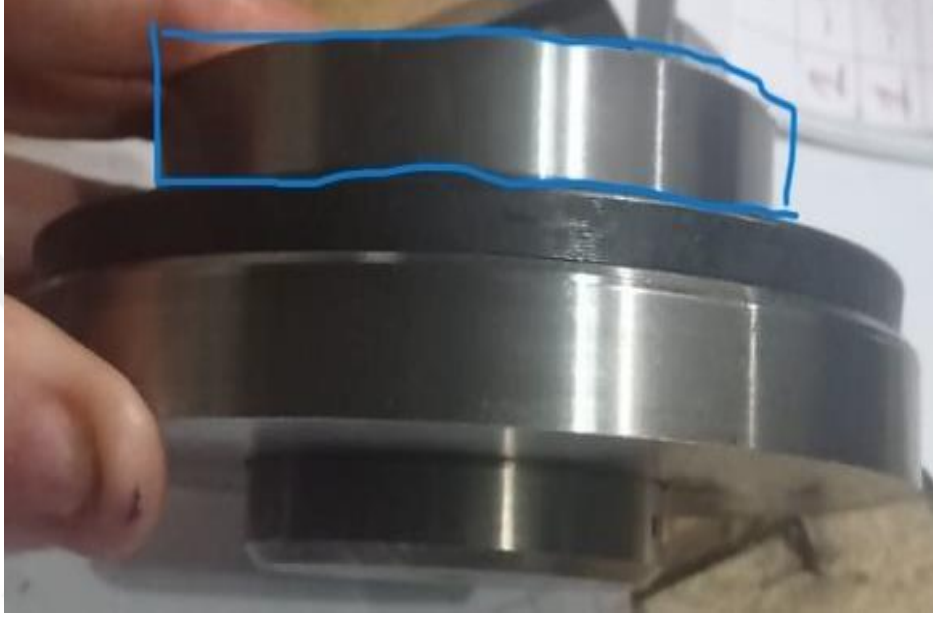
Şekil 4.2. Rehabilitasyon öncesi keten hortum ile rehabilitasyon sonrası kauçuk hortum

Basınçlı hortumlar ayrıldıktan sonra taşıyıcı yatak lokması askıya alınınca lokma altı yaylı destek pimleri ve sabit pimleri Şekil 4.3.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Rehabilitasyon öncesi lokma askıdayken pimlerin görünümü

Ardından lokmalar sırayla aşağıya indirilmiştir. Lokmalardan sonra lokma altı destek yaylı pimleri yerinden sökülüştür. İlgili detaylar şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Sökülen pimler dağıtılarak kontrolüne başlanmıştır. Öncelikle yayların durumu projeyle kıyaslanıp ölçülerdeki değişimler tespit edilmiştir. Yapılan tetkiklerde yaylarda yaklaşık 1-2 mm arası daralma görülmüştür. Bu sebeple yeni yayların montajına karar verilmiştir. İlgili detaylar şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Taşıyıcı yatak lokma altı yaylı destek pimi demonte görünümü



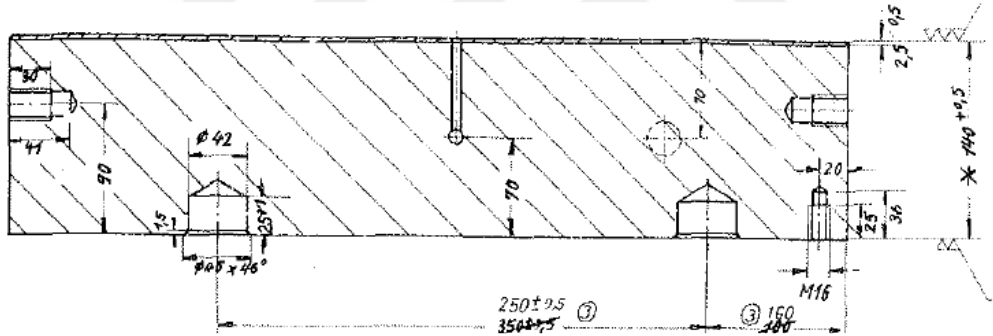
Şekil 4.5. Rehabilitasyon işlemi esnasında destek pimlerinin dağıtılıp, kontrol edilmiş hali

Yapılan söküm işlemi sonrasında taşıyıcı yatak elemanlarının sayısı proje ile kıyası yapılarak sayıların doğru olduğu tespit edildi. Tablo 4.1.'de elemanların adetleri detaylarıyla belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Taşıyıcı yatak elemanları ve sayıları

Keban HES Taşıyıcı Yatak Sistemi Elemanları	
Lokma Sayısı	12 Adet
Destek Pimi Sayısı	120 Adet
Disk Sayısı	120 Adet
Yaprak Yay Sayısı	120 Adet

Lokmalar söküldükten sonra şekil 4.6.'da gösterilen proje değeri ile kıyaslanmak için askıya alınıp kumpasla ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde eski lokmalardan bir kısmının limitlerin altında olduğu yani 140 mm den daha az olduğu tespit edilmiştir.

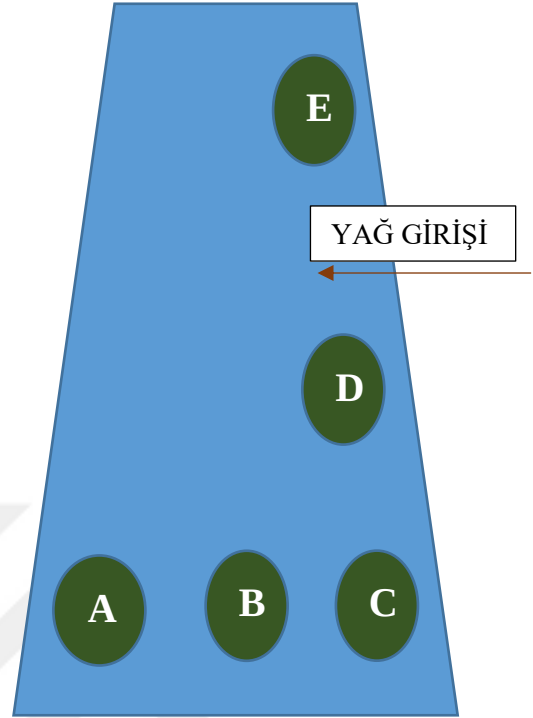


Şekil 4.6. Taşıyıcı yatak lokma ölçü değerleri projesi (3551-222.2658 GZ-1)

Ayrıca rehabilitasyon öncesi lokmada yapılan gözlemde raspa denen yağ odacıklarının hiç kalmadığı bu sebeple lokma yüzeyinde yeterince hidrodinamik yağlama koşullarının meydana gelemediği öngörülmektedir. Proje 0225-222.226 799 GZ-0'a göre lokma alt tabanı ile alt ring arası mesafe 42 mm'ye yakın olmalıdır. Toplamda 182 mm'den az olmaması tavsiye edilmektedir. Tablo 4.2.'de görülen değerlerin 182 mm den daha az olduğu görülmektedir. Şekil 4.7.'de lokmanın hangi bölgelerinden değerler alındığı ve tablodaki harflerin hangi bölgeyi temsil ettiği yağ giriş yönüne göre gösterilmektedir. Şekil 4.8.'de rehabilitasyon öncesinde ünite taşıyıcı yatağında bulunan lokmaların vaziyeti gösterilmektedir. İlgili tüm durumlar dikkate alınınca sağlıklı bir taşıyıcı yatak ve sağlıklı bir hidrodinamik yağ filminin oluşması için lokmaların yenilenmesine karar verilmiştir.

Tablo 4.2. Taşıyıcı yatak alt ayna ile lokma beyaz metal üst yüzeyi arası mesafe

Lokma	A	B	C	D	E
1	181,8	181,65	181,55	181,4	181,65
2	180,8	181,05	181,5	181,3	181,3
3	181,4	181,4	181,35	181,2	181,6
4	181,2	181,5	180,9	181,1	181,25
5	180,55	180,4	180,45	180,6	180,7
6	180,6	180,6	181,2	180,6	181,15
7	180,55	180,4	180,3	180,5	180,8
8	180,8	180,6	180,9	180,75	180,7
9	180,85	180,45	180,35	181,05	181,1
10	181,65	181,75	181,7	181,8	181,7
11	181,4	181,5	181,15	181,4	181,5
12	180,55	180,8	181,3	181,15	180,65



Şekil 4.7. Lokma üzerinde harflendirmeler



Şekil 4.8. Taşıyıcı yatak lokma pedleri rehabilitasyon öncesi görünümü

Taşıyıcı yatak lokmalarının değişimi için yapılan incelemede iki yol izlenecektir. Ya yeni lokmaların montajı yapılacak ya da mevcut lokmaların üst yüzeyinde bulunan beyaz metal yeniden kaplama işlemi için imalata gönderilecek. İlgili imalat esnasında lokma yüzeyindeki beyaz metal bertaraf edilerek yerine yeni beyaz metal dökülerek kaplanacaktır. Raspa işlemi öncesinde lokmalar şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9.Taşıyıcı yatak lokmaları rehabilitasyonda temizlenirken

Lokmalar temizlendikten sonra yüzeyinde hidrodinamik yağlama işleminin oluşabilmesi için beyaz metal yüzeyinde oluşturulan yağ filmi odacıklar oluşturma işlemine raspalama denir. Raspalama işlemi raspa aleti ya da torna çakısı ile yapılabilir. Yapılan bu işlemin tüm yüzeye dengeli bir şekilde dağılması, boyutlarının birbirine yakın olması gerekmektedir. Yüzeyde yapılan işlem sonrasında herhangi çapak bırakılmaması gerekmektedir. Rehabilitasyon işlemi esnasında yapılan raspalama işleminin detayları şekil 4.10.'da gösterilmektedir. Şekil 4.10.'de lokmanın raspalama işleminin bitmiş halinde görüldüğü üzere rehabilitasyon işleminde montaj için hazırlanan lokmalar eski lokmalara göre hem daha iyi ölçülere sahiptir. Hem de daha düzgün bir yüzeye ve yağ odacıklarına sahiptir. Yatak bakım işlemi esnasında lokma değişimi yapılacaksa lokmalar yerine montaj edilmeden önce lokma yüzeyinin temas ettiği üst ringin (upper bracket) yüzeyinin kıl master yardımıyla kontrolü hayattır. Herhangi bir sehim ya da yüzey dalgalanması yeni lokmayla uyumlu çalışmaya engel olacaktır. Herhangi bir düzeltme gerekirse polisaj işlemi uygulanabilecektir.



Şekil 4.10. Rehabilitasyon işlemi esnasında lokma raspalama işlemi ve raspalanmış hali

4.2. Hidrodinamik Eksenel Yatakların Denklemlerinin Elde Edilmesi

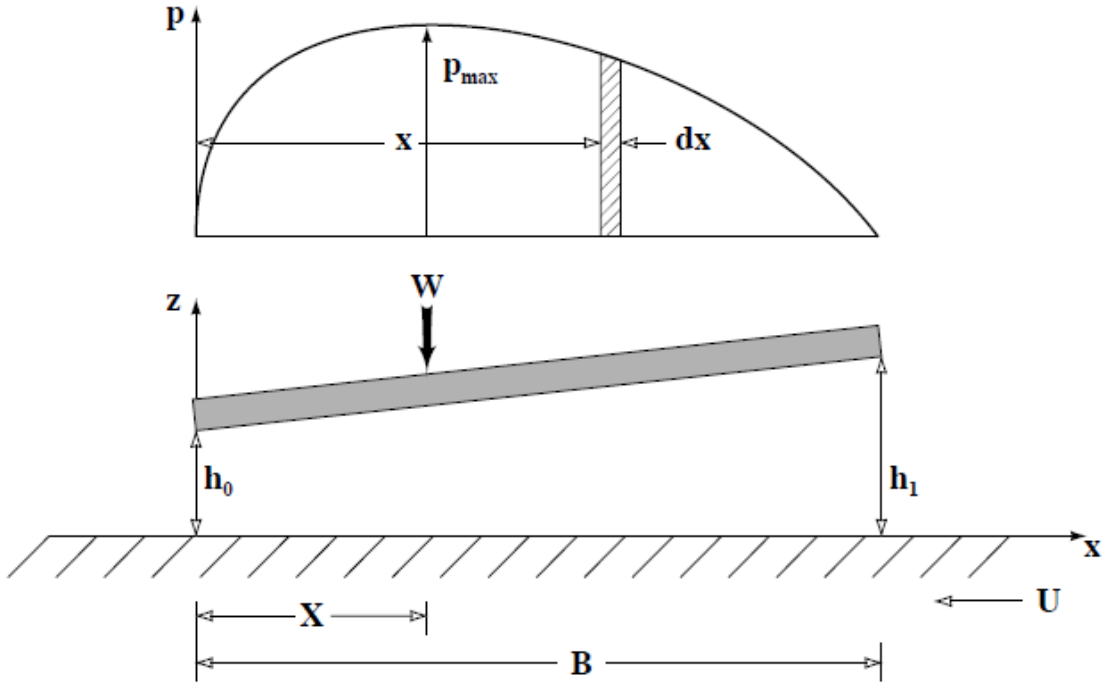
Burada taşıyıcı yatak elemanlarının çalışma esnasındaki metal sıcaklığı, yağ filmi sıcaklığı, taşıyıcı yatak basıncı ve taşıyıcı yatağa binen eksenel yük ile ilgili detaylı hesaplama işlemleri yapılacaktır.

Herhangi bir rulman analizinde ilk adım olarak rulman geometrisi, yani $h = f(x)$, tanımlanmalıdır. Yağ filmi kalınlığı Keban HES ünitelerinde sisteme montajlı bulunan vibrasyon sistemi üzerinden anlık olarak ölçülebilmektedir. Rehabilitasyon kısmında vibrasyon sistemi ile ilgili kontrol sistemi ara yüz ekranı gösterilmiştir. Üstte bahsedilen tanımlama durumu Şekil 4.11.de film kalınlığı 'h', bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir:

$$h = h_0 + x \tan \alpha = h_0 + x \frac{h_1 - h_0}{B} \quad (4.1)$$

Basitleştirirsek;

$$h = h_0 \left(1 + \frac{h_1 - h_0}{h_0} * \frac{x}{B} \right) \quad (4.2)$$



Şekil 4.11. Doğrusal Bir Ped Yatağının Geometrisi [33]

Yukarıda çözümü yapılan fonksiyon denkleminde $(h_1 - h_0) / h_0$ terimi literatürde genellikle yakınsama oranı 'K' olarak bilinir [3,4]. Bu oran ile yağ film geometrisi şu şekilde ifade edilebilir: Yakınsama oranı K'yı denkleminde $(h_1 - h_0) / h_0$ olarak yerine koyarsak denklem aşağıdaki hale dönüşür:

$$h = h_0 * \left(1 + \frac{Kx}{B}\right) \quad (4.3)$$

h: yağ filmi kalınlığı

h₀: minimum yağ filmi kalınlığı

h₁: maksimum yağ filmi kalınlığı

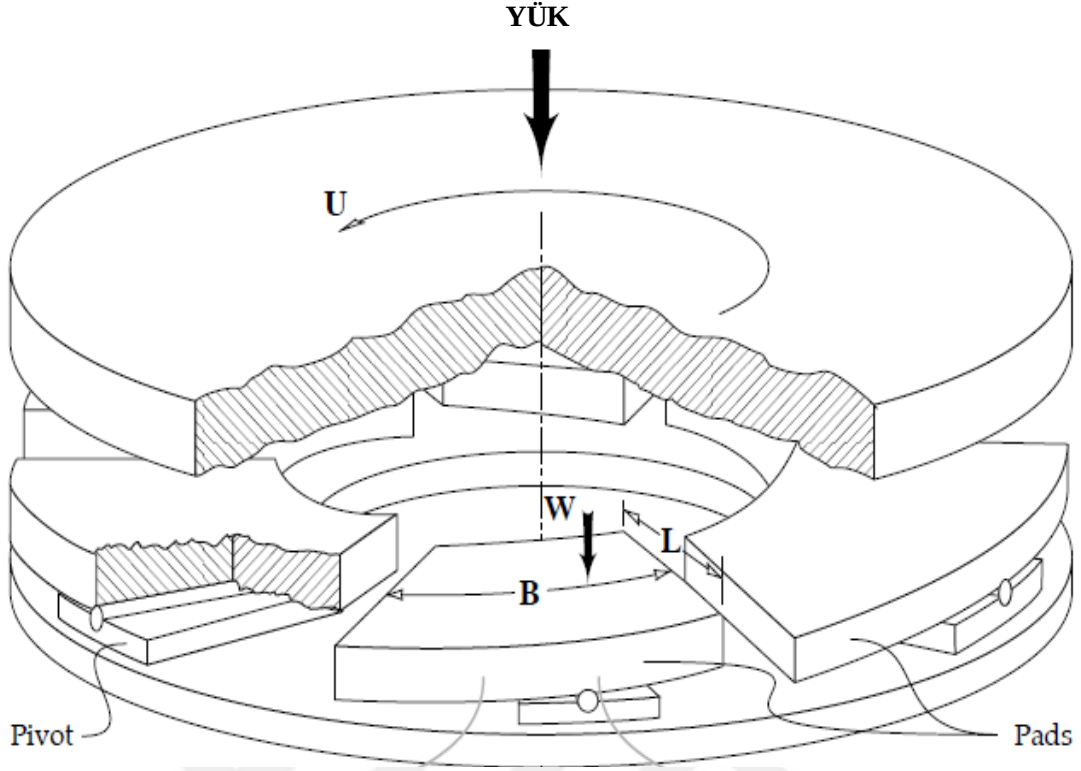
B: lokma pedi genişliği

K: Yakınsama oranı

x: x yönündeki bileşenin grafikteki değeri

W: Taşıyıcı yatağa binen eksenel kuvvet [33]

Taşıyıcı yatakların shaft eksenine boyunca maruz kaldıkları eksenel yükler sebebiyle lokmanın üst ring ile teması ve lokmanın yük esnasında yağ girişi eksenine doğru biraz aşağıda kalma durumu şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Şekilde pivot olarak adlandırılan elemanlar taşıyıcı yatak sabitleme pimleri alt destek yaylı pimleri olarak materyal metot ve taşıyıcı yatak kısmında bahsedilen elemanları göstermektedir.



Şekil 4.12. Hidrodinamik eksenel yatağın üstten görünüşü [33]

4.2.1. Sıcaklık Hesaplamaları:

Bu kısımda taşıyıcı yatak metal sıcaklığı, serpantin yağ giriş sıcaklığı, taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı ve bunlara bağlı elemanların hesaplamaları yapılacaktır. Taşıyıcı yatak yağlama sistemi, Keban HES'in ilgili projesinde bahsedilen ve şekil 4.13.'te gösterilen taşıyıcı yatak pompası üzerinden gelen yağ besleme hattı 6 ve 7 numaralı lokmalar aracılığıyla sistemdeki lokmalar arasında yağ geçişi olmaktadır. 6 numaralı lokma üzerinden çift sayılı lokmalarda yağ geçişi sağlanmaktadır. Aynı şekilde 7 numaralı lokma üzerinden tek sayılı lokmalarda yağ geçişi sağlanmaktadır.

Keban HES ünitelerinde taşıyıcı yataklarda lokma pedlerinin sıcaklık kontrolü sürekli yapılmaktadır. Rehabilitasyon öncesinde SCADA sistemi santralde yokken cıvalı kontaklı termometreler ve elektronik kontaklarla bilgi alınarak Elimko PR-100 cihazına iletilerek değerler okunmaktaydı. Rehabilitasyon öncesi ünitelerde göstergedeki değerler şekil 4.13.'te gösterilen Elimko cihazı yardımıyla alınmaktadır. Şekil 4.14.'te gösterilen cıvalı kontaklı termometreler yardımıyla taşıyıcı yatak yağ giriş sıcaklığı değerleri alınmıştır.



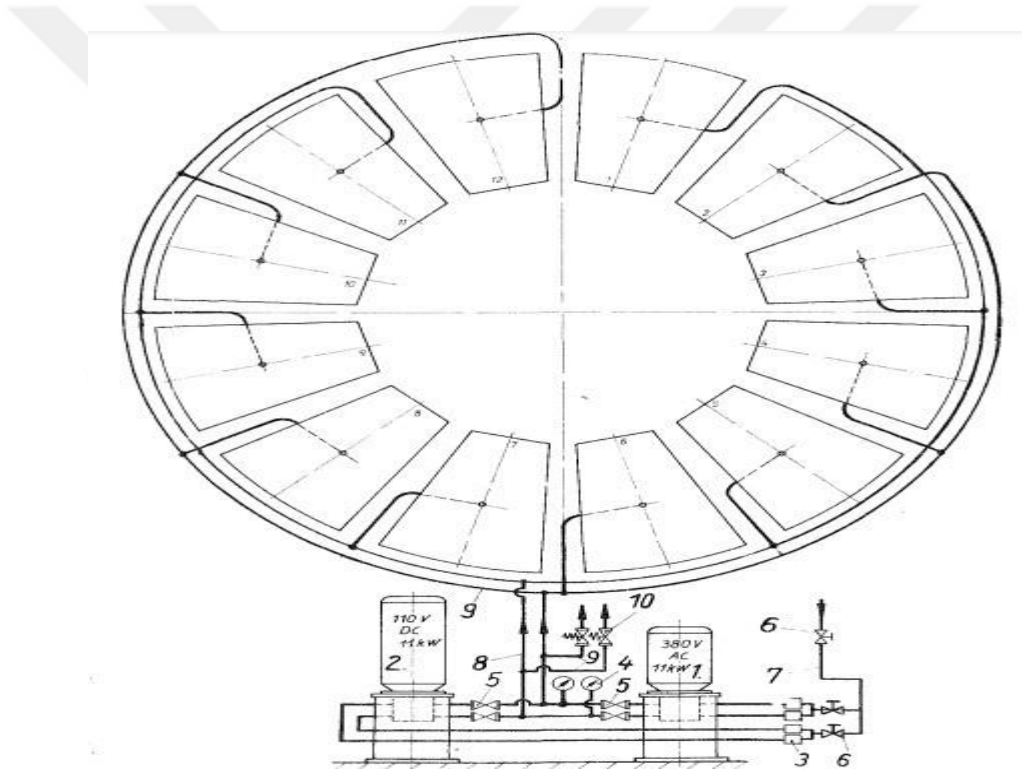
Şekil 4.13. Elimko PR-100 haberleşme ve bilgilendirme cihazı



Şekil 4.14. Cıvalı elektrik kontaklı termometreler

SCADA sistemiyle birlikte PT-100'lerde okunan değerler enerji kablolarıyla bilgisayarlardan anlık olarak kontrol edilmektedir. 12 lokmadan 2, 5, 8 ve 11 numaralı pedlerde PT-100 montajlıdır. Şekil 4.15.'te gösterilen PT-100ler taşıyıcı yatağın içinde bulunan kontak deliği vasıtasıyla lokmanın ortasına doğru ilerleyip anlık sıcaklık takibi yapmaktadır. PT-100'ler aldıkları sıcaklığı elektrik

direnci olarak sisteme yansıtan bir rezistans termometredir. 4 numaralı ped de ise cıvalı kontak vardır. Bu kontak cıvalı sıcaklık göstergesine bağlıdır. Bu göstergenin verileri aynı zamanda SCADA sistemine iletilmektedir. Rehabilitasyon kapsamında mevcutta bulunan PT-100'ler ve cıvalı gösterge yeni teknolojiye uygun hale getirildi. SCADA sistemi alarm ve trip işlemini gerçekleştirmek için şekil 4.13.'teki PT-100 ölçüm cihazlarından almaktadır. Trip işlemi, ünitenin herhangi bir tehlike sebebiyle kendini korumaya almak amaçlı servis harici olması durumudur. İlk kurulum değerlerinde alarm 85°C, trip değeri ise 90°C'dir. Fakat önlem amaçlı bu değerler 83°C ve 85°C olarak değiştirilmiştir. Rehabilitasyon işleminin tamamlanmasından sonra PT-100ler ve cıvalı göstergenin kontağı sıvı conta yardımıyla sızdırmazlığı sağlanarak taşıyıcı yatak lokmalarında bulunan kontak deliğine montajlanmıştır.



Şekil 4.15. Keban HES taşıyıcı yatak yağlama sistemi (Vol-II Proje 3707-222.226 863 Rp-2)

Taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığının formülünün çıkartılışında akışkanlar mekaniğinde yaygın olarak kullanılan denklem çeşitlerinden Navier-Stokes denklemleri kullanılacaktır. Navier-Stokes denklemi çözülerek hesaplama için kullanılan formüle gidilecektir. [34]

$$\rho * \left(u * \frac{\partial u}{\partial x} + v * \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu * \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial P}{\partial x} \text{(Navier-Stokes)}$$

$$\rho * \left(u * \frac{\partial u}{\partial x} + v * \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu * \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$\Delta E_{sistem} = E_{iç} - E_{dış} (\text{Termodinamiğin 0. Yasası})$$

$$\Delta U = Q - W \quad (4.4)$$

Sabit akış proseslerinde;

$$\Delta E_{sistem} = 0$$

$$(E'_{iç} - E'_{dış})_{ısı} + (E'_{iç} - E'_{dış})_{iş} + (E'_{iç} - E'_{dış})_{kütle} = 0 (\text{Termodinamiğin 1. Yasası - Enerjinin Korunumu Yasasına Göre}) \quad (4.5)$$

$$E_{akış} = h + Ke + Pe \quad (\text{iç enerji ve enerji akışı - Bernoulli denkleminde göre})$$

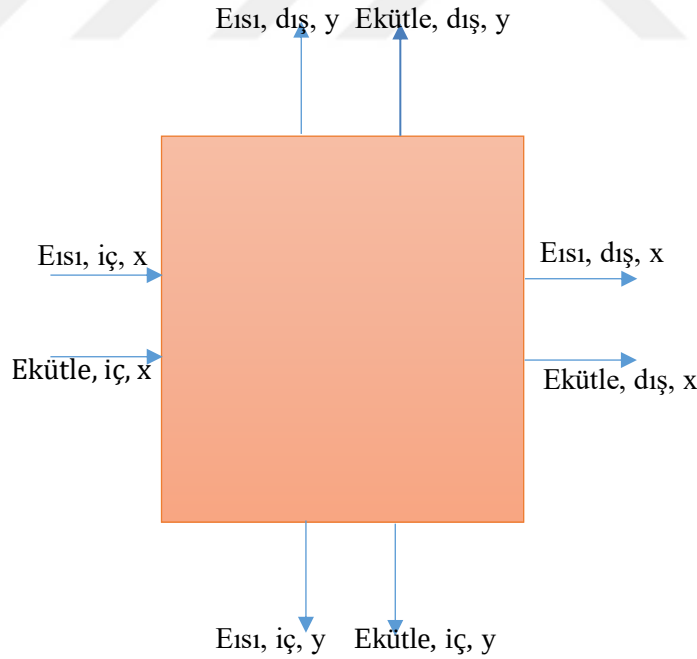
Denklemdaki elemanları detaylandırırsak;

$$h: \text{entalpi, } pe = gz, ke = \frac{v^2}{2} = \frac{u^2 + v^2}{2}$$

h (entalpi) yi alttaki sabit koşullar altında akışkanın enerjisini hesaplamak için 5.5. nolu denklemde yerine koyarsak;

ρ =yoğunluk, C_p =Özgül Isı, μ =Dinamik Viskozite ve k = Isı İletim Katsayısı sabit koşuluyla, $E_{akış} = h = C_p T$ olarak hesaplanır. [34]

Detaylı hesaplamaları alta verilen düzenli iki boyutlu akışta termal sınır tabakasındaki diferansiyel kontrol hacmi ile ilişkili ısı ve kütle akışı yoluyla enerji transferlerinin şeması şekil 4.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Düzenli iki boyutlu akışta termal sınır tabakasındaki diferansiyel kontrol hacmi ile ilişkili ısı ve kütle akışı yoluyla enerji transferleri. [34]

$$= (E'_{iç} - E'_{dış})_{kütle, x} = (m'e)_{akış, x} - [(m'e)_{akış, x} + \frac{\partial(m'e)_{akış, x}}{\partial x} dx] \quad (4.6)$$

$$= -\frac{\partial[\rho u(dy.1)CpT]}{\partial x}dx \quad (4.7)$$

5.7. denkleminin integrali alınır;

$$= -\rho Cp \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + T \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx dy \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (4.8)$$

Kütle tarafından kontrol hacmine aktarılan net enerjinin hesabı;

$$= (E'_{iç} - E'_{dış})kütle = -\rho Cp \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + T \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx dy - \rho Cp \left(v \frac{\partial T}{\partial y} + T \frac{\partial v}{\partial y} \right) dx dy \quad (4.9)$$

X ve y yönündeki 5.9. denklemi türevle sadeleştirilirse;

$$= -\rho Cp \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx dy \quad (4.10)$$

$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ Süreklilik denkleminde elde edilir.

X yönünde hacim elemanına iletilen net ısı iletim hızı; sırayla hesaplanırsa;

$$= (E'_{iç} - E'_{dış})_{ısı,x} = \dot{Q}_x + \frac{\partial \dot{Q}_x}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(-k(dy.1) \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy \quad (4.11)$$

$$(E'_{iç} - E'_{dış})_{ısı,y} = \dot{Q}_y + \frac{\partial \dot{Q}_y}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial y} \left(-k(dx.1) \frac{\partial T}{\partial y} \right) dy = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dx dy \quad (4.12)$$

Bunu y yönü için tekrar edip sonuçları eklediğimizde, ısı iletimiyle kontrol hacmine aktarılan net enerji transfer hızı;

$$= (E'_{iç} - E'_{dış})_{ısı} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dx dy = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) dx dy \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (4.13)$$

Daha sonra, sabit özelliklere ve ihmal edilebilir kayma gerilmelerine sahip bir akışkanın kararlı iki boyutlu akışı için enerji denklemi, 5.10 ve 5.11 numaralı denklemlerin 5.5 numaralı denklemde yerine konulmasıyla elde edilir.

$$\rho Cp \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4.14)$$

Bu, akışkan tarafından kontrol hacminin dışına taşınan net enerji miktarının, ısı iletimi yoluyla kontrol hacmine aktarılan net enerji miktarına eşittir. Viskoz kayma gerilmeleri ihmal edilemez olduğunda, enerji denklemini bunların etkisi hesaba katılarak şu şekilde ifade edilir.

$$\rho Cp \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \Phi \quad (4.15)$$

Viskoz ısı dağılımı fonksiyonu;

$$\Phi = 2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2\right] \quad (4.16)$$

Statik bir akışkan özel durumunda, $u=v=0$ olduğunda enerji denklemi, beklendiği gibi, kararlı iki boyutlu ısı iletim denklemi haline gelir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (4.17)$$

Bu durumda viskoz dağılmadan kaynaklanan sürtünme sebepli ısınma, yağın yüksek viskozitesi ve büyük plaka hızı nedeniyle önemlidir. Plakalar izotermaldir ve akış yönünde bir değişiklik yoktur ve bu nedenle sıcaklık sadece y 'ye bağlıdır, $T=T(y)$. Ayrıca, $u=u(y)$ ve $v=0$ 'dır. Daha sonra dağılma kaynaklı enerji denklemi (Denklem 5.11 ve 5.12) aşağıdakilere indirgenir.

$$0 = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \rightarrow k \frac{d^2 T}{dy^2} = -\mu \left(\frac{V}{L}\right)^2 \quad (4.18)$$

Çünkü $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{V}{L}$, dir. Her iki tarafı k 'ye bölüp ve iki kez integral alırsak;

$$T(y) = -\frac{\mu}{2k} \left(\frac{y}{L} V\right)^2 + C_3 y + C_4 \quad (4.19)$$

$T(0)=T_0$ ve $T(L)=T_0$ sınır koşulları uygulandığında sıcaklık dağılımı bu şekilde olur:

$$T(y) = T_0 + \frac{\mu V^2}{2k} \left(\frac{y}{L} - \frac{y^2}{L^2}\right) \quad (4.20)$$

Sıcaklık gradyanı, $T(y)$ 'nin y 'ye göre türevi alınarak hesaplanır:

$$\frac{dT}{dy} = \frac{\mu V^2}{2kL} \left(1 - 2\frac{y}{L}\right) \quad (4.21)$$

Maksimum sıcaklık noktası $dT/dy=0$ ayarlanarak hesaplayıp y 'i için çözersek;

$$\frac{dT}{dy} = \frac{\mu V^2}{2kL} \left(1 - 2\frac{y}{L}\right) = 0 \rightarrow y = L/2 \text{ bulunur.} \quad (4.22)$$

$$T(y) = \frac{\mu V^2}{2K} \left(\frac{y}{L} - \frac{y^2}{L^2}\right) \quad [34] \quad (4.23)$$

ise;

$y=L/2$ için

$T(y)$: Yağ Filmi Kalınlığının Sıcaklığı

T_0 : Serpantin Yağ Giriş Sıcaklığı

μ : Dinamik Viskozite [34]

V : Çevresel Hız (Türbinin devir hızı 166,67 rpm'e göre hesaplanmıştır.)

K : Isıl İletkenlik Katsayısı (Mobil DTE Heavy Medium 68 teknik özellikleri tablosundan interpolasyon işlemi yapılarak ara değerler bulunmuştur.)

y: Taşıyıcı Yatak Yarıçapı(Yarıçap değeri hesaplanırken lokmalarda sıcaklık ölçümü yapan PT100'lerin lokmanın içindeki son noktası hesaplanmıştır.)

L: Taşıyıcı Yatak Çapı (Çap değeri hesaplanırken lokmalarda sıcaklık ölçümü yapan PT100'lerin lokmanın içindeki son noktası hesaplanmıştır. PT-100'ün konumu Keban HES Proje 3551-22.226858 GZ-1'den alınmıştır.)

Ünite devreye girdiği ilk andan itibaren taşıyıcı yatak serpantinlerine giren yağın sıcaklığı 10 dakika arayla ölçülerek değerler kaydedilmiştir. Bu değer rehabilitasyon sonrası üniteye yapılan ölçümü göstermektedir.

0. saniyedeki değer için hesaplamalar yapılarak yağ filminin sıcaklık değeri bulunmuştur.

$T_o = 19,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Sıcaklık Değeri SCADA sisteminden ünite devreye girerken okunan değerdir.)

$\mu = 0,21195 \frac{N \cdot sn}{m^2}$ (Bu değer tablodan okunarak $19,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ için interpolasyonla hesaplanmıştır.)

$$V = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \right) \quad (4.24.)$$

Çevresel hız hesaplanırken D değeri PT100'ün sıcaklık değerini ölçtüğü yerdeki taşıyıcı yatak ile shaftın merkezi arasındaki çap olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

$$\frac{\pi \cdot 1,74 \cdot 166,7}{60} = 15,187 \text{ m/sn}$$

k: $0,1317104\text{ W/mC}$ (Hesaplamalar Kelvin yerine Celcius cinsinden yapılmıştır. Bütün değerler aynı cinsten hesaplandığı için Kelvin yerine Celcius kullanılması sonucu değiştirmeyecektir.)

$y = 0,87\text{ m}$

$L = 1,74\text{ m}$

$W: N/snm^2$

$$T(y) = 19,92^{\circ}\text{C} + \frac{0,21195 \left(\frac{N \cdot sn}{m^2} \right) \cdot 15,187^2 \left(\frac{m^2}{sn^2} \right)}{2 \cdot 0,131704 \left(\frac{N \cdot m}{sn \cdot m \cdot C} \right)} \cdot \left(\frac{0,87m}{1,74m} - \frac{0,87^2 m^2}{1,74^2 m^2} \right)$$

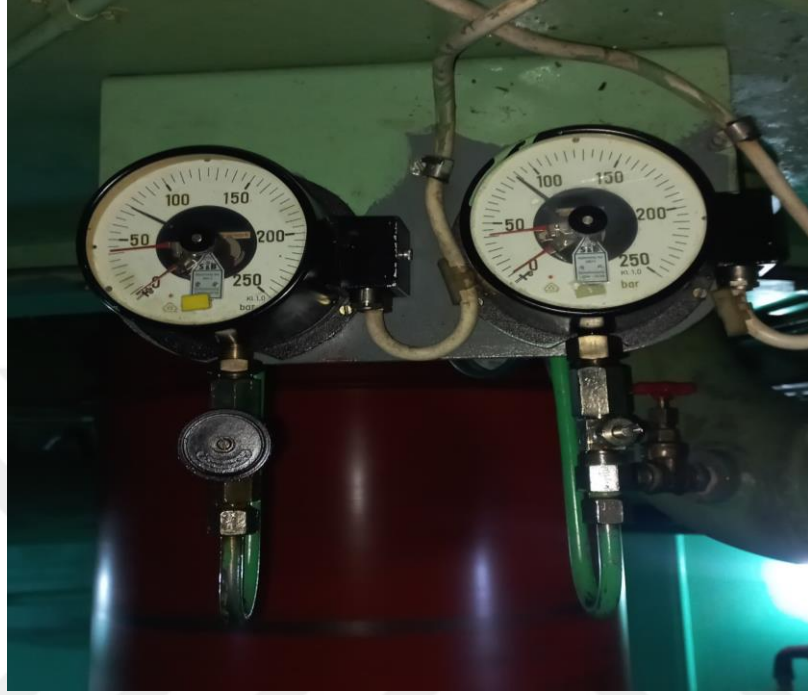
İşlemler yapıldıktan sonra;

$\gg T(y) = 66,31459107\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanır.

4.2.2. Basınç-Kuvvet Hesaplamaları:

Basınç hesabı yapılırken taşıyıcı yatakta bulunan 2 adet gliserinli basınçölçerler yardımıyla ölçüm alınmıştır. HES'ler gibi vibrasyonun yüksek olduğu yerlerde, vibrasyon sebebiyle oluşacak basınç değişikliğini engellemek ya da ani basınç yükselmelerinden etkilenmemek amacıyla gliserinli basınç göstergeleri gibi içi sıvı dolu basınçölçerler kullanılmaktadır. Ölçüm alınırken 2 adet uçta bulunan yağ girişinden ölçülen değerler referans alınmıştır. Biri 6 numaralı lokmadan giriş yapıp çift sayılı 6 adet lokmayı yağla basınçlandırır, diğeri ise 7 numaralı lokmadan giriş yapıp tek sayılı 6 adet lokmayı yağla basınçlandırır. İki basıncın ortalama değeri esas alınarak işlem yapılmıştır.

Yapılan ölçümler esnasında kullanılan gliserinli basınç göstergesi şekil 4.17’de gösterilmektedir. Göstergeler taşıyıcı yatağın muhafaza ringinin altında kontaklı vaziyette bulunmaktadır.



Şekil 4.17. Taşıyıcı yatak basınç ölçüm göstergeleri

P_m değerleri taşıyıcı yatak pompası devreden çıkıp ünitenin kendi basınç değerlerine ulaşmasından sonra alınmıştır. 30 saniye arayla değer alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$P_m = \frac{F_a}{0,8 \cdot d_m \cdot 0,3 \cdot b} \quad [18] \quad (4.25)$$

P_m : Taşıyıcı Yatak Basıncı

b : Taşıyıcı Yatak Lokma Eni(Proje üzerinden değer alınmıştır.)

d_m : Taşıyıcı Yatak Ortalama Çapı(Proje üzerinden değer alınmıştır.)

F_a : Taşıyıcı Yatağa Etkiyen Eksenel Kuvvet

İlgili formüller megapond cinsinden verilmiştir. (Hidayet Başeşme) 1 megapond değeri yaklaşık olarak 9,80665 kN’a eşdeğerdir. Bulunan değerler dönüştürülmüştür.

Taşıyıcı yatakta pompa devreden çıktıktan sonra ölçülen basınç değeri 45,25 bardır.

$$1\text{bar} = 10^5 \text{Pa}$$

$$4525000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{F_a}{0,8m \cdot 1,8 \cdot 0,3 \cdot 0,6m}$$

$$>> F_a = 4525000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,8m \cdot 1,8 \cdot 0,3 \cdot 0,6m \text{ işleminin sonucu;}$$

>> $Fa = 1172880 \frac{N}{10^6}$ 'ya bölersek;

>> $Fa = 1,17288 MN$

Projeye() göre maksimum taşıyıcı yatak yükü 620 mp'dur. Bu yük generatör rotorundan çark rotoruna kadar dönen tüm aksam ile sisteme giren toplam su kütesinin toplamına eşittir.

$1 MP = 9,80665 kNise$

Dönüşüm işlemi yapılarak F_{max} hesaplanmak istenirse;

$F_{max} = 620 * 9,80665$

$F_{max} = 6080 kN$ bulunur. kN olarak bulunan değerler

$F_{max} = 6,08 / (10^3)$ işlemi yapılarak;

$F_{max} = 6,08 MN$ 'a dönüştürülür.

$F_{max} > Fa$ koşulu sağlanmıştır.

Değerler arasında en büyük ölçülen kuvvet değeri eski yatakta 450 ve 570. saniyelerde ölçülmüştür.

Bu değer 2423520 N'a eşittir. Bu değer de 2,42352 MN'a eşittir. Bu değer için yapılan değerlendirmede yine $F_{max} > Fa$ koşulu sağlanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hidrodinamik yağlamalı taşıyıcı yatakların sıcaklık performansı yağ filmi kalınlığı sıcaklığı, yatak metal sıcaklığı, yağ giriş sıcaklığı açısından rehabilitasyon öncesi ve sonrası eksenel olarak tablolar ve grafikler yardımıyla incelenerek gerekli analizler yapılmıştır. Eksenel yük altında kuvvetin ve taşıyıcı yatak basıncının performansı rehabilitasyon öncesi ve sonrası olarak tablo ve grafikler yardımıyla incelenerek gerekli analizler yapılmıştır. İlgili bulgular taşıyıcı yatak metal sıcaklığı açıklanarak başlayacaktır. Ölçümü yapılan taşıyıcı yatak metal sıcaklıkları materyal metot kısmında bahsedildiği üzere rehabilitasyon öncesinde Elimko cihazı ve cıvalı kontakten alınmış olan değerleri göstermektedir. Rehabilitasyon sonrasında ise PT-100'lerin SCADA'ya gönderdiği bilgilerden alınmış olan değerleri göstermektedir.

5.1. Taşıyıcı Yatak Sıcaklık Ölçümlerinin Analizi

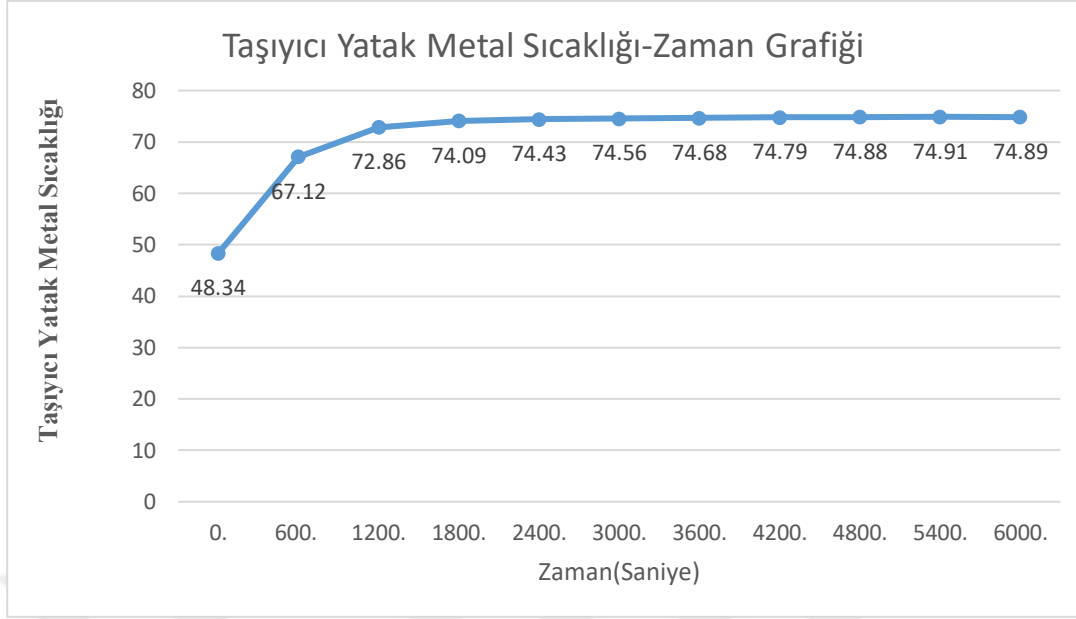
Bu kısımda taşıyıcı yatağın sıcaklığı ile ilgili durumlar değerlendirilmiştir.

5.1.1. Taşıyıcı Yatak Metal Sıcaklığının Analizi

Tablo 5.1.'de rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklıkları gösterilmiştir. Materyal ve metot kısmında durumla alakalı bilgilendirmeler yapılmıştır. Şekil 5.1.'de ise rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklıklarının devreye alındıktan sonra 6600. Saniyeye kadar olan sıcaklık değişimi gösterilmiştir. Tablo 5.1.'de ve şekil 5.1.'de verilen değerler sensörden okunmuş değerlerdir.

Tablo 5.1. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı

Zaman	Taşıyıcı Yatak Metal Sıcaklığı Rehabilitasyon Öncesi
0. saniye	48,34 °C
600. saniye	67,12 °C
1200. saniye	72,86 °C
1800. saniye	74,09 °C
2400. saniye	74,43 °C
3000. saniye	74,56 °C
3600. saniye	74,68 °C
4200. saniye	74,79 °C
4800. saniye	74,88 °C
5400. saniye	74,91 °C
6000. saniye	74,89 °C
6600. saniye	74,92 °C

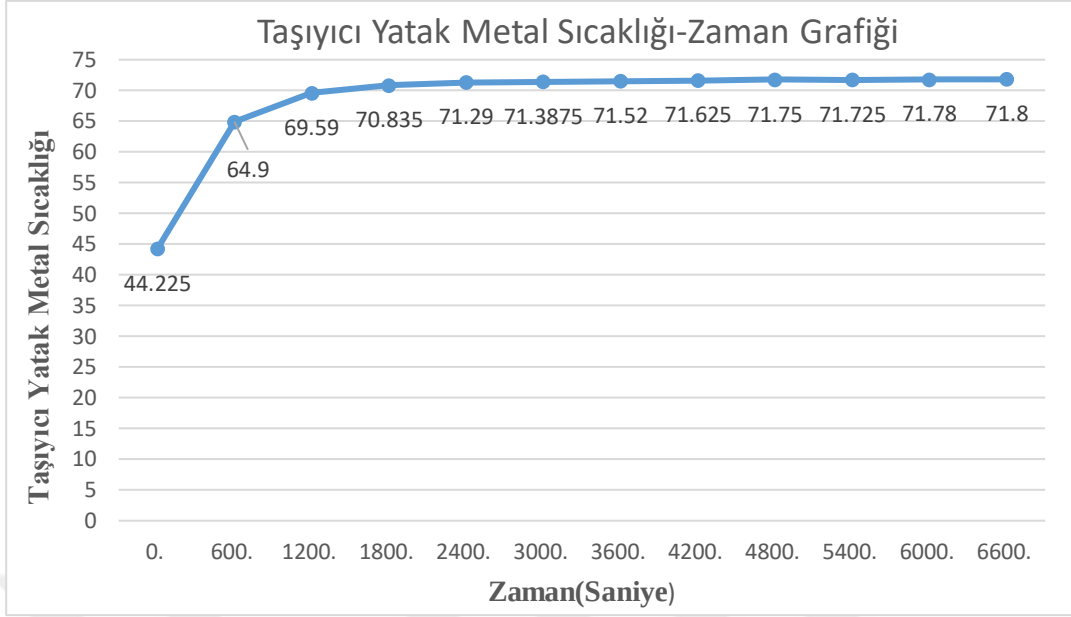


Şekil 5.1. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği

Rehabilitasyon öncesi lokma sıcaklık takibinin analizinde dikkat çeken durum şudur: 1200. saniyeye kadar sıcaklık yükselişi hızlı bir şekilde olmuştur. 1200. saniyeden sonra sıcaklık yavaşça yükselmeye devam etmiştir. 5400. saniyeden itibaren ise sıcaklık değerinin stabil duruma geldiği görülmüştür. Tablo 5.2.'de rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.2.'de ise rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığının grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.2. ve şekil 5.2'de verilen değerler matematiksel hesaplamalar yoluyla elde edilmiştir.

Tablo 5.2. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı

Zaman	Taşıyıcı Yatak Metal Sıcaklığı Rehabilitasyon Sonrası
0. saniye	44,225 °C
600. saniye	64,900 °C
1200. saniye	69,590 °C
1800. saniye	70,835 °C
2400. saniye	71,290 °C
3000. saniye	71,388 °C
3600. saniye	71,520 °C
4200. saniye	71,625 °C
4800. saniye	71,750 °C
5400. saniye	71,725 °C
6000. saniye	71,780 °C
6600. saniye	71,800 °C



Şekil 5.2. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği

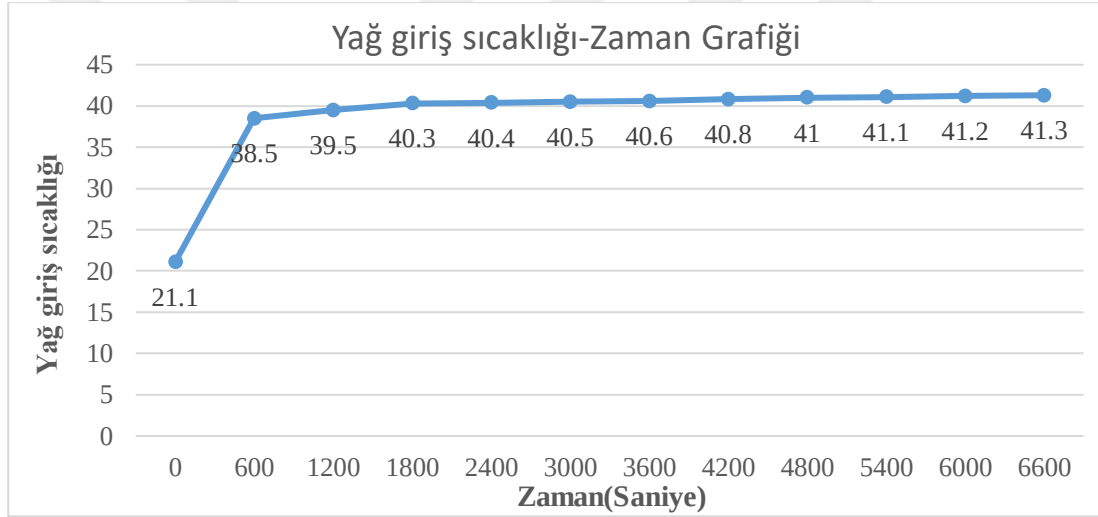
Rehabilitasyon sonrası lokma sıcaklık takibinin analizinde dikkat çeken durum şudur: 1200. saniyeye kadar sıcaklık yükselişi hızlı bir şekilde olmuştur. 1200. saniyeden sonra sıcaklık yavaşça yükselmeye devam etmiştir. 4800. saniyeden itibaren ise sıcaklık değerinin stabil duruma geldiği görülmüştür. Rehabilitasyon sonrası ünite sıcaklık değerlerinin öncesine göre daha yavaş yükseldiği ve aynı zaman periyodunda ünitenin yaklaşık 3,1 °C daha düşük sıcaklıkta çalıştığı tespit edilmiştir. Bu durum rehabilitasyon işleminin üniteye daha düşük sıcaklıklarda taşıyıcı yatağın çalışması avantajını sağlayarak hem yatağın ömrünü hem de yağın ömrünü uzatacaktır. Bu da ekonomik açıdan büyük faydalar sağlayacaktır.

5.1.2. Taşıyıcı Yatak Yağ Filminin Sıcaklığının Analizi

Taşıyıcı yatak yağ filminin analizi ile ilgili hesaplamalar materyal ve metotta formülünün çıkartılışı dahil tüm detaylarıyla gösterilmiştir. Taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklığı hesaplanırken en önemli etkenlerin başında yağ giriş sıcaklığı gelmektedir. Takibi yapılan yağ sıcaklığı değeri, taşıyıcı yatak salyangozuyla yönlendirilip yataktan soğutucu serpantinlere borular üzerinden giriş yaparken ölçülen sıcaklığı göstermektedir. Yağ giriş sıcaklığı materyal ve metot kısmında detayları verilen cıvalı kontaklı termometre yardımıyla ölçülmüştür. Değerler tablo 5.3.'te gösterildiği üzere ünite devreye alındıktan sonra alınmaya başlayıp 6600. saniyeye kadar takip edilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere rehabilitasyon öncesi yağ giriş sıcaklığı diğer parametreler gibi 600. saniyeden itibaren sıcaklık yükselme hızında yavaşlama meydana gelmiştir. Şekil 5.3.'te rehabilitasyon öncesi yağ giriş sıcaklığının grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.3. ve şekil 5.3.'te verilen yağ filmi giriş sıcaklığı değerleri cıvalı kontaklı termometrelerden elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Yağ filmi giriş sıcaklığı rehabilitasyon öncesi ve sonrasına göre kıyaslanması

Zaman	Rehabilitasyon Öncesi Yağ Giriş Sıcaklığı(T_o) °C
0. saniye	21,10 °C
600. saniye	38,50 °C
1200. saniye	39,50 °C
1800. saniye	40,30 °C
2400. saniye	40,40 °C
3000. saniye	40,50 °C
3600. saniye	40,60 °C
4200. saniye	40,80 °C
4800. saniye	41,00 °C
5400. saniye	41,10 °C
6000. saniye	41,20 °C
6600. saniye	41,30 °C

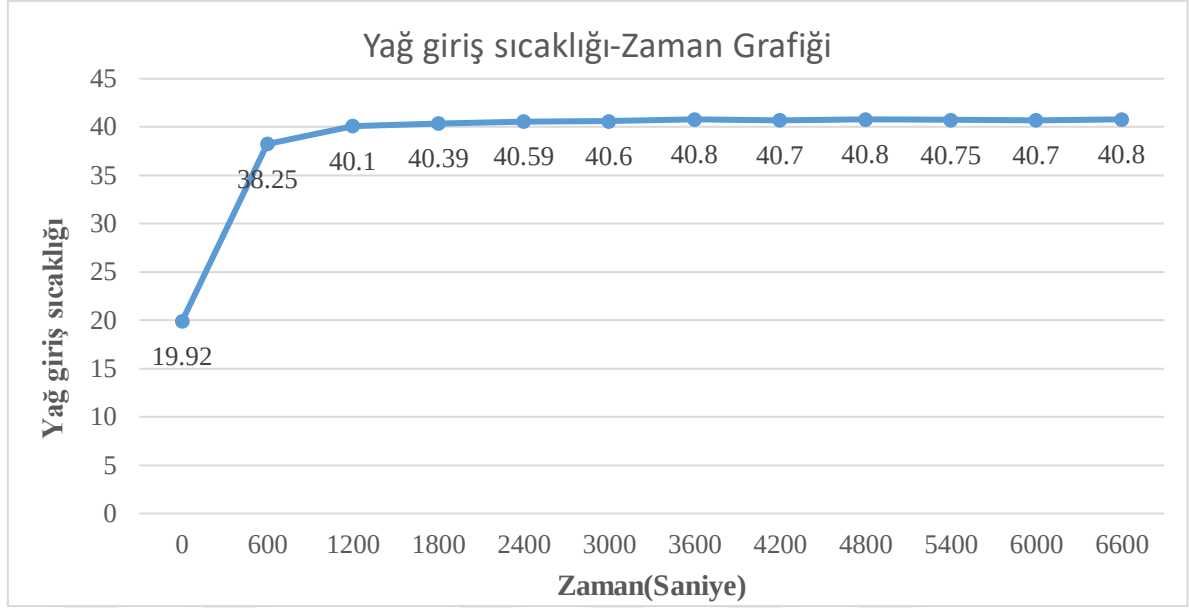


Şekil 5.3. Rehabilitasyon öncesi yağ giriş sıcaklığı

Tablo 5.4 ve şekil 5.4’te verilen yağ giriş sıcaklıkları sensörlerden alınmış değerleri göstermektedir.

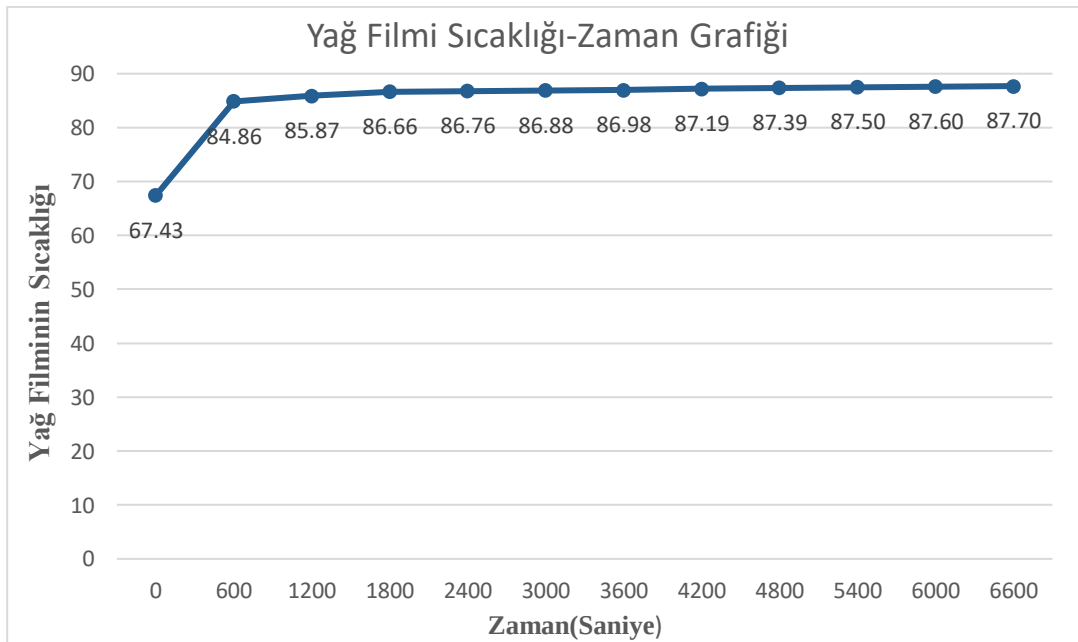
Tablo 5.4. Rehabilitasyon sonrası yağ giriş sıcaklığı

Zaman	Rehabilitasyon Sonrası Yağ Giriş Sıcaklığı(T_o) °C
0. saniye	19,92 °C
600. saniye	38,25 °C
1200. saniye	40,10 °C
1800. saniye	40,39 °C
2400. saniye	40,59 °C
3000. saniye	40,60 °C
3600. saniye	40,80 °C
4200. saniye	40,70 °C
4800. saniye	40,80 °C
5400. saniye	40,75 °C
6000. saniye	40,70°C
6600. saniye	40,80 °C



Şekil 5.4. Rehabilitasyon sonrası yağ giriş sıcaklığı

Yağ filmi sıcaklığı yağ giriş sıcaklığına paralel olarak değişir. Şekil 5.5.'te rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığının grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.5.'te ise rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığının zamana bağlı yükselişi gösterilmiştir. Şekil 5.5. ve tablo 5.5.'te verilen değerler matematiksel hesaplamalardan elde edilmiş değerleri göstermektedir.

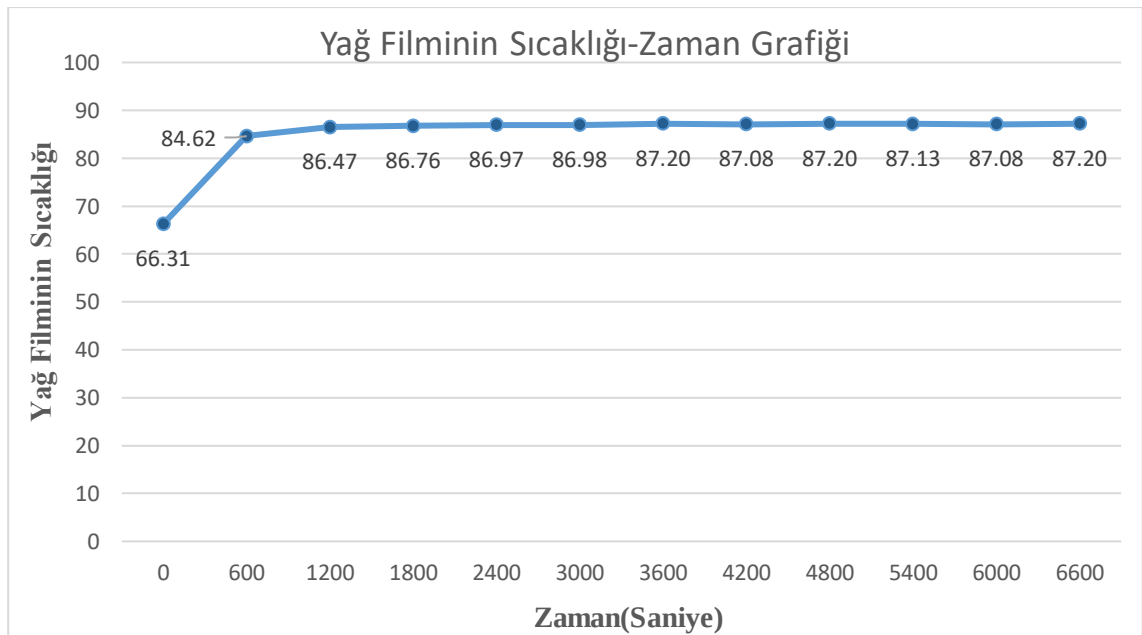


Şekil 5.5. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı grafiği

Tablo 5.5. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklığı

Zaman	Taşıyıcı Yatak Yağ Filminin Sıcaklığı[T(y)] Rehabilitasyon Öncesi
0. Saniye	67,428 °C
600. Saniye	84,863 °C
1200. Saniye	85,866 °C
1800. Saniye	86,663 °C
2400. Saniye	86,763 °C
3000. Saniye	86,877 °C
3600. Saniye	86,979 °C
4200. Saniye	87,186 °C
4800. Saniye	87,391 °C
5400. Saniye	87,498 °C
6000. Saniye	87,598 °C
6600. Saniye	87,700 °C

Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığının yükseliş eğrisi teorik hesaplamalara dayanmıştır. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı metal sıcaklığının yükseliş eğrisinin bu eğriyle örtüştüğü görülmüştür. Şekil 5.6'da taşıyıcı yatak yağ filminin rehabilitasyon sonrasında ölçülen sıcaklıklarının grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.6.'da ise rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklıklarının zaman karşı tablosu gösterilmiştir. Şekil 5.6. ve tablo 5.6.'da verilen değerler matematiksel hesaplamalardan elde edilmiş değerleri göstermektedir.



Şekil 5.6. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklık grafiği

Tablo 5.6. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı grafiği

Zaman	Rehabilitasyon Sonrası Taşıyıcı Yatak Yağ Filminin Sıcaklığı
0. Saniye	66,315 °C
600. Saniye	84,616 °C
1200. Saniye	86,466 °C
1800. Saniye	86,764 °C
2400. Saniye	86,971 °C
3000. Saniye	86,980 °C
3600. Saniye	87,198 °C
4200. Saniye	87,083 °C
4800. Saniye	87,198 °C
5400. Saniye	87,134 °C
6000. Saniye	87,083 °C
6600. Saniye	87,198 °C

Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filminin sıcaklık değerlerinin öncesine göre daha yavaş yükseldiği ve aynı zaman periyodunda ünitenin yaklaşık 0,5 °C daha düşük sıcaklıkta çalıştığı görülmüştür. Bu durum rehabilitasyon yapılan üniteye daha iyi bir yağ soğutma performansının olduğunu göstermiştir. Yağın daha iyi soğutulması yatağın metal sıcaklığının düşürülmesine olumlu etkide bulunacaktır. Bu durum uzun vadede taşıyıcı yatak performansına olumlu etki edecektir. Ayrıca rehabilitasyon işlemi taşıyıcı yatağın ve yataktaki yağın ömrünün uzatılmasına ve bir sonraki bakımın daha geç yapılmasına yarayacaktır. Uzun süreli enerji üretim kaybını engelleyip ekonomik olarak kazanç sağlanacaktır.

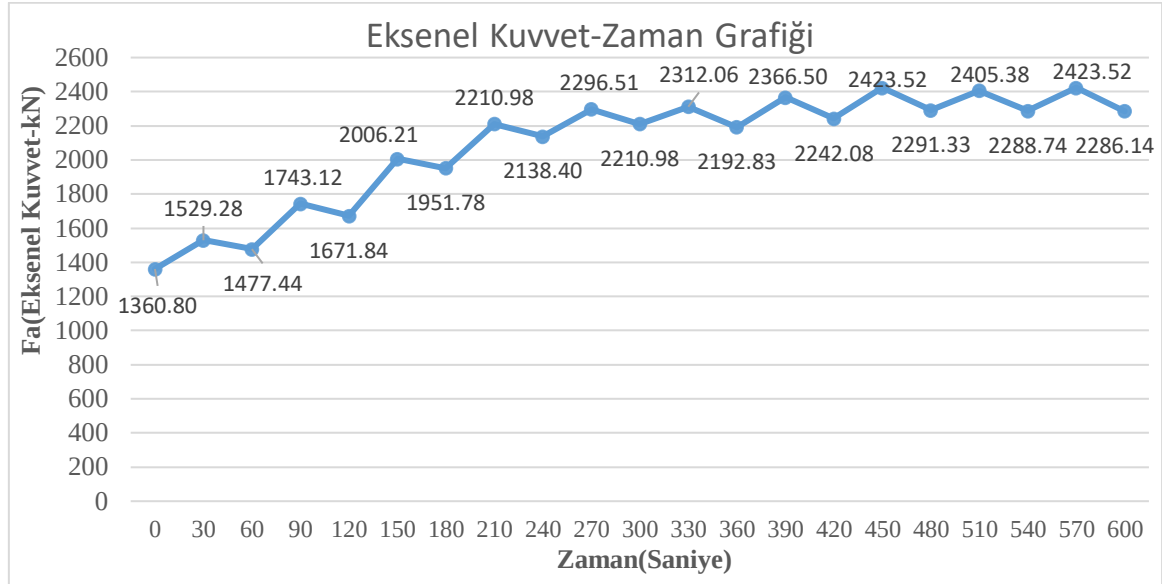
5.2. Taşıyıcı Yatak Eksenel Kuvvet ve Taşıyıcı Yatak Basınç Analizi

Taşıyıcı yataklar eksenel yükle çalışan hidrodinamik yağlamalı kaymalı yataklar sınıfına girmektedir. Bu sebeple eksenel kuvvetlerin ve buna bağlı olan taşıyıcı yatak basıncının rehabilitasyon öncesi ve sonrası durumunun analizi yapılmıştır.

5.2.1. Taşıyıcı Yatak Eksenel Kuvvet Analizi

Taşıyıcı yatakta eksenel kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler ünite üzerine ciddi baskılar oluşturmaktadır. Bu sebeple yapılan rehabilitasyon sonrasında önceki durum ile kıyas yapılarak ilgili durumun değerlendirilmesi yapılmıştır. Eksenel kuvvet değerleri matematiksel hesaplamalar ile elde edilmiş değerleri gösterir. Eksenel kuvvet hesabı rehabilitasyon öncesinde ve sonrasında ünite devreye girdiği andan ölçüme başlanıp ünite nominal yük değeri olan 157 MW'a ulaşip istikrarlı duruma gelinceye kadar 600 saniye takip edilmiştir. Şekil 5.7.'de rehabilitasyon öncesinde taşıyıcı yatakta ölçülen eksenel kuvvetlerin grafiği gösterilmiştir. Tablo 5.7.'de ise

rehabilitasyon öncesinde taşıyıcı yatakta ölçülen eksenel kuvvetlerin zamana karşı değişimi gösterilmiştir.

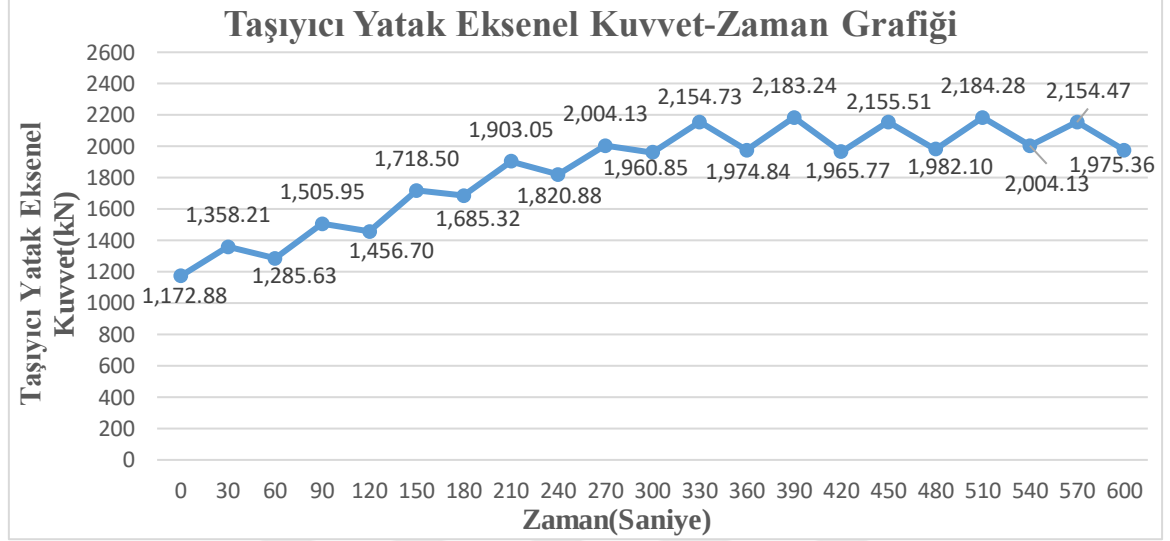


Şekil 5.7. Rehabilitasyon Öncesi Fa(Eksenel Kuvvet-kN) grafiği

Tablo 5.7. Rehabilitasyon Öncesi Fa(Eksenel Kuvvet-kN)

Zaman	Rehabilitasyon Öncesi Fa(Eksenel Kuvvet-kN)
0. Saniye	1360,80
30. Saniye	1529,28
60. Saniye	1477,44
90. Saniye	1743,12
120. Saniye	1671,84
150. Saniye	2006,21
180. Saniye	1951,78
210. Saniye	2210,98
240. Saniye	2138,40
270. Saniye	2296,51
300. Saniye	2210,98
330. Saniye	2312,06
360. Saniye	2192,83
390. Saniye	2366,50
420. Saniye	2242,08
450. Saniye	2423,52
480. Saniye	2291,33
510. Saniye	2405,38
540. Saniye	2288,74
570. Saniye	2423,52
600. Saniye	2286,14

Ünitede rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatakta ölçülen eksenel kuvvetlerin grafiği Şekil 5.8.'de gösterilmiştir. Tablo 5.8.'de ise ünitede rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatakta ölçülen eksenel kuvvetlerin zamana karşı değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.8. ve tablo 5.8.'de verilen eksenel kuvvet değerleri matematiksel hesaplamalardan elde edilmiş değerleri göstermektedir.



Şekil 5.8. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak eksenel kuvvet grafiği

Tablo 5.8. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak eksenel kuvvet değerleri

Zaman	Rehabilitasyon Sonrası Fa(Eksenel Kuvvet-Kn)
0. Saniye	1172,880
30. Saniye	1358,208
60. Saniye	1285,632
90. Saniye	1505,952
120. Saniye	1456,704
150. Saniye	1718,496
180. Saniye	1685,318
210. Saniye	1903,046
240. Saniye	1820,880
270. Saniye	2004,134
300. Saniye	1960,848
330. Saniye	2154,730
360. Saniye	1974,845
390. Saniye	2183,242
420. Saniye	1965,773
450. Saniye	2155,507
480. Saniye	1982,102
510. Saniye	2184,278
540. Saniye	2004,134
570. Saniye	2154,470
600. Saniye	1975,363

Rehabilitasyon öncesinde alınan eksenel kuvvet değerleri ile rehabilitasyon sonrasında alınan değerleri kıyasladığımızda şu tespitler yapılmıştır:

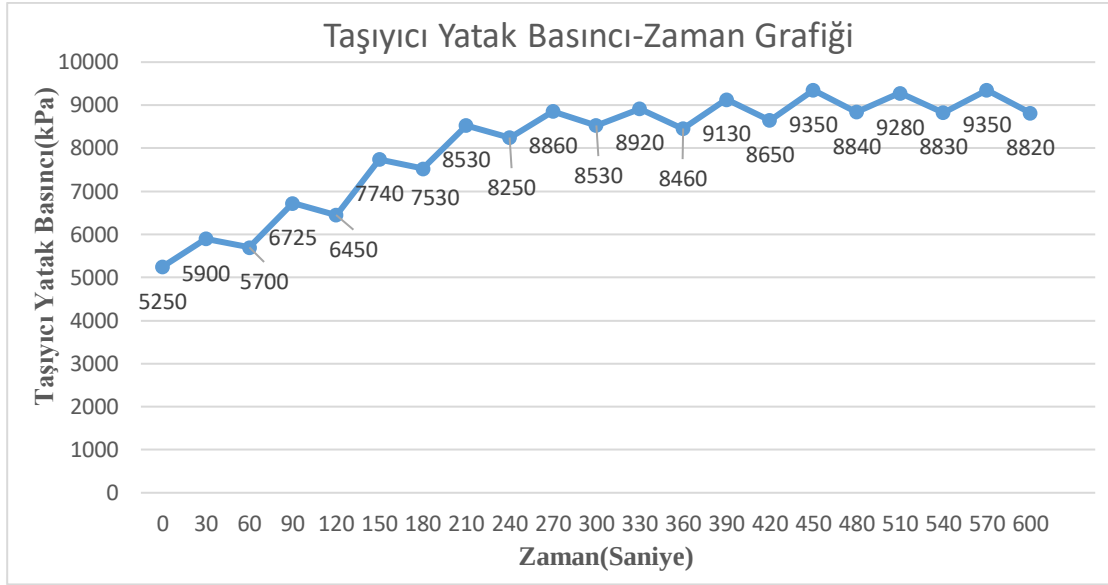
- Rehabilitasyon öncesinde alınan değerlerin istikrarlı hale geldikten sonra 2290 kN ile 2425 kN civarlarında dolaştığı görülmüştür. Rehabilitasyon sonrasında ise alınan değerlerin istikrarlı hale geldikten sonra 1960 kN ile 2155 kN civarlarında dolaştığı görülmüştür.
- Rehabilitasyon sonrasında oluşan değerlerin rehabilitasyon öncesine göre yaklaşık 300 kN daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum taşıyıcı yatağın rehabilitasyondan sonra daha az eksenel yüke maruz kalmasına rağmen aynı güçteki elektriği ürettiğini göstermektedir.
- Daha az eksenel yüke maruz kalan yatakların ekipmanlarında daha az yıpranma, aşınma, elektriksel darbeler vb. olumsuz şeyler görülecektir. Bu durum taşıyıcı yatak elemanlarının ömrünü uzatıp, bir sonraki yapılacak bakım işleminin daha geç olmasını sağlayacaktır.

5.2.2. Taşıyıcı Yatak Basınç Analizi

Taşıyıcı yatak basıncı rehabilitasyon öncesinde ve sonrasında ünitelerde materyal ve metot kısmında anlatıldığı üzere gliserinli iki adet basınçölçer tarafından ölçülmüştür. Hesaplamalarda ikisinin toplamının ortalama değeri kullanılmıştır. Rehabilitasyon öncesi basınç değerleri tablo 5.9'da ve rehabilitasyon öncesi basınç değerlerinin grafiği şekil 5.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak basıncı

Zaman	Rehabilitasyon Öncesi Taşıyıcı Yatak Basıncı(Pm-kPa)
0. Saniye	5250
30. Saniye	5900
60. Saniye	5700
90. Saniye	6725
120. Saniye	6450
150. Saniye	7740
180. Saniye	7530
210. Saniye	8530
240. Saniye	8250
270. Saniye	8860
300. Saniye	8530
330. Saniye	8920
360. Saniye	8460
390. Saniye	9130
420. Saniye	8650
450. Saniye	9350
480. Saniye	8840
510. Saniye	9280
540. Saniye	8830
570. Saniye	9350
600. Saniye	8820

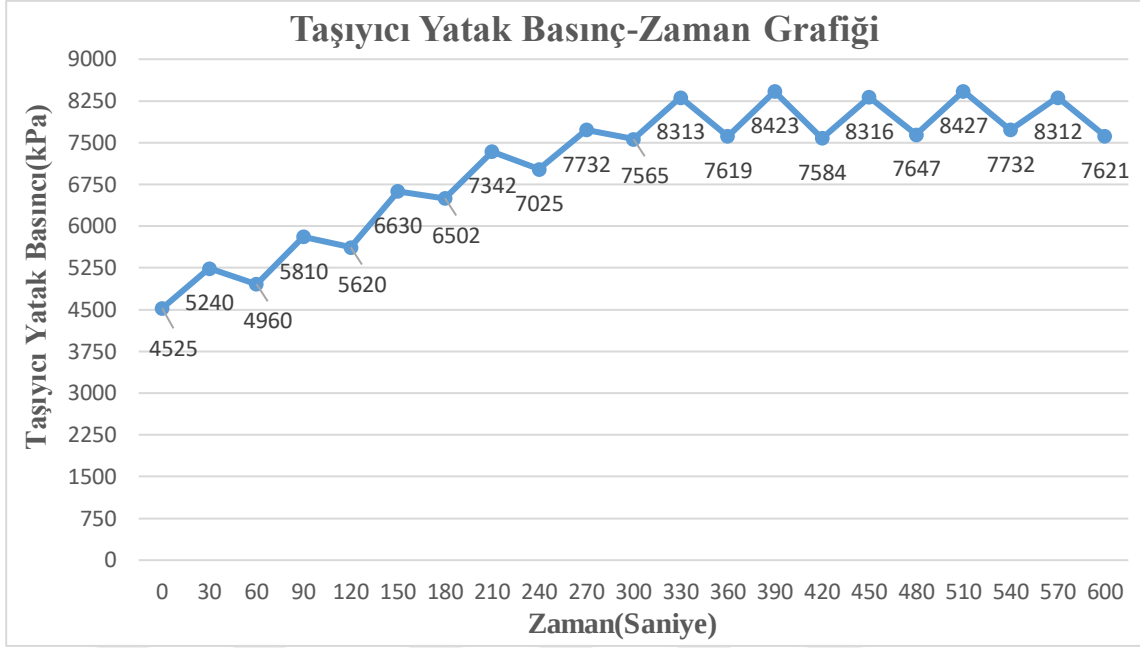


Şekil 5.9. Rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak basıncı grafiği

Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatakta ölçülen basınç değerleri tablo 5.10'da gösterilmiştir. Rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatakta ölçülen basınç değerlerinin grafiği şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Şekil 5.10. ve tablo 5.10.da alınan değerler gliserinli basınçölçerlerden alınmıştır.

Tablo 5.10. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak basıncı değerleri

Zaman	Rehabilitasyon Sonrası Taşıyıcı Yatak Basıncı(Pm-kPa)
0. Saniye	4525
30. Saniye	5240
60. Saniye	4960
90. Saniye	5810
120. Saniye	5620
150. Saniye	6630
180. Saniye	6502
210. Saniye	7342
240. Saniye	7025
270. Saniye	7732
300. Saniye	7565
330. Saniye	8313
360. Saniye	7619
390. Saniye	8423
420. Saniye	7584
450. Saniye	8316
480. Saniye	7647
510. Saniye	8427
540. Saniye	7732
570. Saniye	8312
600. Saniye	7621

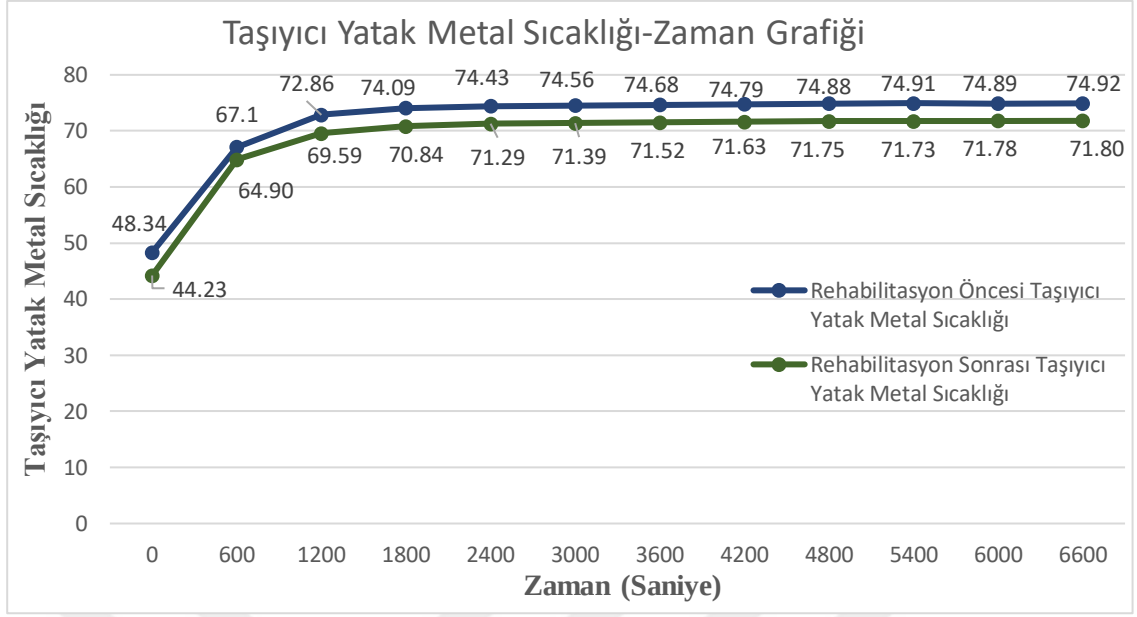


Şekil 5.10. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak basınç grafiği

157 MW güç üretimi esnasında taşıyıcı yataktaki basıncın rehabilitasyon öncesindeki durumu ile rehabilitasyon sonrasındaki durumunu karşılaştırarak şu tespitler yapılmıştır:

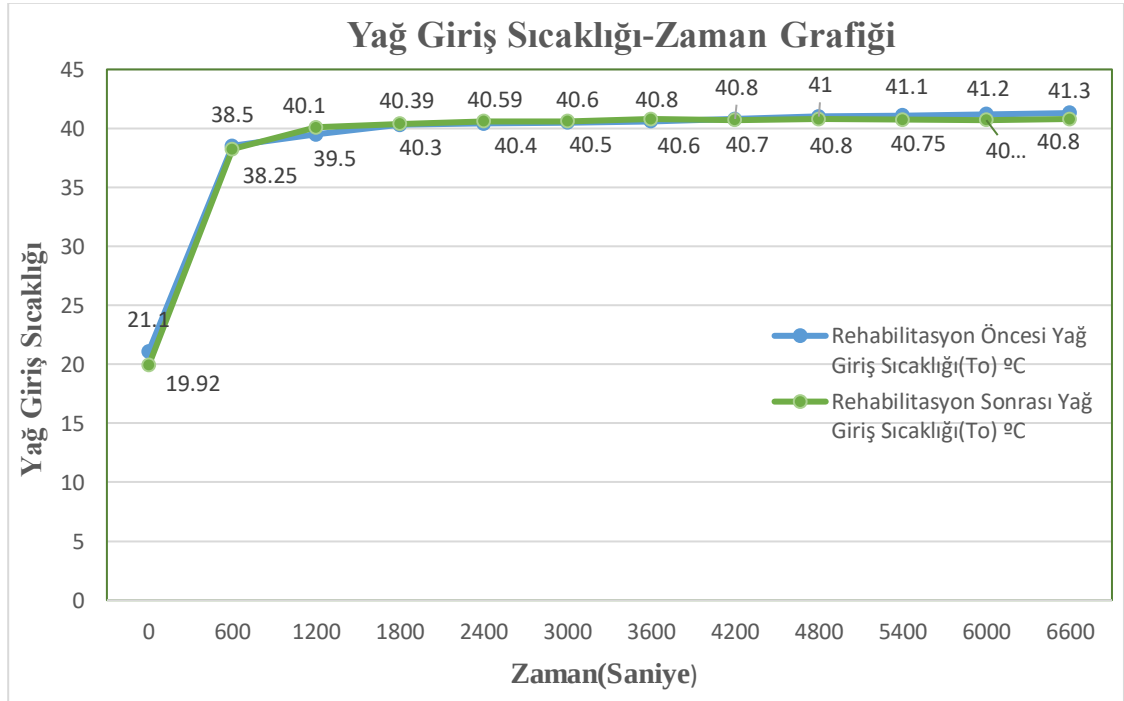
- Rehabilitasyon öncesinde taşıyıcı yatak basıncı rehabilitasyon sonrasına göre daha yüksek değerlerdedir. Rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatak basıncı ortalama 1000 kPa civarında azalmıştır.
- Taşıyıcı yataktaki basıncın düşmesi yatağın daha az yağ basınca maruz kalması demektir. Bu durum ünitenin çalışma ömrünün uzamasına yardımcı olacaktır.
- Taşıyıcı yatağın bakım ve onarım periyodunun uzamasını sağlayacaktır.

Yukarıda şekil ve tabloları verilen parametreler tek bir grafikte birleştirilerek kıyaslamalar yapılacaktır. Bu grafiklerden taşıyıcı yatak metal sıcaklığı, yağ giriş sıcaklığı ve taşıyıcı yatak basıncı sensörler veya cıvalı kontaklardan alınmış değerleri göstermektedir. Fakat taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı ve taşıyıcı yatağa yüklenen eksenel kuvvet matematiksel hesaplamalar sonucunda elde edilmiş değerleri göstermektedir. Şekil 5.11.'deki grafikte rehabilitasyon öncesi taşıyıcı yatak metal sıcaklığı ile rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklıkları kıyaslanmıştır.



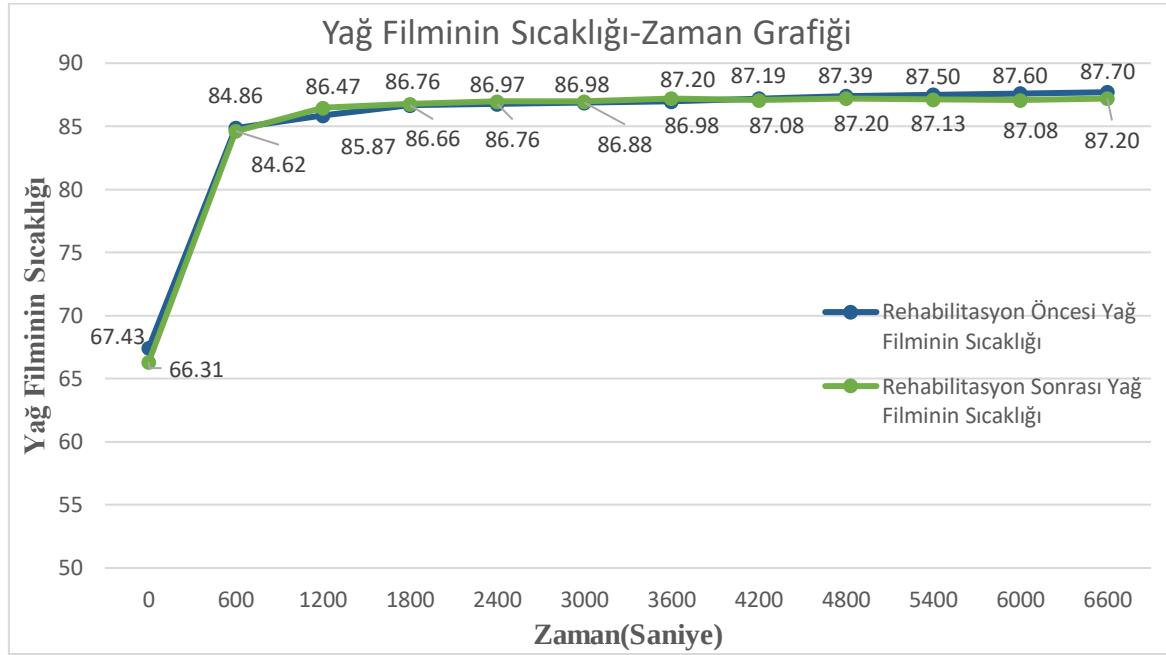
Şekil 5.11. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası taşıyıcı yatak metal sıcaklığı

Rehabilitasyon sonrası sıcaklık değerlerinin daha iyi durumda olduğu şekil 5.11'deki grafikten kolaylıkla anlaşılabilmektedir. Şekil 5.12.'de cıvalı kontaklar ve sensörlerden alınan değerler yardımıyla taşıyıcı yataktan soğutucu serpantinlere giriş yapan yağların sıcaklıkları rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası olarak kıyaslanmıştır.



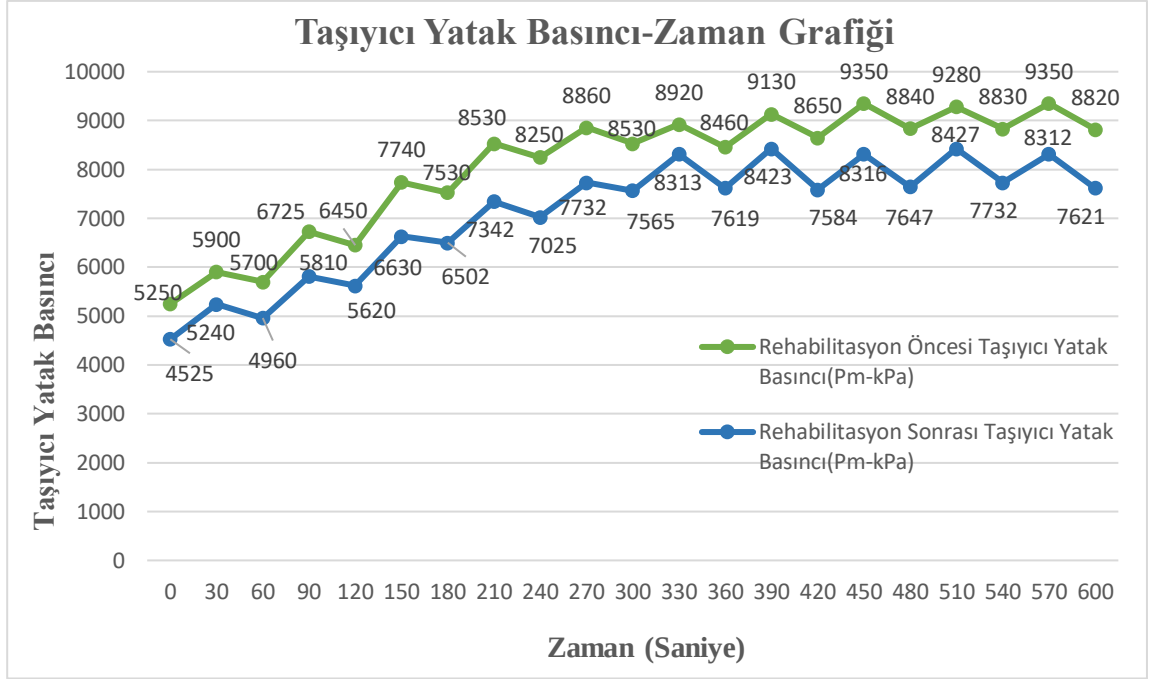
Şekil 5.12. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası serpantin yağ giriş sıcaklığı

Rehabilitasyon sonrası yağ giriş sıcaklık değerlerinin rehabilitasyon öncesine göre bir nebze daha iyi durumda olduğu şekil 5.12’deki grafikten anlaşılabilmektedir. Zaten yağların aşırı soğutulması viskozitesinin yükselmesine neden olup yatağın ısınmasına sebep olabileceği için rehabilitasyon sonrası yapılan soğutma işlemi ünite için yeterlidir. Şekil 5.13.’te taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığının rehabilitasyon öncesi değerleri ile rehabilitasyon sonrası değerleri grafikte kıyaslanmıştır.



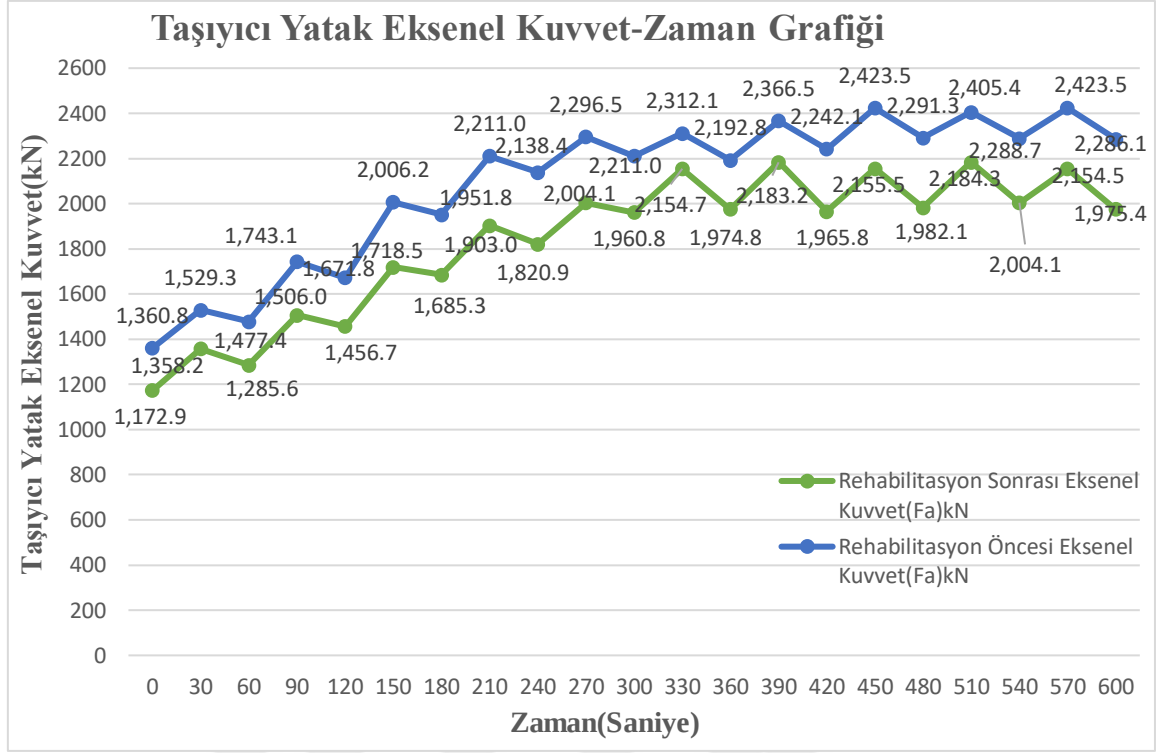
Şekil 5.13. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası yağ filmi sıcaklığı

Rehabilitasyon sonrası yağ filmi sıcaklık değerlerinin rehabilitasyon öncesine göre biraz daha iyi olduğu şekil 5.13’teki grafikten anlaşılabilmektedir. Çünkü yağ filmi sıcaklığı yağ giriş sıcaklığına bağlı değişken olması sebebiyle benzer özellikler göstermektedir. Basınçölçerlerden alınmış rehabilitasyon öncesi ve sonrası taşıyıcı yatak basıncı şekil 5.14.’te kıyaslanmıştır.



Şekil 5.14. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası taşıyıcı yatak basınç değerleri

Rehabilitasyon sonrası yatak basıncının rehabilitasyon öncesine göre ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Azalan değer taşıyıcı yatak için gayet uygun durumdadır. Yağ basıncının azalması ünite üzerinde oluşan basınç kuvvetinin de azalmasına katkı sağlayacaktır. Matematiksel hesaplamalardan çıkmış rehabilitasyon öncesi ve sonrası eksenel kuvvet değerlerinin kıyaslaması şekil 5.15.'te yapılmıştır.



Şekil 5.15. Rehabilitasyon öncesi ve sonrası eksenel kuvvet değerleri

Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatağa binen eksenel kuvvetin rehabilitasyon öncesine göre ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Eksenel kuvvetin azalması demek yatağın daha az yüke maruz kalması ve daha rahat koşullarda çalışmasını sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR

- Taşıyıcı yatakta rehabilitasyon sonrasında lokma pedinin sıcaklıklarında 3,12 °C düşüş yaşanmıştır. Rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatak, rehabilitasyon öncesi duruma göre %4,345 daha düşük seviyede çalışmaktadır. Ana güç trafolarında yakın zamanda yapılacak yenilemeyle birlikte taşıyıcı yatağın sıcaklık değerlerindeki düşüşün etkisiyle güç artışı yapılabilecektir. Bu sayede ünitenin gücündeki artış görülebilecektir. Rehabilitate edilen ünitelerin taşıyıcı yatağı ve diğer teçhizatları sayesinde güç üretimi esnasında verimde de artış olacaktır.
- Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ giriş sıcaklığı değerinin 6000 saniyeyi doldurmadan önce stabil bir hale kavuştuğu görülmektedir. Fakat rehabilitasyon öncesi durumda 6000 saniyeden sonra dahi bir miktar yükselmenin devam ettiği görülmektedir. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ sıcaklığında rehabilitasyon öncesi duruma göre % civarında düşüş olduğu görülmektedir.
- Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatak yağ filmi sıcaklığı, rehabilitasyon öncesine göre takip edilen sürede daha istikrarlı durumdadır. Rehabilitasyon sonrası durum rehabilitasyon öncesine göre yaklaşık 0,5 °C daha düşük değerdedir. Rehabilitasyon sonrası yağ filmi sıcaklığı, rehabilitasyon öncesi yağ filmi sıcaklığına göre %0,575 daha düşük değerde kalmıştır.
- Rehabilitasyon sonrasında eksenel kuvvette rehabilitasyon öncesine göre yaklaşık 300 kN düşüş yaşanmıştır. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatağın maruz kaldığı eksenel kuvvet değeri, rehabilitasyon öncesi eksenel kuvvet değerine göre ortalama %14,668 daha düşük değerlerdedir.
- Rehabilitasyon sonrasında taşıyıcı yatak yağ basıncı değerinin, rehabilitasyon öncesine göre ortalama 1000 kPa azaldığı görülmektedir. Rehabilitasyon sonrası taşıyıcı yatağın maruz kaldığı yağ basıncı değeri, rehabilitasyon öncesi yağ basıncı değerine göre ortalama %12,641 daha düşük değerlerdedir.

Rehabilitasyon öncesi duruma göre taşıyıcı yataklarda rehabilitasyon sonrasında metal sıcaklıkları, yağ sıcaklığı, yağ filmi sıcaklığı, eksenel kuvvet ve yağ basıncındaki düşüşler sistemin ekonomik ömrünü uzattığı gibi güç üretiminde de artış sağlanmasına müsaade etmektedir. Bu durum ülkemize büyük miktarlarda ekonomik katkılar sağlamaktadır. Ayrıca yapılan rehabilitasyon yatırım maliyetini de kısa sürede telafi edebilecektir.

ÖNERİLER

1. Çok eski santrallerde taşıyıcı yatak ya da diğer teçhizatların rehabilitasyon çalışmasını yapacak kişiler için; bakım çalışması sökülen tüm teçhizatlar alındıkları yerlere göre etiketleme işlemi yapılarak kayıt altına alınmalıdır. Montaj işlemi yapılırken de bu etiketlemelere göre davranılmalıdır.
2. Taşıyıcı yataktaki sürtünme kuvvetini azaltmak için mevcut yağ (ISO VG68), viskozitesi daha düşük ve viskozite indeksi daha yüksek bir yağ (örneğin ISO VG46) ile değiştirilebilir. Böyle bir yağın kullanımı yatak sıcaklığını düşürme yönünde olumlu etkiye bulunacaktır. Çünkü VG46 yağın viskozite indeksi 110, VG68'in ise 104'tür. Bu sebeple VG46 yağı viskozite indeksinin yüksek olması sayesinde sıcaklık değişiminden daha az etkilenecektir.
3. Yeni yatak imalatı yapan kişilere; taşıyıcı yatak lokma beyaz metal yüzeylerinde hızlı ısınan, aşınmaya müsait babbitt yataklar yerine mümkünse DLC çelikten mamul kaplama yataklar ya da teflon polimer malzemeden mamul taşıyıcı yatak yumuşak metal kaplamasına sahip yatak çeşitlerinin kullanılması taşıyıcı yataklarda var olan ısınma problemini çözecektir.
4. Hidroelektrik santrallerde çalışan kişilere; yatak soğutma serpantinlerinde körlemeler var ise serpantinin yenilenmesi gerekmektedir. Çünkü zaman içerisinde körlemeler artmaya devam edecektir. Bu durum hem soğutma performansı kaybına sebep olacak hem de her bir patlamada binlerce litrelik yağın suyla karışmasına, ünitenin devre dışı kalmasına sebep olacaktır. Yağın temizlenmesi birkaç gün süreceği için bu tür maliyetlerin önüne geçilmesi gerekmektedir.
5. Bu tarz akademik çalışmalar yapacak kişilere; bu tür çalışmaları başarıyla yapabilmenin en iyi yolu çalışmalarda sürecin başından sonuna kadar aktif rol almak, yapılan her şeyin fotoğrafını çekip kayıt altına almak ve tüm süreci yakından takip etmek gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TEMSAN, Hidroelektrik, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://temsant.gov.tr/p/186/hidroelektrik..> [Erişildi: 16 4 2024].
- [2] H. Baş, Hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda yüzey pürüzlülüğünün sürtünme davranışları üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, cilt 12, no. 3, pp. 877-887., 2022.
- [3] H. A. S. Howarth, Slow-speed and other tests of Kingsbury thrust bearings, *Journal of Fluids Engineering*, no. 41, pp. 685-707, 1919.
- [4] O. Tretiak, D. Kritskiy, I. Kobzar, M. Arefiieva ve V. Nazarenko, The methods of three-dimensional modeling of the hydrogenerator thrust bearing., *Computation*, cilt 10, no. 9, p. 152, 2022.
- [5] L. Dabrowski ve M. Wasilczuk, Influence of hydrostatic pump operation period on performance of a thrust bearing of a 125 MW pump-turbine, *Mechanics & Industry*, cilt 5, no. 1, pp. 3-9, 2004.
- [6] K. P. Amber, B. Akbar, K. Afzal, N. Bashir, A. Ijaz ve H. Moshtaq, Forecasting Thrust Bearing Temperature of 100 MW Francis Turbine, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, pp. 15-23, 2017.
- [7] Z. Ji, Y. Shi, X. Da, J. Cao, Q. Gong, Z. Wang ve X. Huang, Influence of Installation Deviation of Thrust Bearing on Oil Film Flow of 1000 MW Hydraulic Turbine Unit, *Water*, cilt 15, no. 9, p. 1649, 2023.
- [8] E. K. Elsayed, H. Sayed ve T. A. El-Sayed, Analysis of second-order thrust bearing coefficients considering misalignment effect, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, cilt 12, no. 2, pp. 1957-1977, 2024.
- [9] M. Wasilczuk ve M. Wodtke, Experimental study on the feasibility of alternative materials for tilting pad thrust bearings operating in transition to mixed friction, *Friction*, cilt 12, no. 4, pp. 812-822, 2024.
- [10] M. Bashyal ve L. Poudel, Performance analysis and rehabilitation prospective of aged Small Hydropower Plant—A Case Study of Fewa Hydropower Plant (1 MW).. Pulchowk Campus, Institute of Engineering, L, *In Proceedings of 10th IOE Graduate Conference*, Nepal, 2021.
- [11] A. Shkurti, Assessing Socio-Environmental Externalities of Big Hydro Power Projects: The Case of Skavica, *European Journal of Sustainable Development*, cilt 11, no. 3, pp. 356-356, 2022.
- [12] M. A. d. A. Araujo, J. J. Gimenez Ledesma ve J. Hideo Ando, Methodology to rehabilitate hydroelectric power plants, *Dyna*, cilt 89, no. 223, pp. 114-120, 2022.
- [13] J. Zhou, B. Blair, D. Argires ve D. Pitsch, Experimental performance study of a high speed oil lubricated polymer thrust bearing, *Lubricants*, cilt 3, no. 1, pp. 3-13., 2015.

- [14] F. L. Camera, Renewable Energy Capacity Statistics 2024, International Renewable Energy Agency (IRENA) , Abu Dhabi, 2024.
- [15] T. E. İ. A.Ş., 2024 Mayıs Ayı Kurulu Güç Tablosu, TEİAŞ, Ankara, 2024.
- [16] T. E. Bakanlığı, Haberler-T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21270>. [Erişildi: 25 05 2024].
- [17] A. Yıldırım, Oryantasyon Raporu, EÜAŞ, Elazığ, 2021.
- [18] H. Başeşme, Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri, Ankara: EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı, 2003.
- [19] M. A. Bütüner ve İ. Koşalay, Hidroelektrik Santrallerin Hız Regülatörlerinin Hidrolik Ünitelerinde Makine Öğrenmesi Temelli Anomali Tespiti.(p. 55)., *In The 14th International Scientific Research Congress*, online, 2022.
- [20] B. Brown, How to Install an Ultrasonic Flow Meter? - Deciding Between Z, V, N, or W Methods for Probe Installation, LORRIC, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.lorric.com/en/Articles/flowmeter-technology/ultrasonic-flowmeter/how-to-install-ultrasonic-flowmeter-z-v-n-w-method#topic3>. [Erişildi: 01 10 2024].
- [21] D. Markaca.NET, Raynel Çelik Şim ve Ara parça çelikleri -Laynel, rayner şim pul shim pul, layner, Tuncer Metal , [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://tuncermetal.com/Duyuru/Oku/7>. [Erişildi: 17 6 2024].
- [22] Ball and Socket Thrust Bearings- Bearings Plus, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.bearingsplus.com/en/products/tilt-pad-bearings/tilt-pad-thrust/ball-and-socket-thrust-bearing.html>. [Erişildi: 13 6 2024].
- [23] D. D. v. Çelik, «Babbitt Metal Nedir?, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://tr.worldironsteel.com/news/what-s-babbitt-metal-33153960.html>. [Erişildi: 12 06 2024].
- [24] Babbitt Tilting Pad Thrust Bearing Rs 120000/piece Push Bearing in., [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.indiamart.com/proddetail/babbitt-tilting-pad-thrust-bearing-24657261391.html>. [Erişildi: 06 06 2024].
- [25] Excellent properties of PTFE thrust bearing pads, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.linkedin.com/pulse/excellent-properties-ptfe-thrust-bearing-pads-glen-l-j-t/>. [Erişildi: 08 06 2024].
- [26] Thrust bearing pads Performance of PTFE & babbitt metal, China &Russia, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.linkedin.com/pulse/thrust-bearing-pads-ptfe-babbitt-metal-china-russia-glen-l-j-t/>. [Erişildi: 06 08 2024].
- [27] DLC nedir? Yardım Merkezi, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://helpcenter.oris.ch/hc/tr/articles/16999043166353-DLC-nedir>. [Erişildi: 13 06 2024].

- [28] K. Katsaros, D. A. Bompos, P. G. Nikolakopoulos ve S. Theodossiades, Thermal–Hydrodynamic Behaviour of Coated Pivoted Pad Thrust Bearings: Comparison between Babbitt, *PTFE and DLC. Lubricants*, cilt 6, no. 2, p. 50, 2018.
- [29] G. Pratt, Materials for Plain Bearings, *International Metallurgical Reviews*, cilt 2, no. 18, pp. 62-88, 1973.
- [30] G. P. Obiang, «Lube Oil Viscosity Temperature Chart,» *Academia*, p. 1, 20.
- [31] M. Wasilczuk, Friction and Lubrication of Large Tilting-Pad Thrust Bearing, *Friction and Lubrication Bearings*, cilt 3, no. 2, pp. 164-180, 2015.
- [32] İşinizi Etkileyecek Yeni Nesil Viskozite Değiştiriciler, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: https://www.wolflubes.com/TR_TR/Blog/2018/isinizi-etkileyecek-yeni-nesil-viskozite-degistiriciler.aspx. [Erişildi: 03 03 2024].
- [33] G. Stachowiak ve A. W. Batchelor, Engineering Tribology, Oxford: Oxford University Press, 1993.
- [34] Y. Çengel, Heat Transfer-A Practical Approach, New York: McGraw-Hill, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Abdussamet YILDIRIM

[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]