

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRBİN KILAVUZ YATAKLARININ SOĞUTULMASINDA KULLANILAN ISI
DEĞİŞTİRGEÇLERİNİN PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Gökhan KAHRAMAN

(05120202)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. H. Lütfi YÜCEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02.08.2010

AĞUSTOS-2010

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRBİN KILAVUZ YATAKLARININ SOĞUTULMASINDA KULLANILAN ISI
DEĞİŞTİRGEÇLERİNİN PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Gökhan KAHRAMAN

(05120202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02.08.2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 14.09.2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. H. Lütfi YÜCEL(Fırat Üniversitesi)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI(Cumhuriyet Üniversitesi)

Prof. Dr. Yasin VAROL (Fırat Üniversitesi)

Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (Fırat Üniversitesi)

Doç.Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP (Fırat Üniversitesi)

AĞUSTOS-2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmada emeği geçen başta, hocam Yrd.Doç.Dr. H. Lütü YÜCEL ve Prof.Dr. Cengiz YILDIZ olmak üzere Keban HES İşletme Müdürü M.Tahsin YAZICI, Teknik Müdür Yardımcısı Yusuf DOĞAN, Elektrik Bakım Mühendisi B.Selçuk KUZGUN, Makine Bakım Ustabaşı Osman DİNKÇİ, Makine Bakım Ustabaşı Mehmet DELİBALTA Makine İşletme ve Bakım Baş Mühendisi Soner ASLAN, Makine Baş Mühendisi Kenan İNALLI, Elektrik işletme ve Bakım Baş Mühendisi Abdullah ŞEFLEK, Teknik Şef Bekir KAYA, Elektrik İşletme Mühendisi Emrah ALAY, Elektrik, Elektronik Mühendisi Zafer ÖZTÜRK, tüm Makine Bakım personeli ve bana verdikleri destekten ve gösterdikleri anlayıştan dolayı aileme ve yardımı dokunan, emeği geçen tüm dostlara sonsuz teşekkürler ederim.

Gökhan KAHRAMAN

ELAZIĞ 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
1.2.Keban Hidroelektrik Santrali Hakkında Genel Bilgi.....	5
1.3.Kaymalı Yataklar Hakkında Genel Bilgi.....	9
1.3.1 Kuru Sürtünme.....	9
1.3.2 Sınır Sürtünme.....	10
1.3.3 Sıvı Sürtünme.....	11
1.3.4. Hidrostatik Yağlama.....	11
1.3.5.Hidrodinamik Yağlama.....	12
1.3.5.1. Hidrodinamik Eksenel Yataklar.....	13
1.3.5.2. Hidrodinamik Radyal Yataklar.....	14
1.4. Isı Değiştirgeçleri Hakkında Genel Bilgi.....	15
2.MATERYAL ve METOT.....	17
2.1.Hidrodinamik Radyal (Türbin Kılavuz) Yatakların Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	19
2.2.Kaymalı Yataklarda Isı Transfer Mekanizması.....	35
2.3.Isı Değiştirgeçleri İle İlgili Denklemler.....	38
2.4. Yapılan Çalışma ile İlgili sayısal Örnek.....	40
2.5. Yapılan Deneysel Çalışma İle İlgili Bilgiler.....	51
3.BULGULAR.....	58

4.SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	109
5.ÖNERİLER.....	110
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	114

ÖZET

Hayat için en önemli unsurların başında su gelmektedir. Su enerji üretimi içinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Su en verimli ve en temiz elektrik enerjisi üretim kaynağıdır. Su gücü hidroelektrik santrallerdeki türbinler vasıtası ile mekanik enerjiye bu mekanik enerjide bağlı olduğu generatörler vasıtası ile elektrik enerjisine çevrilmektedir. Hidroelektrik santrallerin güvenli ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için generatör ve türbin yataklarının iyi bir şekilde dizayn edilmesi ve sistem çalışırken yatakların devamlı kontrol altında tutulması gerekmektedir. Sunulan bu çalışmada Keban Hidroelektrik santralinde ünite 8 türbin kılavuz yataklarındaki yağ filminin ısı dağılımı değişik şartlarda incelenmiştir. Bu şekilde ünitenin kılavuz yataklar açısından en tehlikeli durumları tespit edilmiştir. Mevcut bilinen çalışma şartları yeniden düzenlenerek ünitenin daha verimli çalışması sağlanmıştır. Kılavuz yatakların optimum çalışma şartları belirlenmiştir. Ayrıca kılavuz yatak içerisinde ısınan yağın soğutulması için yeni yöntemlerle eski yöntemler kıyaslanmış yeni yöntemler içerisinde optimum şartlar deneysel çalışmalar yardımı ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyal kaymalı yataklarda sıcaklık dağılımı, Kılavuz yatak, Optimum soğutma

SUMMARY

A Study on The Performance of Heat Exchangers Used For Cooling Of Turbine Guide Bearings

Water is the most important element of life. As being the cleanest and the most efficient source for electricity generation, it is indispensable. Kinetic energy of flowing water is converted to mechanical energy by hydropower turbines and mechanical energy to electrical energy by generators. To operate Hydropower plants safely and efficiently, generators and turbine guide bearings should be designed appropriately and should be kept under continuous control during operation.

In this study, heat distribution at oil film of turbine guide bearings of Keban HPP Unit-8 is examined under different circumstances to determine the most dangerous conditions for turbine guide bearings of Unit 8. By rechanging current operating conditions, a more efficient operation of the unit is maintained. Optimum operating conditions of turbine guide bearings is determined. Also, older and newer methods for cooling of the oil in turbine guide bearings are compared and with the help of the experimental studies, optimum conditions of new methods have been obtained.

Key Words: Temperature distribution of radial sliding bearings, Guide bearings, Optimum cooling,

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1.1. Türkiye'nin elektrik üretimine Keban HES'in yıllara göre katkısı.....	6
Şekil 1.2.Keban HES yıllık enerji grafiği.....	7
Şekil 1.3. Kuru sürtünme modeli	10
Şekil 1.4 Hidrostatik yağlamalı yatak	12
Şekil 1.5.Hidrodinamik eksenel yatak	13
Şekil 1.6. Hidrodinamik radyal kaymalı yatak.....	14
Şekil 1.7.Keban-1 üniteleri hidrodinamik radyal kaymalı yatak resmi.....	15
Şekil 1.8. Plakalı ısı değiştirgeci.....	16
Şekil 2.1. Kılavuz yatak ve yardımcı teçhizatları.....	18
Şekil 2.2.Hidrodinamik radyal yatak ve şaftın üstten görünüşü(Şaft döner vaziyette)...	19
Şekil 2.3.O _S O _B A üçgeni.....	20
Şekil 2.4. Hidrodinamik radyal yatağa basınç profiline göre gelen kuvvet yönleri....	22
Şekil 2.5. Kaymalı yatak sisteminde bir yağ elemanının fiziksel davranışı.....	27
Şekil 2.6.Kaymalı yataklarda bir yağ kütleindeki debi durumu.....	33
Şekil 2.7. Radyal kaymalı yataktaki yağ filmi oluşum durumu.....	34
Şekil 2.8. Kaymalı yataklarda ısı transfer mekanizması.....	36
Şekil 2.9.Test kayıt cihazı.....	52
Şekil 2.10.Türbin kılavuz yatak salınım sensörü.....	53
Şekil 2.11. Türbin kılavuz yatak üst kısmında şafttan ölçülen salınım miktarı.....	54
Şekil 2.12. Ses ölçüm cihazı.....	55
Şekil 2.13.Plakalı eşanjör ve kanal tarama cihazı.....	56
Şekil 2.14.Plakalı eşanjör soğutma suyu giriş ve çıkışına bağlanan ısı çiftler.....	57
Şekil 3.1. Ünitenin ürettiği güce göre şaftın yaptığı salınım grafiği.....	59
Şekil 3.2.Ünite gücü ile oluşan ses şiddeti arasındaki ilişki.....	60
Şekil 3.3.Şaft devir sayısının salınıma göre değişimi.....	62
Şekil 3.4.Kılavuz yatak çevresindeki yağ filmi kalınlığı.....	66
Şekil 3.5.Ünitenin ürettiği güce göre kılavuz yatak üzerinde oluşan bileşke kuvvet.....	67
Şekil 3.6.Kılavuz yatak sürtünme kuvvetinin ünitenin ürettiği güce göre değişimi.....	68

Şekil3.7.Kılavuz yatağa etkiyen bileşke kuvveti ile sürtünme kuvvetinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 3.8. Kılavuz yatak sürtünme katsayısının ünitenin ürettiği güce göre değişimi.....	70
Şekil 3.9. Kılavuz yataklarda hesaplanan sürtünme katsayısının literatürdeki diğer eşitliklerle karşılaştırılması.....	71
Şekil 3.10.Sommerfeld sayısının eksantriklik oranına göre değişimi.....	72
Şekil3.11. Kılavuz yatakta oluşan eksantriklik oranına göre min.yağ filminden geçen yağ debisi.....	73
Şekil 3.12.Ünite 155 MW güçte çalışırken kılavuz yatak çevresinde oluşan yağ debisi .	74
Şekil 3.13.Türbin kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının zamana göre değişimi.....	76
Şekil 3.14. Ünite 10 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	77
Şekil 3.15. Ünite 20 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	77
Şekil 3.16. Ünite 30 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	78
Şekil 3.17. Ünite 40 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	78
Şekil 3.18. Ünite 50 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	79
Şekil 3.19. Ünite 60 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	79
Şekil 3.20. Ünite 70 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	80
Şekil 3.21. Ünite 80 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	80
Şekil 3.22. Ünite 90 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	81
Şekil 3.23. Ünite 100 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	81
Şekil 3.24. Ünite 110 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	82
Şekil 3.25. Ünite 140 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	82
Şekil 3.26. Ünite 170 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	83
Şekil 3.27. Ünite 200 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	83
Şekil 3.28. Ünite 230 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	84
Şekil 3.29. Ünite 260 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	84
Şekil 3.30. Ünite 290 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	85
Şekil 3.31. Ünite 320 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	85
Şekil 3.32. Ünite 350 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	86
Şekil 3.33. Ünite 380 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	86
Şekil 3.34. Ünite 410 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı.....	87
Şekil 3.35. Türbin kılavuz yatakta min. yağ filmindeki sıcaklığın zamana göre değişimi.....	88

Şekil 3.36.Kılavuz yatağın yağ çıkış sıcaklığının yağ giriş sıcaklığına göre değişimi.....	89
Şekil 3.37. Türbin kılavuz yatakta iletim ve taşınım yoluyla harcanan ısı.....	90
Şekil 3.38.Kılavuz yatakta iletim yoluyla atılan ısının taşınım yoluyla atılan ısıya oranı.....	91
Şekil 3.39. Türbin kılavuz yataktaki ısı iletim ve taşınımının zamana göre değişimi.....	92
Şekil 3.40. Ünite 6 ve 8'in kılavuz yatak yağ giriş sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	97
Şekil 3.41.Ünite 8 plakalı eşanjöründe zamana göre etkinlik değişimi.....	98
Şekil3.42.Yağın kinematik viskozitesinin sıcaklığa göre değişiminde ideal çalışma aralığının gösterimi.....	99
Şekil 3.43.Isı eşanjörü plaka sayısına göre kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının değişimi.....	100
Şekil 3.44.Soğutma suyu debisine göre kılavuz yatak yağ sıcaklığının değişimi.....	101
Şekil 3.45. Isı eşanjörü plaka sayısına göre etkinliğin değişimi.....	102
Şekil3.46.Eşanjörün 60, 73, 82, 95 ve 105 plaka sayılarında kılavuz yatak min. yağ filmindeki sıcaklıkları.....	103
Şekil 3.47. Kılavuz yatakta oluşan maximum sıcaklığın eksantriklik oranına göre değişimi.....	105
Şekil 3.48. Değişik soğutma suyu debilerinde plakalı eşanjördeki basınç farkı.....	106
Şekil 3.49. Plakalı eşanjörün farklı plaka sayıları ve farklı soğutma suyu debilerinde Re-Nu grafiği.....	107
Şekil 3.50.Plakalı eşanjörün 60 adet plakada Nu deneysel ve Nu teorik arasındaki ilişki	108
Şekil 3.51.Plakalı eşanjörün 95 adet plaka sayısında Nu deneysel ve Nu teorik arasındaki ilişki	108

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1.1. Keban Hidroelektrik santralindeki bazı teknik değerler.....	8
Tablo 2.1.Keban HES 8 nolu ünitenin türbin kılavuz yatak bilgileri.....	41
Tablo 2.2. Mobil DTE Heavy Medium 68 teknik özellikleri.....	43
Tablo 2.3.Plakalı eşanjörün 73 plaka sayısına göre elde edilen değerler.....	50
Tablo 3.1. Türbin kılavuz yatakta üretilen güce göre salınım bilgileri.....	58
Tablo 3.2. Türbin kılavuz yatakta şaftın devrine göre salınım bilgileri.....	61
Tablo 3.3.Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının zamana göre değişimi.....	75
Tablo 3.4.Ünite 8 türbin kılavuz yatak yağ soğutucu değerleri(73 plaka, paralel akış).....	95
Tablo 3.5.Ünite 6 türbin kılavuz yatak yağ soğutucu değerleri.....	96

SEMBOLLER LİSTESİ

F_n : Normal kuvvet

F : Cisme yatay yönde uygulanan kuvvet

μ : Sürtünme katsayısı

u : Şaft hızı

R_1 : Yatak yarıçapı

R_2 : Şaft yarıçapı

$h_{max.}$: Maksimum yağ filmi kalınlığı

h_o : Minimum yağ filmi kalınlığı

U : Şaftın dönme hızı

P : Hidrodinamik radyal yatakta basınç

W : Bileşke kuvvet

F : Sürtünme kuvveti

τ : Kayma gerilmesi

ϵ : Eksantriklik oranı

e : Eksantriklik

c : Yarı çaptaki yatak boşluğu

η : Dinamik viskozite

ν : Kinematik viskozite

L : Yatak boyu

Δ : Sommerfeld sayısı

D_1 : Yatak çapı

D_2 : Şaft çapı

Q : Yağ debisi

H_{iletim} : Yataktan iletilen ısı

$H_{taşınım}$: Yataktan taşınan ısı

ΔT : Yatağa giren yağ ile yataktan çıkan yağ arasındaki sıcaklık farkı

B : Yatak genişliği

K : Yağın ısı iletim katsayısı

ρ : Yağın yoğunluğu

σ : Yağın özgül ısısı

$T_{eff.}$: Yağın yataktan çıkış sıcaklığı

$T_{giriş}$: Yağın yatağa giriş sıcaklığı

T_{hg} : Sıcak akışkanın serpantine giriş sıcaklığı

$T_{hç}$: Sıcak akışkanın serpantinden çıkış sıcaklığı

T_{cg} : Soğuk akışkanın serpantine giriş sıcaklığı

$T_{cç}$: Soğuk akışkanın serpantinden çıkış sıcaklığı

ϵ_1 : Etkinlik

Re : Reynold sayısı

m_h : Sıcak akışkan debisi

m_c : Soğuk akışkan debisi

n : Bir geçişteki plaka sayısı

a : Plaka genişliği

b : Plaka aralığı

d_h : Ortalama çap

μ : Suyun kinematik viskozitesi

c_p : Suyun özgül ısısı

ΔT_{log} : Ortalama logaritmik sıcaklık

1.GİRİŞ

Hidrolik Türbin-Generatör ünitelerinin emniyet ve güvenlikleri büyük ölçüde yataklarının doğru tasarlanması ve işletme esnasında verimli bir şekilde soğutulmasına bağlıdır.

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Dünya çapında yapılmış olan istatistiklere göre makine elemanlarının yaklaşık olarak %70'inin işe yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır. Ayrıca sürtünme sonucunda meydana gelen enerji kayıpları milyonlar tutarında harcamalara yol açar. Bunların yanı sıra, aşınmadan dolayı meydana gelen malzeme kayıpları ve makinelerin onarımı için harcanan zaman göz önüne alınırsa yatakları uygun şekilde yağlama ve soğutmanın ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılır.

Hidrolik Türbin-Generatör ünitelerinin yatakları çoğunlukla hidrodinamik veya hidrostatik yağlama şeklinde olur. Çünkü bu makinelerin çoğu büyük, güçlü ve büyük ağırlıklarla dönen makinelerdir. Bu tür ünitelerde genelde iki kılavuz ve bir taşıyıcı yatak mevcuttur. Kılavuz yataklar shaftın radyal yöndeki hareketini kontrol altında tutar, taşıyıcı yataklar ise türbin generatör ünitesinin eksenel yöndeki tüm yükünü taşır.

Keban Hidroelektrik santralinde iki kılavuz ve bir taşıyıcı yatak mevcuttur. Taşıyıcı yatak shaft eksenini yönündeki tüm yükü hidrodinamik yağlama yolu ile karşılamaktadır. Kılavuz yataklar ise shaft eksenine dik yöndeki salınım hareketini sınırlamak amacıyla shaftın türbin çarkı üstüne ve generatör altına yerleştirilmiştir. Kılavuz yataklar hidrodinamik yağlama prensibine göre çalışmaktadır ve hidrodinamik radyal yataklara çok iyi bir örnek teşkil etmektedir. Kılavuz yatakların verimli işletilebilmesi için hayati önem taşıyan unsur yağ sıcaklığını istenilen seviyede tutabilmektir. Kılavuz yatak yağ sıcaklığının değişimi bir türbin-generatör ünitesinde; grubun çalışma yükü, kavitasyon etkisi generatör kutuplarındaki manyetik dengesizlik gibi birçok şeye bağlıdır. Bu nedenle kılavuz yataklardaki sıcaklık dağılımını tespit etmek ve en yüksek sıcaklığın yatağın hangi noktasında meydana geldiğini, hangi şartlarda meydana geldiğini ve yataklarda oluşan ısı transferinin nerelerde ve hangi miktarlarda olduğunu bilmek yatağın sağlıklı işletilmesi açısından çok önemlidir.

Yapmış olduğum çalışmada; Keban hidroelektrik santralinde çalışan bir grubun türbin kılavuz yatağında (türbin çarkı üzerindeki yatak) sıcaklık, vibrasyon, devir ve güç değerleriyle ilgili deneyler yaparak türbin kılavuz yatağındaki (Hidrodinamik radyal yatak) ısı transferi, sıcaklık dağılımı ve yatak yağının hangi şartlarda soğutulması gerektiği hakkında detaylı bilgilere ulaşmak mümkün olmuştur. Bu bilgiler Türbin-Generatör ünitesinin verimli çalışma koşullarını daha net ortaya koymaya yardımcı olmuştur.

1.1. Literatür Araştırması

Salınım hareketli radyal kaymalı plastik yatakların 45° lik salınım açısında sürtünme katsayısı ve temas yüzeyi sıcaklığı değişimleri, kayma hızına ve yüzey basıncına bağlı olarak incelenmiştir. Deneylerde $\phi 60 \times \phi 50 \times 50$ mm boyutlarında çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenden (UHMWPE) yapılmış burçlar kullanılmıştır. Sürtünme katsayısının kayma hızı ile arttığı, yüzey basıncı ile düştüğü, temas yüzeyi sıcaklığının ise hem kayma hızı hem de basınç ile arttığı görülmüştür [1].

Kalay kurşun esaslı SnPbAlZn alaşımı ve bu malzemelerin esasını oluşturan saf Sn, saf Pb ve alaşım elementlerinden saf Al ve saf Zn' dan üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler radyal kaymalı yatak aşınma deney cihazında 20 N yük, 1500 d/dak ve 2,5 saatte yapılmıştır. Sonuç olarak, SnPbAlZn malzemesi, saf durumda üretilen numunelere göre daha iyi aşınma direnci göstermiştir [2].

Kaymalı yatak malzemesi olarak T/M yöntemiyle üretilen bakır esaslı bronz ve demir esaslı malzemeler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bu yöntemle üretilmiş bakır esaslı CuSn10, demir esaslı Fe-Grafit, FeCu-Grafit ve bronz-demir esaslı CuSnFe-Grafit yatakların aşınma ve mekanik özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır [3].

CuSn10 bronzu ile CuZn30 pirincinden üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Sonuç olarak, kuru ortamda yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı, yağlı ortamda çok daha düşük elde edilmiştir [4].

Toz Metalurjisi (T/M) metodu ile imal edilen radyal kaymalı yataklarda, sabit ve değişken yük altında çalışırken oluşan sürtünme kuvvetini ölçmek için bir deney düzeneği tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde değişken yükleme, elektrik motoru ile tahrik edilen bir kam mekanizması ile sağlanmıştır. Numune yatağının bulunduğu parçalar ile ana gövde arasında, hidrodinamik yağlama olayındaki sıkışan yağ filmi, bu bölgede oluşturularak metalik temas önlenmiştir. Deney setinde, farklı kompozisyonlara sahip T/M esaslı radyal kaymalı yataklarda, farklı yükleme şekillerinde, farklı yük büyüklerinde, farklı hızlarda ve farklı yağlardaki sürtünme kuvveti ölçülmüştür [5].

Kaymalı yataklardaki yağlama ve oluşan hasarlar incelenmiştir. Yağlama hasarı, aşınma hasarı, yorulma, kavitasyon erozyonu hasarı, fretting aşınması ve kimyasal etkiler detaylı olarak araştırılmıştır [6].

Radyal kaymalı yataklarda yağ filmindeki basınç ve sıcaklıklar incelenmiştir. Yatak eksantriklik oranının sıcaklığa göre değişimi çeşitli yatak geometrilerinde graksel olarak gösterilmiştir [7].

Çinko-alüminyum esaslı ZA-27 alaşımlı kaymalı yatakla deney düzeneğinde değişik çalışma koşullarında sürtünme deneylerine tabi tutularak yatakların sürtünme davranışları incelendi. Deneyler sonucunda yatak basıncının yatakların sürtünme faktörü değerlerini etkilediği ve yatak basıncı arttıkça bu değerlerin önemli ölçüde düştüğü gözlemlendi. Benzer şekilde yatak boşluğu arttıkça yatakların sürtünme faktörü değerlerinin düştüğü belirlendi [8].

Toz metalurjisiyle üretilen sinter bronz yatakların, sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı, aşınma gibi tribolojik özellikleri ile yorulma davranışının tespiti için deneyler yapılmıştır. Deney numunesi olarak piyasadan bakır ve kalay alaşımlı T/M esaslı yataklar kullanılmıştır. Yataklar, 45µm çapındaki ve %90Cu %10Sn kompozisyonundaki tozlardan meydana gelmektedir. Deneyler için tam değişken yük tipi seçilmiştir. Sürtünme kuvveti ve katsayıları her bir test için ayrı ayrı grafik halinde sunulmuştur. Test numunelerinin aşınma miktarları ağırlık kaybı metodu ile ölçülmüş ve grafik halinde verilmiştir. Test süresince mil ve yatak sıcaklıkları da ölçülmüştür. Ayrıca yatak numunelerinin yüzey filmleri çekilerek hasar durumları incelenmiştir [9].

Dairesel hidrostatik eksenel yataklar incelenmiştir. Dairesel hidrostatik eksenel yataklarda hesaplanması gereken büyüklükler olan yük taşıma kabiliyeti, debi, sürtünmeye harcanan güç, pompa için gerekli olan güç, yatak için gerekli olan toplam güç ve sıcaklık

artışı bağıntıları çıkarılmıştır. Bağıntıları elde ederken yarıçap oranlarına göre kuvvet, debi, pompa gücü ve sürtünme gücü katsayıları boyutsuz olarak tanımlanmıştır. Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatakta boyutsuz olarak yatak katsayısı tanımlanmış ve yatak katsayısına göre yatağın boyutları ve minimum yağ film kalınlığı tespit edilmiştir. Hesaplanan minimum yağ filmine göre yatak için gerekli olan güç ve sıcaklık artışı değerleri incelenmiştir. Ayrıca yatak katsayısına göre yapılan çalışmalar güç ve sıcaklık artışı için yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır [10].

Laboratuar ortamında motor, mil ve mili yataklamak için radyal kaymalı yataktan oluşan bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzende yatak lokmalarına ısı çiftleri yerleştirilerek yatak farklı yüklerde test edilmiştir. Bu testler sonucunda radyal kaymalı yatağın çeşitli yüklerdeki sıcaklık dağılımı çıkarılmıştır [11].

Bir kaymalı yatak düzeneğinde yapılan çalışmada bir kirkon sistemi ile Hidrodinamik yağlamalı yatağa 1 ile 8 kN arasında değişen yükler uygulanmıştır. Uygulanan yükler altında mil devri 500, 1551 ve 2600 rpm değerlerinde değiştirilerek kaymalı yatağın 35, 40 ve 45 °C yağ giriş sıcaklıklarında grafikler çizilerek kaymalı yatak sıcaklıklarının değişken durumlara göre artışı izlenmiştir [12].

Bir tez çalışmasında hidrostatik yatak içerisindeki dairesel cepli pabuçların sıcaklık dağılımının teorik ve deneysel analizi yapılmıştır. Sıcaklığın teorik analizinde sonlu elemanlar metodu aksiyal simetrik koordinatlarda iki boyutlu olarak kullanılmıştır [13].

Elastik deformasyona uğrayabilen bir eksenel kaymalı yatağın genel davranışı iki boyutta teorik olarak analiz edilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı ile Reynolds'un temel yağlama diferansiyel denklemi sonlu farklar metodunun adapte edilmesiyle nümerik olarak çözülmüştür [14].

Hidroelektrik santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri isimli kitapta türbin kılavuz yataklarının hesaplamaları ile ilgili formül ve grafikler verilmiş ayrıca bir örnek çözüm yapılmıştır [15].

Tribology in Machine design isimli kitapta hidrodinamik kaymalı yatakların sıcaklıklarının hesaplanması ile ilgili formüller türetilmiştir [16].

Plakalı ısı eşanjörü kullanılan bir ısıtma-soğutma sistemi deneysel olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel sistemdeki plakalı ısı eşanjörü, farklı sıcaklık ve debi değerlerinde analizlere tabi tutulmuştur. Farklı çalışma durumlarında eşanjörde dolaşan akışkanların optimum sıcaklıkları ve debileri belirlenmiştir [17].

1.2.Keban Hidroelektrik Santrali Hakkında Genel Bilgi

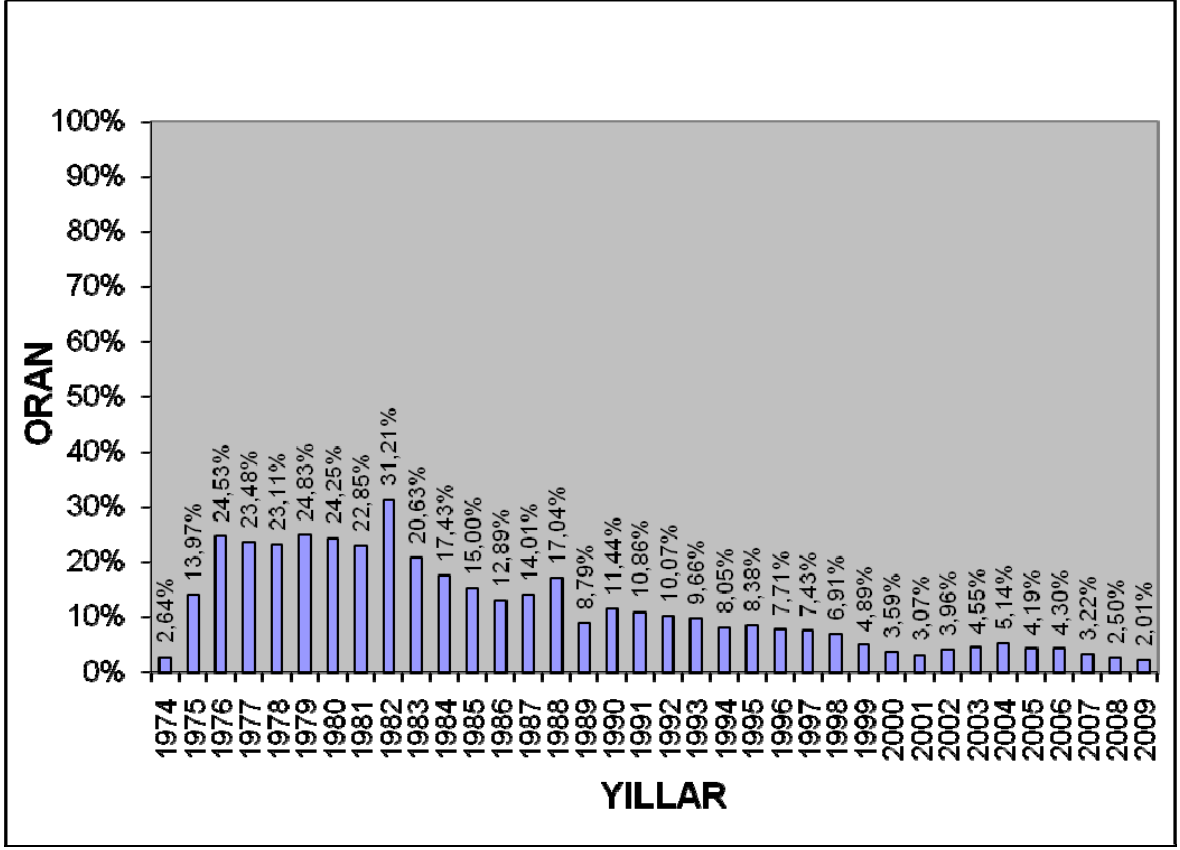
Barajın ana gayesi olan elektrik üretimi, santral binası içinde $4 \times 157,5 + 4 \times 175 = 1330$ MW gücünde 8 adet Generatör ile yapılmaktadır. 1974 yılında bu generatörlerin 4 adedi tamamlanarak işletmeye geçmiş, daha sonrada diğer 4 ünitenin montajı Ağustos 1982 yılında tamamlanarak işletmeye girmiştir.

Şalt-I sahası kaya dolgu barajın mansap eteği önünde ve santral binasının arkasında yer alır. Ana görevi generatörlerde elde edilen 14 400 V.luk enerjiyi ana güç trafosu vasıtası ile 380 000 volta yükselterek üç çıkışlı hatla Şalt-II sahasına iletmektir. Şalt-II sahası ise ana barajdan Kuzey-Batı istikametinde 8 km. uzakta, ortalama 1267 kotunda yer alan 300 x 450 m. boyutundadır.

Derivasyon tünelleri iki görevi üstlenmişlerdir. Bunlardan birincisi inşaat esnasında Fırat nehrinin yolunu değiştirmek, ikincisi ise Baraj gövdesi arkasındaki suyun bir miktarını mansaba iletmektir. Derivasyon tünellerinin en geniş açıklığı betonla kaplı olduğu yerde 14,39 m. betonsuz yerlerd ise asgari 15.46 m.dir. 1 no.lu derivasyon tünelinin uzunluğu 709,55 m.dir. 2 no.lu tünel ise 740 m.dir.

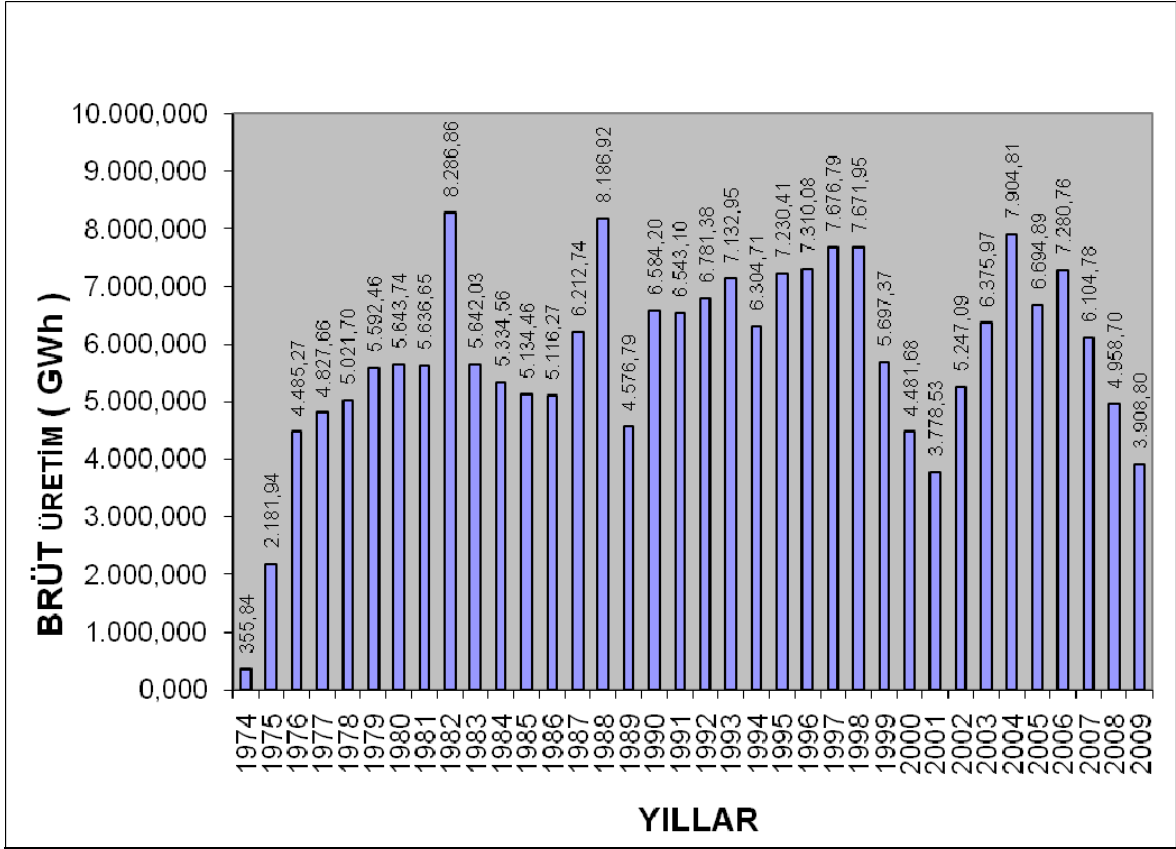
Keban Baraj ve Hidroelektrik santralinin direkt faydaları olarak şunları sayabiliriz. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun ilerlemesinde sosyal ve ekonomik gelişmesinde büyük rolü olmuştur. Endüstri merkezlerinin ve birçok köyün elektrikleendirilmesinde önemli rol oynamıştır. Termik santrallere dayalı fuel-oil'in bu sayede az tüketilmesi neticesinde Türkiye'ye büyük bir döviz tasarrufu kazandırmıştır. Bunun dışında Fırat'ın güney kısımlarında kurulmuş olan Karakaya ve Atatürk Barajlarına teknik fayda ve feyezan kontrolü sağlamıştır.

Ülkemiz elektrik enerji üretiminin 2009 yılı Aralık ayı itibariyle; % 65.5' ini Termik Santraller, % 32.5' ini Hidrolik Santraller ve % 1,8' ini Rüzgar Santralleri karşılamışlardır. Keban HES. in 2009 yılı Aralık ayı itibariyle Türkiye Elektrik üretimine katkısı % 2,01 dir. Keban barajının yıllara göre Türkiye'nin elektrik üretimine katkısı şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin elektrik üretimine Keban HES'in yıllara göre katkısı

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Türkiye genelinde elektrik arz talep dengesi değiştiğinden dolayı Keban HES'in üretime katkısı yıllara göre azalmaktadır. Keban HES'in yıllara göre ürettiği enerji miktarı şekil 1.2.'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Keban HES yıllık enerji grafiği

Keban HES yaklaşık otuz yıldır elektrik üretmektedir. Bu süre zarfında her çalışan makinede olduğu gibi sistem eskimiş, yıpranmış ve teknoloji gerisinde kalmıştır. Bu nedenle sistemi yenilemek ve verimini artırmak için bir rehabilitasyon çalışmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Keban HES’de Rehabilitasyon çalışmaları yüklenici firma TEMSAN A. Ş. Tarafından Nisan 2009 da başlatılmış olup, fizibilite ve test çalışmaları devam etmektedir.

Ocak 2010 tarihi itibarıyla Hızlı iyileştirme kapsamında Ünite 7’de stator sargı bara bağlantıları ve ikaz bara bağlantısı demonte edilmiştir.

Yüksek güçlerdeki ısınma probleminin giderilmesi için yurt dışından özel olarak getirilen indüksiyon cihazı ile bağlantı noktaları kaynak edilecektir. İleride yapılması düşünülen işler aşağıda sırası ile belirtilmiştir.

- 1- Türbin çarklarının değiştirilmesi işi; Şu anki türbin çarklarının verimi yaklaşık %91,5 civarındadır, kanat yapısını değiştirerek bu verimin %3 artırılması hedeflenmektedir. Eğer bu hedef gerçekleşirse orta ölçekli bir santral kadar fazla üretim yapılabilir. Ayrıca türbin çarkı dökme çelikten yapıldığı için

kavitasyonun oluşturduğu hasara maruz kalmakta ve onarımı mali bir külfet oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı türbin çarkı krom-nikel malzemeden yapılacaktır. Şu anki aşamada Norveç'te Rainpower firması tarafından model testleri yapılmış olup çark üretimine geçilmiştir.

- 2- Ayar kanatlarının değiştirilmesi; Ayar kanatları su içerisinde tahribata maruz kaldığı için su kaçakları artmıştır. Bu nedenle ayar kanatlarının yenilenmesine ihtiyaç duyulmuştur.
- 3- Soğutma sisteminin yenilenmesi; Soğutma sistemindeki borulu tip serpantinler zaman içerisinde delinmiş delinen borular körlenmiştir. Bu nedenle serpantinin soğutma kapasitesi düşmüş ve grubun üzerine aldığı fazla güçlerde soğutma yetersiz kalmıştır. Ayrıca generatörü soğutan radyatörlerde de aynı olay geçerli olduğundan yenilenmesine gerek duyulmuştur.
- 4- Elektrik sisteminde ise scada sisteminin kurulması, şalt sahası kesicilerinin havalı tipten yağlı tipe geçirilmesi gibi işlerin yapılması planlanmaktadır.

Keban HES'de yapılacak rehabilitasyonda tüm gruplarda planlanan işlerin yapılması 8 yıl sürecektir.

Keban Hidroelektrik santraline ait bazı teknik değerler tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Keban Hidroelektrik santralindeki bazı teknik değerler

Türbin Tipi	Dikey Milli Francis
Gücü	249 000 HP.
Devir Sayısı	166,7 d/d
Max.Düşü ve Güçte Debi	135,3 m ³ /sn.
Net Efektif Düşü	145 m.
Cebri boru iç çapı	5,20 m.
Çark Ağırlığı	52 Ton
Maksimum işletme kotu	845.00 m.
Normal su kotu	830.00 m.
Minimum işletme kotu	820.00 m.
Mansap suyu seviyesi	695.00 m.

1.3.Kaymalı Yataklar Hakkında Genel Bilgi

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki elemanın temas eden yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık artışı ve enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin başında yağlama gelmektedir. Sürtünme, aşınma ve yağlama konuları ile ilgilenen bilim dalına triboloji denir.

Genel anlamda temasta olan ve izafi hareket yapan iki elemanın temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirence sürtünme denir. Temasta olan hareketli parçaların yüzeyleri arasında; kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma tarzında bir hareket mevcut olabilir. Buna göre de sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma şeklinde olur. Kaymalı yataklar kayma sürtünmesi prensibine göre çalışır.

Kaymalı yatakların gövdeleri genellikle pik döküm veya çelik dökümden imal edilirler. Düşük mukavemet isteyen yerlerde pik döküm, yüksek mukavemet isteyen yerlerde ise çelik dökümden imal edilen yataklar kullanılır. Kaymalı yataklarda izafi hareket kayma olduğuna göre, burada esas aşınma adezyon veya bunu şiddetli şekli yenme aşınmasıdır. Bu çeşit aşınmaları önlemek için uygulanması gereken tedbirlerden biri temasta bulunan malzemelerin farklı yapıda ve farklı sertlikte olması gerekir. Bir malzemenin yumuşak diğerinin sert olması gerekir. Yatak sisteminde mil çelikten yatak ise daha yumuşak malzemedir yapılır.

Yataklara yumuşaklık özelliği veren malzeme beyaz metal denilen malzemedir. Bu malzeme ana metal üzerine çok iyi yapıştırılır. En iyi yatak malzemesi olan beyaz metalin yapısı, yumuşak bir kalay kütlesi içerisinde dağılmış sert kristaller şeklindedir.[18]

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı maddenin bulunması veya bulunmaması bakımından sürtünme; Kuru sürtünme, Sınır sürtünme (yarı sıvı sürtünme) ve Sıvı sürtünme şeklinde olabilir.

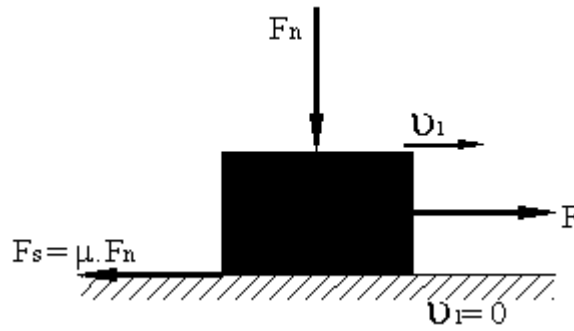
1.3.1 Kuru Sürtünme

Kuru sürtünme birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir. Temasta olan bu iki yüzey Şekil 1.3'de gösterildiği gibi F_n normal kuvvetinin etkisi altında ise temas yüzeyleri arasında harekete

karşı değerinde bir sürtünme kuvveti oluşur. Burada μ sürtünme katsayısıdır. Şekil 1.1'deki A cismine F kuvveti uygulanırsa iki durum ortaya çıkabilir:

$F_n > F$ olabilir. Bu durumda cisimler birbirini üzerinde kaymaz. Ancak hareket olanağı olduğundan yüzeyler arasında statik sürtünme denilen bir direnç meydana gelir.

$F_s \leq F$ olabilir. Kinematik sürtünme olarak adlandırılan bu durumda F kuvvetinin etkisi altında yüzeyler birbirini üzerinde kayar. Pratikte sürtünme denilince bu tür bir sürtünme akla gelir. Aşınma, sıcaklık artışı ve enerji kaybı gibi olaylar kinematik sürtünme halinde ortaya çıkar.



Şekil 1.3. Kuru sürtünme modeli

Eğer F_n [N] kuvveti ile bastırılan A elemanın hızı v [m/sn] ise sürtünme sonucu kaybolan güç;

$$P = \mu \cdot F_n \cdot v \quad [\text{Nm/sn} = \text{Watt}]$$

olur. Buna göre sürtünme nedeniyle meydana gelen güç kaybını azaltabilmek için sürtünme katsayısının değerini azaltmak gerekir. Bu ise; yüzeylerin çok hassas işlenmesi, yüzeyler arasına sürtünme katsayısı küçük olan ve yağlayıcı adı verilen bir başka malzeme konulması, yüzeyler arasında yuvarlanma sürtünmesi açığa çıkaran yuvarlanma elemanları konulması suretiyle sağlanabilir.

1.3.2 Sınır Sürtünme

Yüzeyler arasında yağlayıcı bir madde bulunduğu halde sıvı sürtünme hali meydana gelmediği takdirde sınır sürtünme hali ortaya çıkar. Pratikte çok rastlanan bu sürtünme halinde sürtünme katsayısı genel olarak 0.02 ile 0.1 arasında değişir.

1.3.3 Sıvı Sürtünme

Sıvı sürtünme halinde birbirine göre izafi hareket yapan yüzeyler bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılır. Sürtünme doğrudan doğruya yağlama yağının tabakaları arasında olur. Cismin hareketine karşı koyan direnç kuvveti yağ tabakaları arasındaki kayma gerilmesine bağlıdır.

Yüzeylerin pürüzlülüğü göz önüne alınırsa, analitik bakımdan sıvı sürtünmesi;

$$h_0 > (R_{t1} + R_{t2})$$

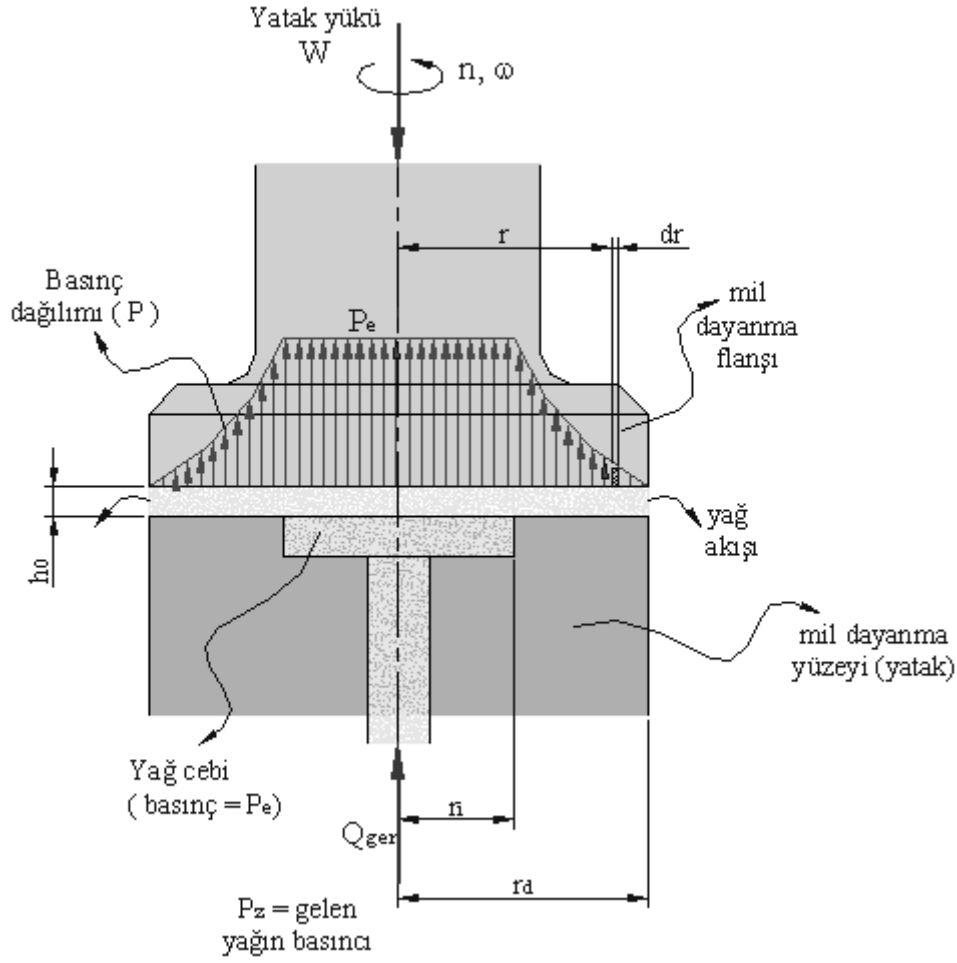
bağıntısı ile ifade edilir. Burada; h_0 , minimum yağ tabakası kalınlığı, R_{t1} ve R_{t2} , yağın yüzeylerin maksimum pürüzlülükleridir.

Sıvı sürtünmenin oluşmasında rol oynayan esas etken yağ tabakasında meydana gelen basınçtır. Yağ tabakasındaki basınç dış yükü dengeleyecek bir değere ulaştığı takdirde yüzeyler tamamen birbirinden ayrılır. Yağ tabakasındaki basınç oluşumu; Hidrostatik ve Hidrodinamik olmak üzere iki olaya bağlıdır.

1.3.4. Hidrostatik Yağlama

Hidrostatik sıvı sürtünme halinde, dış yükün dengelenmesi ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gereken basınç, bir yüksek basınçlı pompa vasıtası ile dışarıdan sağlanır ve yağ basınç ile yüzeyler arasına gönderilir. Bu durumda bütün sistemlerde, yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olmaksızın sıvı sürtünme sağlanabilir. Yani hidrostatik sıvı sürtünme hareketsiz yüzeylerde de oluşturulabilir. Kuru ve sınır sürtünmenin bulunmadığı bu yağlama durumunda muylu yatağa temas etmez ve böylece direk sıvı sürtünme olduğu için aşınmaya maruz kalmaz.

Hidrostatik yağlamada mil hareket etmeden sıvı sürtünme meydana gelir. Hidrostatik yatağın yağ basıncı dışarıdan bir pompa ile sağlandığından yük taşıma kabiliyeti diğer yataklara göre daha fazladır. Büyük yataklamalarda örneğin türbinlerin yataklanmasında hidrostatik yağlamalı yataklar kullanılmaktadır. Keban hidroelektrik santralinde Türbin-Generatör ünitelerinin bütün ağırlığı taşıyıcı yataklar vasıtası ile taşınır. Buradaki taşıyıcı yataklar Hidrostatik eksenel yataklardır. Ünite dönmeye başlamadan yağ pompası devreye girer ve ünitenin nominal devrinin % 50'sinde devreden çıkar daha sonra taşıyıcı yatak hidrodinamik olarak yağlanır. Hidrostatik yağlamalı bir yatakta oluşan basınç dağılımı şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Hidrostatik yağlamalı yatak

1.3.5.Hidrodinamik Yağlama

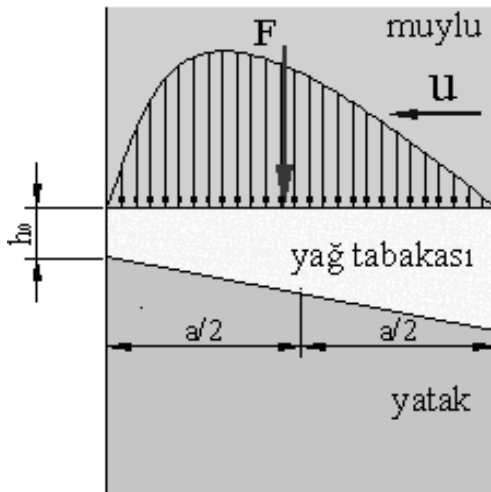
Hidrodinamik sıvı sürtünmede, yüzeylerin geometrik ve kinematik şartlarına bağlı olarak yağ tabakasında kendi kendine bir basınç alanı oluşur. Basıncılı bir yağ filminin oluşabilmesi için kinematik ve geometrik şartlar, yüzeylerin birbirine göre belirli bir izafi hıza sahip olması ve yağ tabakasının hareket yönünde daralması gerekir. Hidrodinamik teorisinin amacı, bu basıncın hangi koşullarda meydana geldiğini, bunun değerini ve bu basınca bağlı olarak yatağın yük taşıma kabiliyetini, sürtünme katsayısını, yağ miktarını ve sıcaklığını hesaplamak için gereken denklemleri meydana getirmektir. Bugünkü hali ile hidrodinamik teorisi Tower'ın (1880) yaptığı deneysel ve özellikle Reynolds'un (1886) yaptığı teorik çalışmalara bağlıdır.

Hidrodinamik sıvı sürtünmesi meydana gelebilmesi için; yüzeylerin arasında belirli bir izafi hızın olması, yağ tabakası kalınlığının hareket yönünde daralması ve yüzeyler arasında yeterli miktarda yağ bulunması gerekir.

Genellikle yataklarda mil döner ve yatak sabit olduğundan izafi hız şartı kendiliğinden meydana gelir. Hidrodinamik yağlamanın mevcut olduğu yataklarda hesaplanması gereken ana büyüklükler; Hidrodinamik sıvı sürtünmesinin meydana gelip gelmediği, yük taşıma kabiliyeti, sürtünme kuvveti veya sürtünme katsayısı, yağ debisi ve sıcaklıktır. Hidrodinamik sıvı sürtünmenin meydana gelip gelmediği minimum yağ filmi kalınlığı ile kontrol edilir. Hidrodinamik yataklar radyal ve eksenel olmak üzere ikiye ayrılır.

1.3.5.1. Hidrodinamik Eksenel Yataklar

Hidrodinamik eksenel yatakların esası eğik plaka sistemine dayanır. Ancak bu yataklarda hidrodinamik sıvı sürtünmesi oluşması için yani kama şeklinde hareket yönünde daralan bir yağ tabakasının oluşması için yatak yüzeyi belli sayılarda lokmalara ayrılır ve bu lokmalara kayma hareketi yönünde bir eğim verilir. Bu lokmaların eğimi sabit veya değişken olabilir. Değişken eğimli lokmalar küresel veya silindirik mesnetlerle oynak hale getirilir. Lokmalar arasında yatağın yük taşıma alanını azaltan birer kanal bulunur. Bu yataklar Avrupa'da Michell, Amerika'da Kingsbury yatakları olarak bilinir [18]. Hidrodinamik eksenel bir yataktaki basınç dağılımı şekil 1.5.'de görülmektedir.

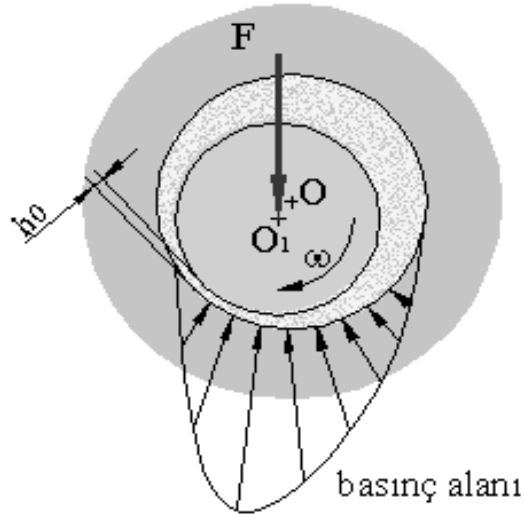


Şekil 1.5. Hidrodinamik eksenel yatak

1.3.5.2. Hidrodinamik Radyal Yataklar

Genellikle radyal yataklarda mil ω hızı ile dönerken yatak hareketsiz kalmaktadır. Dolayısıyla hidrodinamik sıvı sürtünmesinin meydana gelebilmesi için gereken izafi hız, çalışma koşullarından yerine getirilmektedir. Hidrodinamik yağlamanın gerçekleşmesi için ikinci koşul olan yağ tabakası kalınlığının hareket yönünde daralması koşulu milin yatağa göre eksantrik bir konum alması ile gerçekleşir. Bu olay milin yatak içine boşluklu bir şekilde monte edilmesi ile gerçekleşir.

Milin hareket etmediği durumda cisimler doğrudan doğruya temasta olduğundan, milin harekete başladığı ilk anda yatakla mil arasında çok kısa bir süre için kuru sürtünme oluşur. Mil yatak içerisinde hareket yönünün ters tarafına doğru tırmanmaya başlar. Milin hızı arttıkça yağ yüzeyler arasında yayılır ve sınır sürtünmesi oluşur sürtünme katsayısı azalmaya başlar. Hızın belirli bir değerinde mil yatağa göre eksantrik bir konum alır, yağ tabakası oluşur, sıvı sürtünmesi başlar ve yağ tabakasında belirli bir miktar basınç oluşur. Bu durumdaki hidrodinamik radyal kaymalı yatakta oluşan basınç dağılımı şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Hidrodinamik radyal kaymalı yatak

Keban Hidroelektrik Santralinde Keban-1 ünitelerindeki hidrodinamik radyal kaymalı yatak (türbin kılavuz yatak) resmi şekil 1.7’de görülmektedir.



Şekil 1.7. Keban-1 üniteleri hidrodinamik radyal kaymalı yatak resmi

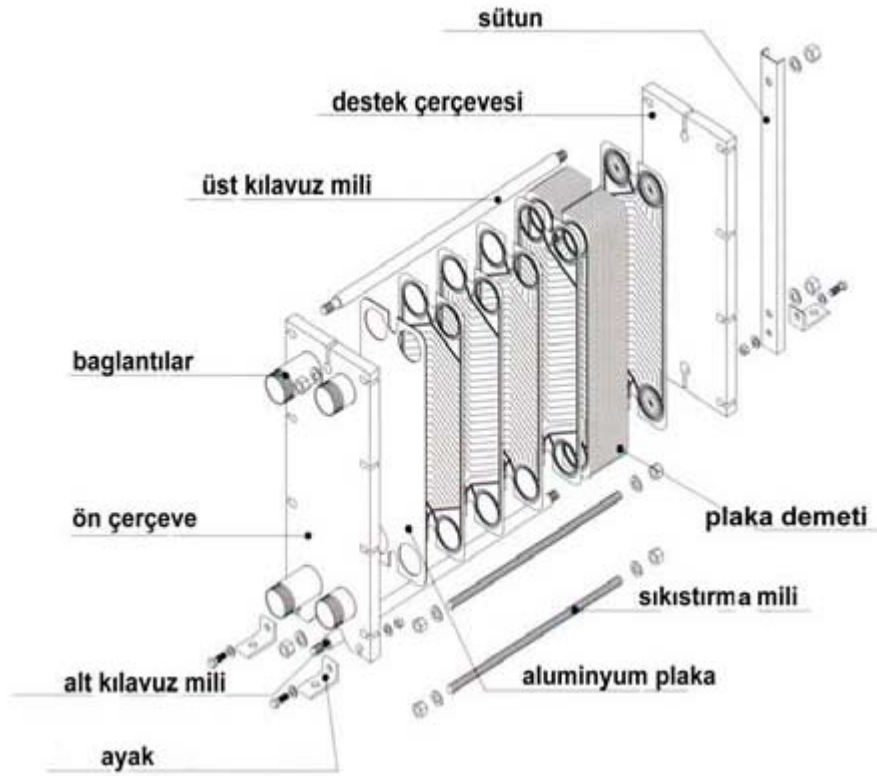
1.4. Isı Değiştirgeçleri Hakkında Genel Bilgi

Isıtma ve soğutma problemlerini çözmek için yapılacak ilk iş, ısı değiştirici tipinin doğru seçilmesidir. Isı değiştirici tipinin seçiminde temel kural, deneyime dayanarak, benzer fonksiyonları yerine getiren ve benzer proses koşullarında çalışan ısı değiştirici tipini seçmektir.

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasında ısı alışverişini sağlayan cihazlardır. Isı değiştiricileri; geometrisine, akış şekline, akışkan sayısına, uygulama alanlarına göre sınıflandırılırlar. Isı değiştiricilerinin, borulu, plakalı, genişletilmiş yüzeyli gibi çeşitleri vardır.

Borulu ısı değiştiricilerinin en yaygın şekli bakır borulardan yapılırlar. Bir akışkan borunun içerisinden akarken, diğer akışkan borunun dışından akar. Boru apı, boru sayısı, boru uzunluğu ve boru düzenlemesi değiştirilebilir. Bu nedenle borulu ısı değiştirgeçleri çok geniş bir ürün yelpazesine sahiptir

Plakalı ısı değiştirgeçleri, akış kanallarını oluşturan ince plakalardan yapılırlar. Bu plakalar contalarla birbirinden ayrılır. Borulu tip ısı değiştirgelerine göre daha küçük boyutlarda daha fazla ısı transfer yüzey alanı oluştururlar. Plakalı bir ısı değiştirgei şekil 1.8’de gösterilmiştir. Plakalı tip ısı değiştirgeçlerinin diğerlerine göre avantajları fazladır. Verimleri 0,9 ile 0,95 arasında değişmektedir ve bakımları oldukça kolaydır.



şekil 1.8. Plakalı ısı değiştirgei

Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri, ısı transfer alanını artırmak amacıyla esas ısı transfer yüzeyi (borulu veya plakalı) zerinde kanatçıklar veya ilaveler bulunan ısı değiştiricileridir.

2.MATERYAL ve METOT

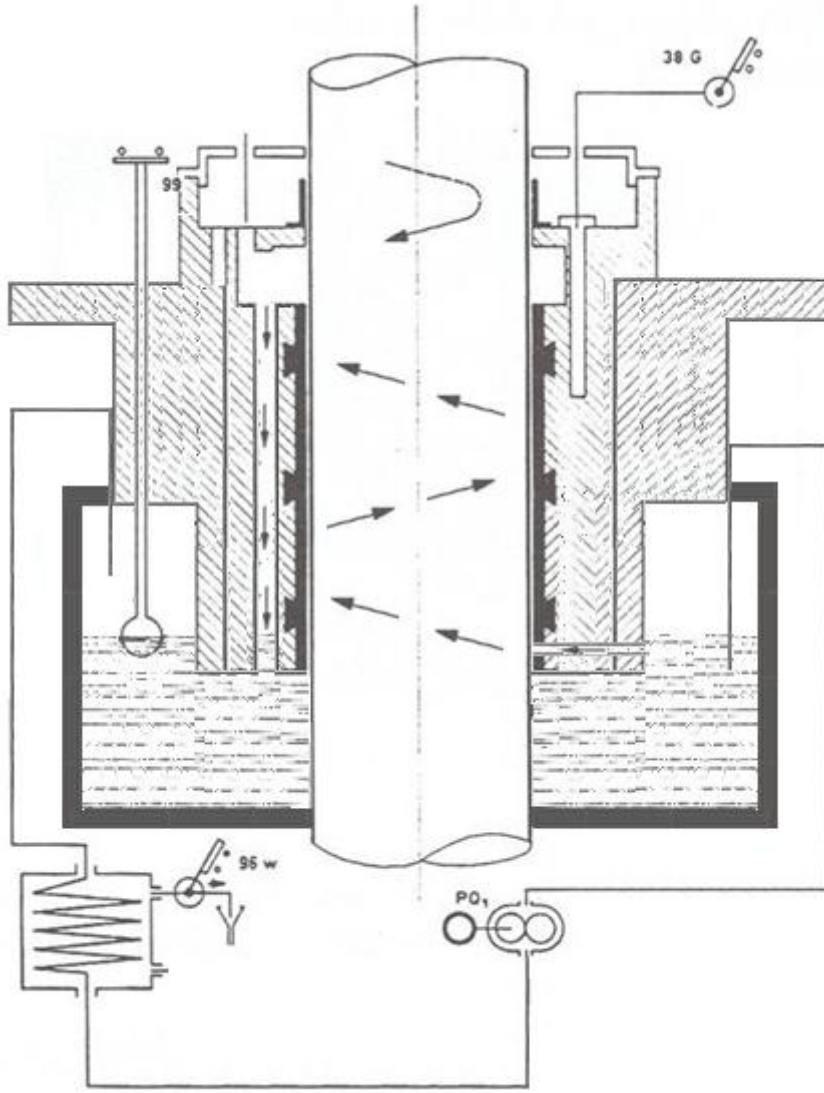
Türbin kılavuz yatakları hidrodinamik radyal kaymalı yataklar sınıfına girer. Türbin kılavuz yatakları, Ünitenin enerji üretmek üzere döndürülmesi anında türbin şaft eksenine dik (Radyal) yönde türbine gelen yatay yükleri karşılayan yatak sistemidir.

Kılavuz Yataklar iki parçalı olarak yapılabileceği gibi, lokma adı verdiğimiz çok parçalı olarak da yapılabilirler. Yatak lokmaları bir hazne içerisinde 2/3'ü yağ içerisinde kalacak şekilde monte edilirler. Ünitenin döndürülmesi anında, yatak sürtünme kayıplarının min. seviyede tutulması için, yatak metali ile türbin şaftı arasında bir yağ filmi meydana gelir ve bu film sayesinde yatakta sıvı-sıvı sürtünmesi oluşur.

Yatak metali ile türbin şaftı arasında oluşan yağ filminin kalınlığı yatak yükü, yatak boyutu ve çalışma koşullarına göre değişir. Şaftla yatak yüzeyi arasındaki boşluğun (Kleransın) ayarı için, her lokma üzerinde birer adet ayar civatası vardır. Normal şartlarda bir kılavuz yatakta, yatak boşluğu, yani klerans miktarı 0,15 - 0,30 mm. civarında bırakılır. Yatak boşlukları 0,01 mm. hassasiyete sahip sentil ismiyle anılan aletlerle ayarlanır.

Kılavuz yataklarda yatak boşlukları her yıl kontrol edilmeli, ayarı bozulan yatak lokmalarının boşluk ayarları muhakkak yapılmalıdır. Aksi takdirde boşluk ayarı bozulmuş olan lokmalarda sıvı-sıvı sürtünmesini sağlayan yağ filmi yırtılır ve bunun yerine metal-metal sürtünmesi başlar. Bu durumda beyaz metal olarak isimlendirilen yatak malzemesi şafta sıvanarak bozulur. Bunun sonucunda da yatak sıcaklığı kısa sürede aşırı artarak ünite servis harici olur. Bu durumda üretim yapılamaz. Arızanın giderilmesi için önemli miktarda harcama yapılır ve arıza uzun sürer. Çalışma anında ısınan yağın soğutulması için yatak haznesine ya serpantin ya da radyatörler yerleştirmek gerekir.

Kılavuz yatak lokmalarının bazılarında cepler açılarak sondalar yerleştirilmekte ve sıcaklık değerleri istenen yerlere kolaylıkla iletilmektedir. Bu sondalar, yatak da meydana gelebilecek aşırı ısınma durumunda üniteyi röleler yardımıyla servis harici ederler. Şekil 2.1'de bir kılavuz yatak ve yardımcı teçhizatları gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kılavuz yatak ve yardımcı teçhizatları

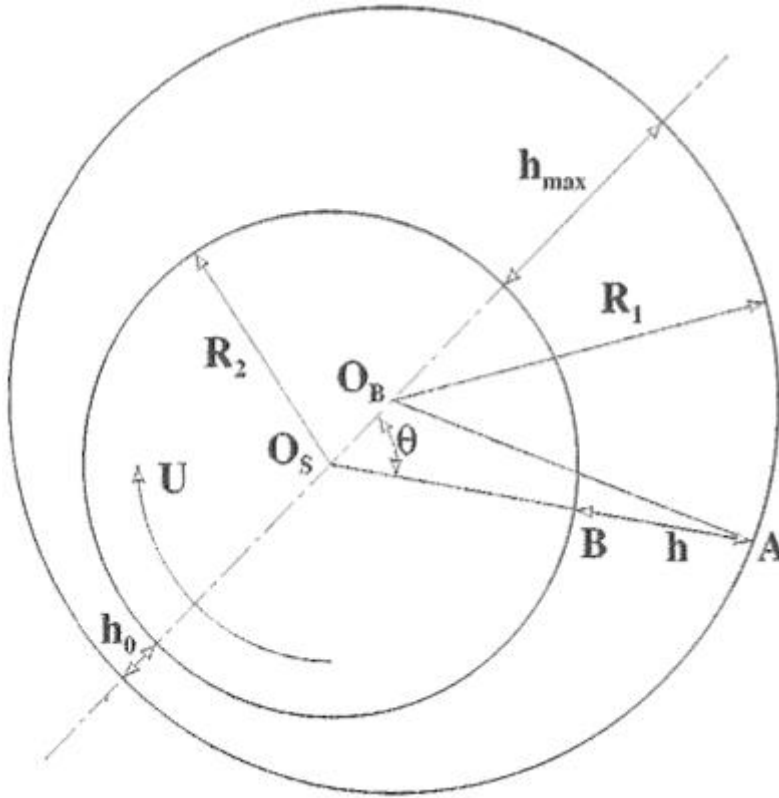
Şekil 2.1’de gösterilen kılavuz yatakta yağ bir pompa vasıtası ile devridaim yapılır. Yağ ısı değiştirgeçlerinden geçerek yatağa girer. Şekilde görülen 38G yatak metali sıcaklık kontrol göstergesi, 96w soğutma suyu sıcaklık kontrol göstergesi, 99 yağ seviyesi kontrol sistemi ve PQ1 yağ pompasını göstermektedir.

Keban HES 5, 7 ve 8 nolu ünitelerindeki kılavuz yataklarda şafta bağlı döner bir yağ tankı vardır. Yağ soğutucudan geçtikten sonra bu tanka dökülür oradan şaft ile yatak arasından geçerek tekrar, döner tanka dökülür döner tanktan pompa vasıtası ile emilerek soğutucuya getirilir. Keban HES 6 nolu ünitedeki kılavuz yatak ise orijinal haliyle, döner

tank içinde dolandırılan bakır boru içerisinde soğutma suyu geçirilmektedir. 5, 7 ve 8 nolu ünitelerde soğutma sisteminin değiştirilmesinin nedeni, döner tank içerisindeki bakır borunun zaman içerisinde delinerek yağa su karışması sonucu kurumun büyük zararlara uğramasıdır.

2.1.Hidrodinamik Radyal (Türbin Kılavuz) Yatakların Denklemlerinin Elde Edilmesi

Hidrodinamik radyal yatakların önemli parametrelerinden birisi olan minimum yağ kalınlığı bir yatak geometrisi üzerinde görülebilir. Şekil 2.2’de hidrodinamik radyal yataklarda şaftın dönmesi halinde oluşan yağ filmi kalınlıkları görülmektedir.

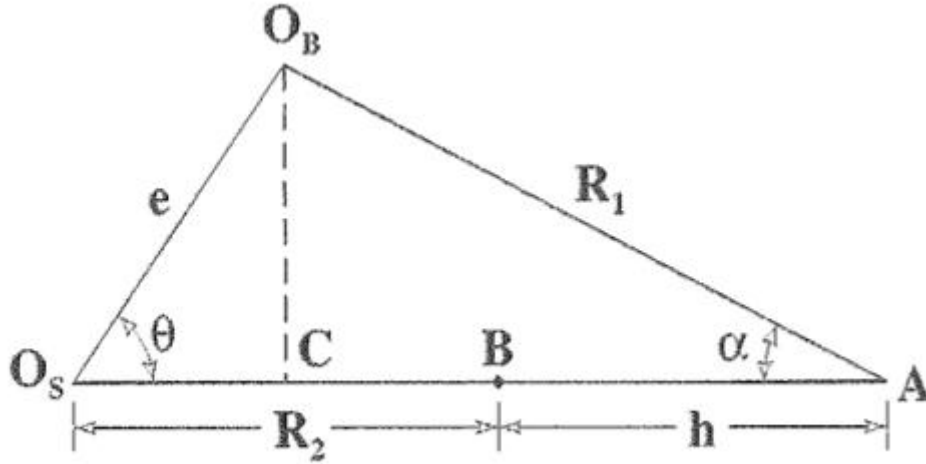


Şekil 2.2.Hidrodinamik radyal yatak ve şaftın üstten görünüşü (Şaft döner vaziyette)

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi şaft yatak içerisinde eksantrik bir hareketle dönmektedir. Dolayısıyla şaft yatağa belli bir noktada yaklaşıp daha sonra merkeze doğru yataktan uzaklaşmaktadır. Bu nedenle şaftın yatağa en yakın noktasında min. yağ filmi kalınlığı oluşmaktadır. Şekil 2.2’de görülen yatak geometrisinde R_1 yatak yarıçapı, R_2 şaft

yarıçapı, h_0 min. yağ filmi kalınlığı, h_{max} maksimum yağ filmi kalınlığı ve U şaftın dönme hızını göstermektedir.

Şekil 2.3’de gösterilen $O_S O_B A$ üçgenini ele alırsak, min. yağ filmi kalınlığını hesaplamamız mümkündür.



Şekil 2.3. $O_S O_B A$ üçgeni

Şekil 2.3’de görülen üçgen şekil 2.2’den elde edilmiştir. Burada h ile gösterilen yağ filmi kalınlığı hesaplanabilir.

$$O_S A = O_S C + CA = O_S B + BA \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de oluşturulan eşitlikteki değerleri yerine yazarsak.

$$O_S A = e \cdot \cos \theta + R_1 \cdot \cos \alpha = R_2 + h \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’den h değerini çekersek

$$h = e \cdot \cos \theta + R_1 \cdot \cos \alpha - R_2 \quad (2.3)$$

Denklem 2.3’de h ile ilgili bir bağıntı oluşturduktan sonra e ile R_1 arasındaki bağıntı denklem 2.4’de görülmektedir.

$$\frac{e}{\sin \alpha} = \frac{R_1}{\sin \Theta} \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'den $\sin \alpha$ 'yı çekersek;

$$\sin \alpha = \frac{e}{R_1} \cdot \sin \Theta \quad (2.5)$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da $\cos \alpha$ 'yı çekersek;

$$\cos \alpha = \sqrt{(1 - \sin^2 \alpha)} = \sqrt{(1 - (\frac{e}{R_1})^2 \sin^2 \Theta)} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'de $\frac{e}{R_1} \ll 1$ olduğundan denklem 2.7'de elde edilen sonuca göre

$\cos \alpha = 1$ kabul edilebilir.

Elde edilen sonuçlara göre denklem 2.3'ün yeniden düzenlenmiş hali denklem 2.8'de görülmektedir.

$$h = e \cdot \cos \Theta + R_1 - R_2 = e \cdot \cos \Theta + c \quad (2.8)$$

Denklem 2.8'de görülen e , şaftın yatak içerisinde yaptığı eksantriklik mesafesini ve c , yarı çaptaki yatak boşluğunu ifade etmektedir.

Denklem 2.8'deki eşitliği c , ortak parantezine alırsak;

$$h = c \cdot (1 + \varepsilon \cdot \cos \Theta) \quad (2.9)$$

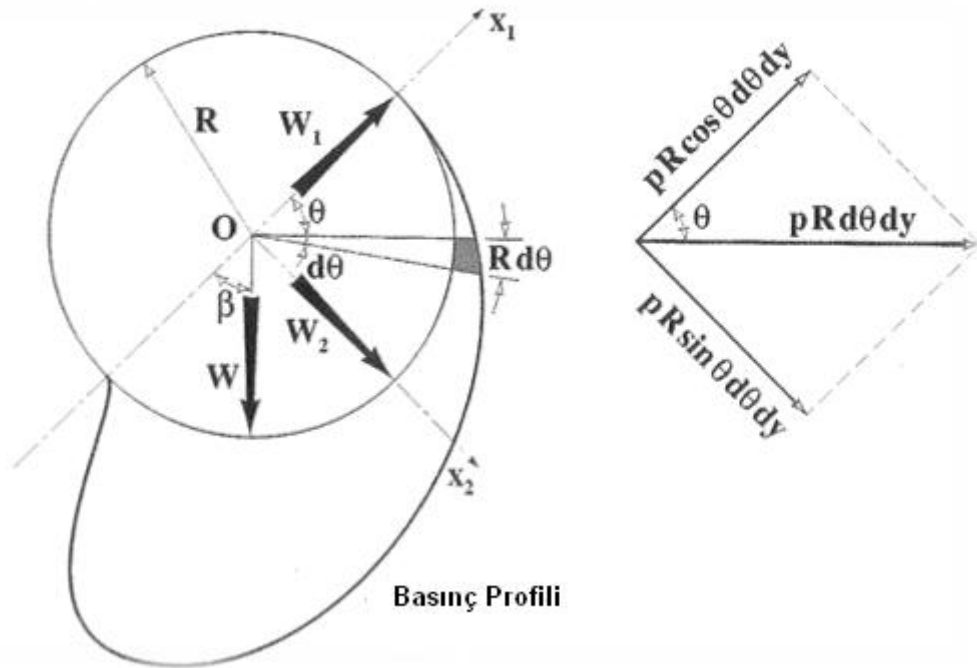
Denklem 2.9'da gösterilen ε eksantriklik oranı olup e/c 'ye eşittir. Burada Θ açısına göre yatağın herhangi bir konumundaki yağ filmi kalınlığı hesaplanabilir. Kaymalı yatak hesaplamalarında eksantriklik oranı büyük önem arz etmektedir.

Hidrodinamik radyal kaymalı yatakta oluşan basınç dağılımı denklem 2.10'da gösterilmektedir.[19]

$$P = \frac{3.U.\eta.\varepsilon.\sin \Theta}{R_1.c^2.(1 + \varepsilon.\cos \Theta)^3} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right) \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da gösterilen denklemde U şaftın dönme hızı, η yağın dinamik viskozitesi, L yatak boyunu ve y yatak boyundaki herhangi bir noktanın mesafesini gösterir.

Denklem 2.10'da gösterilen eşitlikten yola çıkarak yatağa gelen kuvveti Half-sommerfeld durumuna göre hesaplayabiliriz. Şekil 2.4'te yatağa gelen kuvvetler ve basınç dağılımı gösterilmektedir.[19]



Şekil 2.4. Hidrodinamik radyal yatağa basınç profiline göre gelen kuvvet yönleri

Şekil 2.10'a göre W_1 ve W_2 kuvvetlerinin formülasyonu denklem 2.11 ve 2.12'de gösterilmektedir.

$$W_1 = \int_0^{\pi} \int_{-L/2}^{L/2} p.R_1.\cos \Theta d\Theta dy \quad (2.11)$$

$$W_2 = \int_0^{\pi} \int_{-L/2}^{L/2} p.R_1.\sin \Theta d\Theta dy \quad (2.12)$$

Denklem 2.10'daki basınç ifadesini denklem 2.11 ve 2.12'de yerine yazarsak yatağa gelen yük bileşenlerini ve bileşke kuvveti hesaplayabiliriz.

$$W_1 = \int_0^{\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{3.U.\eta.\varepsilon.R_1.\sin \Theta.\cos \Theta}{R_1.c^2.(1 + \varepsilon.\cos \Theta)^3} \left(\frac{L^2}{4} - y^2\right) d\Theta dy \quad (2.13)$$

Denklem 2.13'te R_1 'ler gider ve sabit değerler integral dışına alınır;

$$W_1 = \frac{3.U.\eta.\varepsilon}{c^2} \cdot \int_0^{\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{\sin \Theta.\cos \Theta}{(1 + \varepsilon.\cos \Theta)^3} d\Theta \left(\frac{L^2}{4} - y^2\right) dy \quad (2.14)$$

Denklem 2.14'de görülen integral bölümlere ayrılarak çözülmüş ve çözüm yöntemi aşağıda gösterilmiştir.

Denklem 2.15'te denklem 2.14 'ün iç kısımdaki integral görülmektedir.

$$\int_0^{\pi} \frac{\sin \Theta \cos \Theta}{(1 + \varepsilon \cos \Theta)^3} d\Theta \quad (2.15)$$

$$1 + \varepsilon.\cos \Theta = u$$

$$\cos \Theta = (u-1) / \varepsilon$$

$$du = - \sin \Theta d\Theta$$

$$- du = \sin \Theta d\Theta$$

Yukarıda bulunan değerleri denklem 2.15'te yerine koyduğumuz zaman eşitliğin son hali denklem 2.16'da görülmektedir.

$$\int_0^{\pi} \frac{u-1}{\varepsilon u^3} \cdot (-du) \quad (2.16)$$

Denklem 2.16'daki denklemde sabit sayıları integral dışına çıkarırsak denklem 2.17'yi elde ederiz.

$$-\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^{\pi} (u^{-2} - u^{-3}) du \quad (2.17)$$

Denklem 2.17'nin integrali alınarak denklem 2.18 elde edilmiştir.

$$-\frac{1}{\varepsilon^2} \left(\frac{u^{-1}}{-1} - \frac{u^{-2}}{-2} \right) \Big|_0^{\pi} \quad (2.18)$$

Denklem 2.18'i düzenleyip üst ve alt integral sınırlarını yerlerine koyarak sırası ile işlemleri yaptığımız zaman denklem 2.19'u elde etmiş oluruz.

$$\left[-\frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \left(\frac{-2 \cdot (1 - \varepsilon) + 1}{2 \cdot (1 - \varepsilon)^2} \right) \right] - \left[-\frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \left(\frac{-2 \cdot (1 + \varepsilon) + 1}{2 \cdot (1 + \varepsilon)^2} \right) \right] \quad (2.19)$$

Denklem 2.19 düzenlenip gerekli sadeleştirmeler yapıldığı zaman denklem 2.15 integrali çözülmüş olur. Denklem 2.15'in integralinden elde edilen sonuç denklem 2.20'de gösterilmiştir.

$$\int_0^{\pi} \frac{\sin \Theta \cos \Theta}{(1 + \varepsilon \cos \Theta)^3} d\Theta = -\frac{2 \cdot \varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^2} \quad (2.20)$$

Denklem 2.14'ün diğer kısmının integralinin çözümü aşağıda gösterilmektedir.

$$\int_{-L/2}^{L/2} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right) dy = \left(\frac{L^2}{4} \cdot y - \frac{y^3}{3} \right) \Big|_{-L/2}^{L/2} \quad (2.21)$$

$$\left[\frac{L^2}{4} \cdot \frac{L}{2} - \frac{L^3}{24}\right] - \left[-\frac{L^2}{4} \cdot \frac{L}{2} + \frac{L^3}{24}\right] \quad (2.22)$$

Denklem 2.21 düzenlenip gerekli sadeleştirmeler yapıldığı zaman denklem 2.21'deki integral çözülmüş olur. Denklem 2.21'in çözümü 2.23'te gösterilmiştir.

$$\int_{-L/2}^{L/2} \left(\frac{L^2}{4} - y^2\right) dy = \frac{L^3}{6} \quad (2.23)$$

Denklem 2.14'ün çözümlenmiş hali denklem 2.24'te gösterilmektedir.

$$W_1 = -\frac{U \cdot \eta \cdot \varepsilon^2 \cdot L^3}{c^2 \cdot (1 - \varepsilon^2)^2} \quad (2.24)$$

Denklem 2.12'de gösterilen W_2 'de W_1 ile aynı şekilde çözülmürse denklem 2.25'teki sonuç elde edilir.

$$W_2 = \frac{U \cdot \eta \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot L^3}{4 \cdot c^2 \cdot (1 - \varepsilon^2)^{3/2}} \quad (2.25)$$

Denklem 2.24 ve 2.25'te gösterilen hidrodinamik radyal kaymalı yatağa gelen yük bileşenleri yardımı ile bileşke kuvvet hesaplanıp denklem 2.26'da gösterilmiştir.

$$W = \sqrt{W_1^2 + W_2^2}$$

$$W = \frac{U \cdot \eta \cdot \varepsilon \cdot L^3}{c^2 \cdot (1 - \varepsilon^2)^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{16}{\pi^2} - 1\right) \cdot \varepsilon^2 + 1\right)} \quad (2.26)$$

Denklem 2.26'da görülen eşitlikteki yatağa gelen bileşke kuvvet yardımı ile sommerfeld sayısı hesaplanabilir.

Sommerfeld sayısı yataklarda çok önemli bir faktördür. Yatağın yük taşıma kabiliyeti ile ilgili fikir edinmemizi sağlayan boyutsuz bir sayıdır. Sommerfeld sayısı ile

dinamik viskozite ve eksantriklik oranı arasında grafikler çizilerek kaymalı yatağın değişken durumlara göre göstermiş olduğu davranışlar elde edilir. Denklem 2.27 ve 2.28’de kaymalı yatağa gelen bileşke kuvvet eşitliği yardımı ile sommerfeld sayısının elde edilişi görülmektedir.

Denklem 2.26’yı eksantriklik oranını yalnız bırakacak şekilde ayırırsak ve denklemin sol kısmının her iki tarafını R_1^2 ile çarparsak denklem 2.27’yi elde etmiş oluruz.[19]

$$\frac{W.c^2}{L.U.\eta.R_1^2} \cdot \frac{4.R_1^2}{L^2} = \frac{\varepsilon.\pi}{(1-\varepsilon^2)^2} \cdot (0.621.\varepsilon^2 + 1)^{0.5} \quad (2.27)$$

$$\Delta = \frac{W}{L.U.\eta} \cdot \left(\frac{c}{R_1}\right)^2 \quad (2.28)$$

Denklem 2.26’ denklem 2.28’e göre düzenlersek denklem 2.29’u elde etmiş oluruz.

$$\Delta \cdot \left(\frac{D}{L}\right)^2 = \frac{\varepsilon.\pi}{(1-\varepsilon^2)^2} \cdot (0.621.\varepsilon^2 + 1)^{0.5} \quad (2.29)$$

Kaymalı yataklarda meydana gelen sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı yatağın çalışma şartlarının belirlenmesinde çok önemli bir faktördür. Kaymalı yataklarda meydana gelen sürtünme kuvvetinin ana denklemi denklem 2.30’da görülmektedir[19].

$$F = \int_0^L \int_0^B \tau \cdot dx dy \quad (2.30)$$

Denklem 2.30’da L yatak boyu, B yatak genişliği ve τ kayma gerilmesidir. Şekil 1.5’e göre kuvvet; Yatak alanı, muylu hızı ve yağ filmi kalınlığının bir fonksiyonudur. Kayma gerilmesi bu büyüklükler cinsinden yazılabilir. Bu ifadeye göre denklem 2.31’i yazabiliriz.

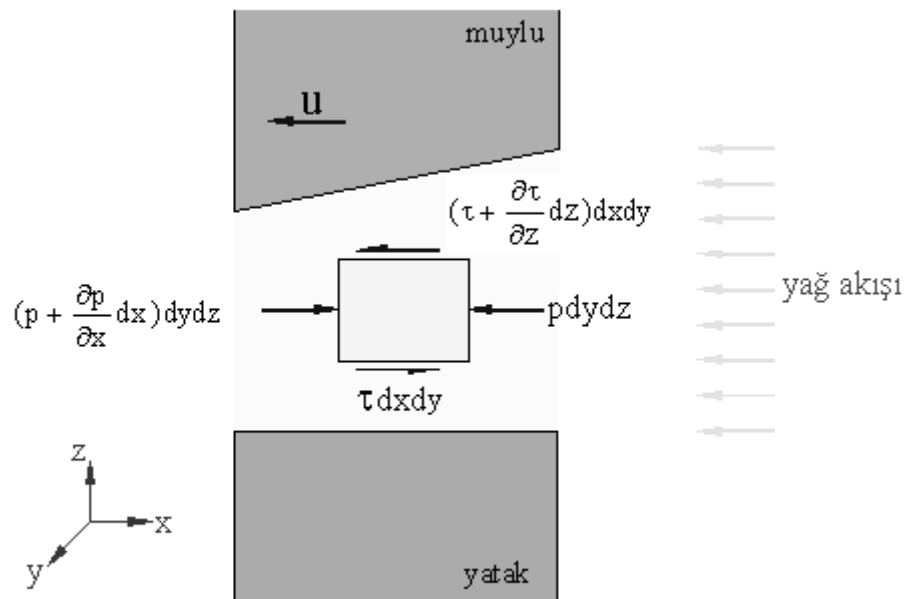
$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{du}{dz} \quad (2.31)$$

Denklem 2.31'i denklem 2.30'da yerine yazarsak yataklardaki sürtünme kuvveti ana denklemini çözmek daha kolay olur.

$$F = \int_0^L \int_0^B \eta \cdot \frac{du}{dz} \cdot dx dy \quad (2.32)$$

Denklem 2.32’de görüldüğü gibi hız, yağ filminin kalınlığıyla doğru orantılı değişir. Viskozite (η) ise akışkanın iç sürtünme direncinin bir ölçüsüdür. U hızına bağlı bir eşitlik bulduğumuz zaman bu denklem daha kolay çözülecektir.

Yağ filmi içerisinde yağın küçük bir kısmında oluşan fiziksel durum şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. Kaymalı yatak sisteminde bir yağ elemanın fiziksel davranışı

Şekil 2.5’de görünen kuvvetlerin taraf tarafa toplanmasıyla oluşan eşitlik denklem 2.33’de görülmektedir.

$$pdydz + (\tau_x + \frac{\partial \tau_x}{\partial z} dz) dxdy = (p + \frac{\partial p}{\partial x} dx) dydz + \tau_x dxdy \quad (2.33)$$

Denklem 2.33'ün sadeleştirilmiş hali denklem 2.34'te görülmektedir.

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial z} dx dy dz = \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.35)$$

Denklem 2.31 denklem 2.35'te yerine yazılırsa denklem 2.36 elde edilir.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \partial z = \partial \left(\eta \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.37)$$

2.37 denkleminin integrali alınıp düzenlenirse denklem 2.40 elde edilir.

$$\frac{\partial p}{\partial x} \cdot z + C_1 = \eta \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.38)$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial x} \cdot z + C_1 \right) \cdot \partial z = \eta \cdot \partial u \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{z^2}{2} + C_1 \cdot z + C_2 = \eta \cdot u \quad (2.40)$$

Denklem 2.40'ta elde edilen eşitliğe aşağıda görüldüğü gibi sınır şartları uygulanarak denklem çözülmüştür.

$$u = U_2 \text{ ise } z = 0$$

$$u = U_1 \text{ ise } z = h$$

$$C_1 = (U_1 - U_2) \frac{\eta}{h} - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{h}{2} \quad (2.41)$$

$$C_2 = \eta U_2 \quad (2.42)$$

Denklem 2.41 ve denklem 2.42’de bulunan sabit sayıları denklem 2.40’ta yerine koyup gerekli düzenlemeleri yaptıktan sonra u hızını bulabiliriz. u hızı denklem 2.43’te görülmektedir.

$$u = \left(\frac{z^2 - zh}{2\eta} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + (U_1 - U_2) \cdot \frac{z}{h} + U_2 \quad (2.43)$$

Denklem 2.43’te $z = 0$ ’da $U_2 = 0$ ve $z = h$ ’da $U_1 = U$, bu bilgiler ışığında denklem 2.43’ün yeniden düzenlenmiş hali denklem 2.44’te görülmektedir.

$$u = \left(\frac{z^2 - zh}{2\eta} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + U \cdot \frac{z}{h} \quad (2.44)$$

Hız denklemini oluşturduktan sonra z ’ye göre türev alınıp denklem 2.32’de yerine konulursa çözüme ulaşılabilir.

$$\frac{du}{dz} = \left(\frac{2z - h}{2\eta} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{U}{h} \quad (2.45)$$

Denklem 2.45’te $\frac{\partial p}{\partial x} \ll \frac{\partial p}{\partial y}$ olduğundan dolayı $\frac{\partial p}{\partial x}$ ihmal edilebilir. Eşitliğin son hali denklem 2.46’da görülmektedir.

$$\frac{du}{dz} = \frac{U}{h} \quad (2.46)$$

$$F = \int_0^L \int_0^B \eta \cdot \frac{U}{h} \cdot dx dy \quad (2.47)$$

Denklem 2.47’nin 0’dan L’ye kadar integralinin alınmış hali denklem 2.48’de gösterilmektedir.

$$F = \int_0^B \frac{U \cdot \eta \cdot L}{h} dx \quad (2.48)$$

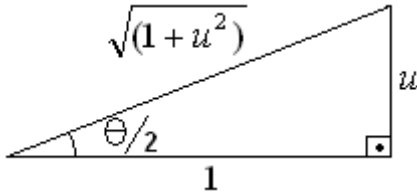
Şekil 2.4'te görüldüğü gibi $dx = R d\Theta$ dönüşümü yapılırsa integral sınırları 0'dan π 'ye kadar belirlenebilir ve h yerine denklem 2.9'daki eşitlik kullanılabilir. Yapılacak değişikliklerden sonra oluşan yeni denklem 2.49'da görülmektedir.

$$F = \int_0^\pi \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c \cdot (1 + \varepsilon \cdot \cos \Theta)} d\Theta \quad (2.49)$$

Denklem 2.49'da bulunan sabit sayılar integral dışına çıkarılabilir.

$$F = \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c} \int_0^\pi \frac{d\Theta}{c \cdot (1 + \varepsilon \cdot \cos \Theta)} \quad (2.50)$$

Denklem 2.50'deki integralin çözümü aşağıda adım adım gösterilmiştir.



$\tan \frac{\Theta}{2} = u$ dönüşümünü yaparsak;

$$(1 + \tan^2 \frac{\Theta}{2}) \cdot \frac{1}{2} d\Theta = du \text{ olur.}$$

$$d\Theta = \frac{2du}{(1 + u^2)}$$

$\cos\Theta$, u cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\cos\Theta = 2\cos^2\frac{\Theta}{2} - 1$$

$$\cos\Theta = 2 \cdot \frac{1}{1+u^2} - 1$$

$$\cos\Theta = \frac{1-u^2}{1+u^2}$$

Elde edilen değişkenler denklem 2.51’de yerine yazılırsa elde edilen denklem u değişkenli bir denklem olur.

$$F = \frac{U.\eta.L.R}{c} \int_0^\infty \frac{\frac{2du}{1+u^2}}{1+\varepsilon \cdot \frac{1-u^2}{1+u^2}} \quad (2.51)$$

Denklem 2.51’in sadeleştirilmiş hali denklem 2.52’de görülmektedir.

$$F = \frac{U.\eta.L.R}{c} \int_0^\infty \frac{2du}{1+u^2 + \varepsilon.(1-u^2)} \quad (2.52)$$

$$F = \frac{U.\eta.L.R}{c} \int_0^\infty \frac{2du}{1+\varepsilon + u^2.(1-\varepsilon)} \quad (2.53)$$

$$F = \frac{U.\eta.L.R}{c} \cdot \frac{1}{1+\varepsilon} \int_0^\infty \frac{2du}{1+\frac{u^2.(1-\varepsilon)}{1+\varepsilon}} \quad (2.54)$$

$$F = \frac{U.\eta.L.R}{c} \cdot \frac{1}{1+\varepsilon} \int_0^\infty \frac{2du}{1+(u \cdot \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}})^2} \quad (2.55)$$

Denklem 2.55'te bir değişken değiştirme yöntemi daha uygulanarak denklem çözülebilir.

$$T = u \cdot \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}}$$

$$dT = \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} du$$

$$du = \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} dT$$

$$F = \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c} \cdot \frac{1}{1+\varepsilon} \int_0^{\infty} \frac{2dT \cdot \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}}}{1+T^2} \quad (2.56)$$

$$F = \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c} \cdot \frac{1}{1+\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{2dT}{1+T^2} \quad (2.57)$$

$$F = \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c} \cdot \frac{1}{1+\varepsilon} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{dT}{1+T^2} \quad (2.58)$$

Denklem 2.58'de gerekli trigonometrik değişiklikler ve sadeleştirmeler yapılarak denklem 2.59'da gösterilmiştir.

$$F = \frac{U \cdot \eta \cdot L \cdot R}{c} \cdot \frac{2}{1+\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} (\text{Arc tan } T) \Big|_0^{\infty} \quad (2.59)$$

Denklem 2.59 integral kuralına göre çözülrse sürtünme kuvvetini elde edilir. Denklem 2.60'da kaymalı yataklardaki sürtünme kuvveti eşitliği görülmektedir. Bu denklemde 2 çarpanı, yatağın 0 ile 2π arasındaki sürtünme kuvvetinin hesaplanması sonucunda eklenmiştir.

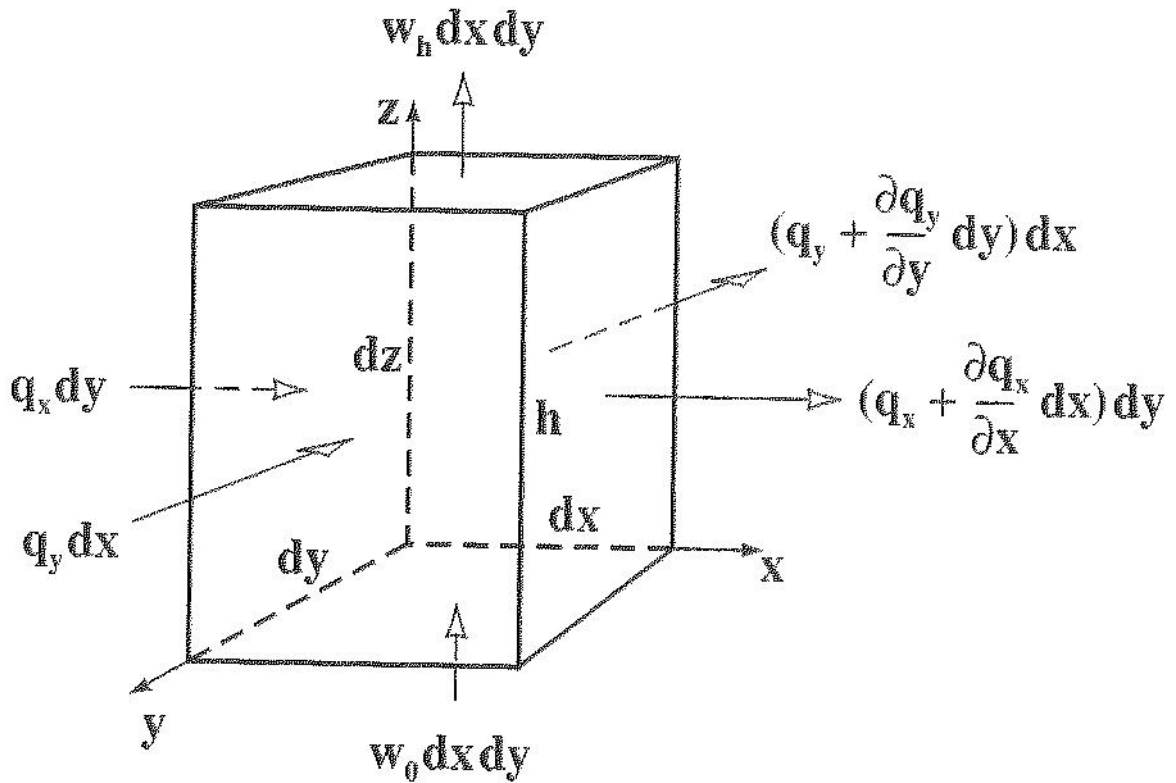
$$F = \frac{2\pi U \eta L R}{c} \cdot \frac{1}{(1 - \varepsilon^2)^{0.5}} \quad (2.60)$$

Kaymalı yatağın maruz kaldığı sürtünme kuvvetinin yatağa etkiyen bileşke kuvvete oranına sürtünme katsayısı denir. Kaymalı yataklarda sürtünme katsayısı ne kadar düşük olursa yatağın çalışması o kadar düzenli olur. Sürtünme katsayısının artması yağ filminin sıcaklığının artmasına neden olacağından tehlikeli bir durum oluşturur. Denklem 2.61’de sürtünme katsayısı eşitliği görülmektedir.

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (2.61)$$

Kaymalı yataklarda sıvı sürtünme olayının devam edebilmesi için kayma yüzeylerine belirli bir miktar yağ verilmesi gerekmektedir. Kayma yüzeylerine iletilmesi gereken yağ miktarı ve min. yağ filmi kalınlığından geçen yağ miktarı eşitliklerinin çıkarılması aşağıdaki denklemlerde görülmektedir.

Debi denklemi için küçük bir yağ kütesindeki durum Şekil 2.6’de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kaymalı yataklarda bir yağ kütesindeki debi durumu

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi önemli olan debi x yönündeki debidir. Denklem 2.62'de x yönündeki debinin formüle edilmiş hali görülmektedir.

$$q_x = \int_0^h u dz \quad (2.62)$$

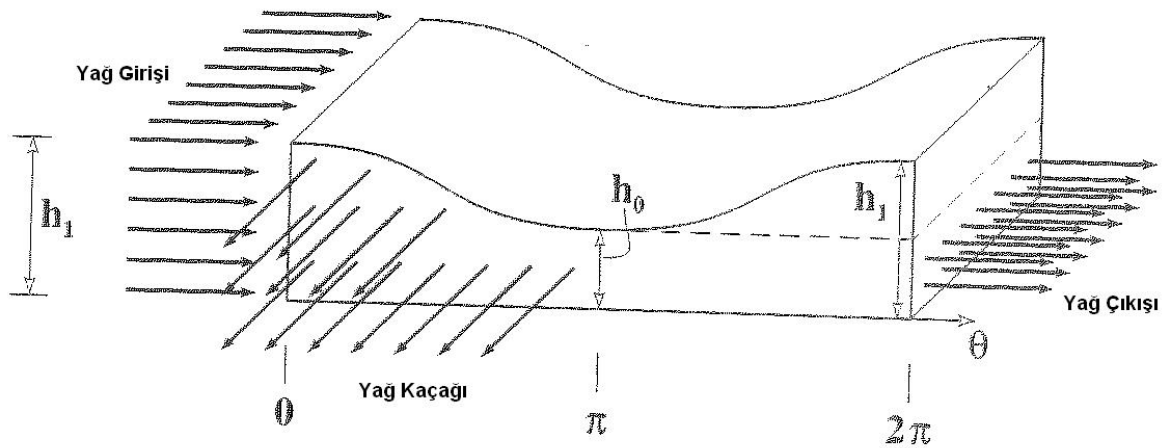
Denklem 2.44'teki u eşitliğini denklem 2.62'de yerine yazıp integrali alınırsa denklem 2.63 elde edilir.

$$q_x = \left[\left(\frac{z^3}{3} - \frac{z^2 \cdot h}{2} \right) \frac{\partial p}{2 \eta \cdot \partial x} + (U_1 - U_2) \cdot \frac{z^2}{2 \cdot h} + U_2 \cdot z \right]_0^h \quad (2.63)$$

Denklem 2.63'te $U_2 = 0$ ve $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ olduğundan integral kuralına göre değerler yerine yerleştirilirse denklem 2.64 elde edilir.

$$q_x = \frac{U \cdot h}{2} \quad (2.64)$$

Şekil 2.7'de radyal kaymalı bir yataktaki debi geçiş durumu görülmektedir. Burada min. yağ filmi kalınlığında debi azalmaktadır.



Şekil 2.7. Radyal kaymalı yataktaki yağ filmi oluşum durumu

Denklem 2.64'te çıkardığımız denklemin yatağın tüm boyuna göre integre edilmiş hali denklem 2.65'te görülmektedir.

$$Q_x = \int_0^L q_x dy \quad (2.65)$$

Denklem 2.65'te q_x yerine denklem 2.64'teki değerini yazıp integrali çözülürse denklem 2.66 elde edilmiş olur.

$$Q_x = \frac{U.h.L}{2} \quad (2.66)$$

Denklem 266'da h yerine denklem 2.9'daki eşitlik yazılırsa denklem 2.67 elde edilir.

$$Q_x = \frac{U.L}{2} .c.(1 + \varepsilon .\cos \Theta) \quad (2.67)$$

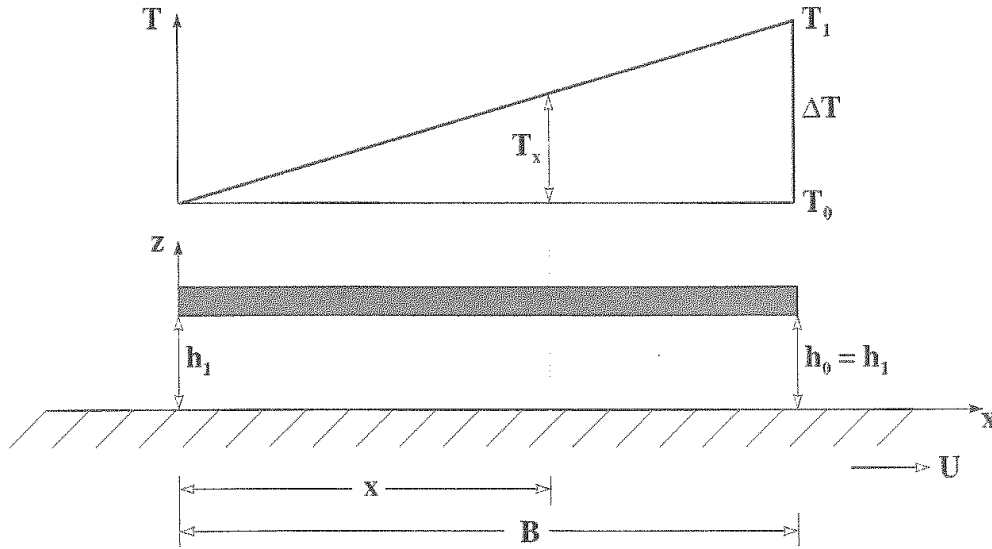
Denklem 2.67'de Θ yerine π yazılırsa min. yağ filminde geçen debi tespit edilmiş olur. Radyal kaymalı yatağın min. yağ filminde geçen debi denklem 2.68'de gösterilmiştir.

$$Q_x = \frac{U.L}{2} .c.(1 - \varepsilon) \quad (2.68)$$

2.2.Kaymalı Yataklarda Isı Transfer Mekanizması

Katı cisimlerin birbiri üzerinde kayması nedeni ile sürtünmeler meydana gelir bu sürtünmeler sırasında oluşan sürtünme katsayısına göre şaftla yatak arasında oluşan yağ filminde ısınmalar oluşur. Bu nedenle kaymalı yatak içerisindeki yağı belli bir sıcaklıkta tutmak gerekir aksi takdirde sıcaklıktan dolayı yağın dinamik viskozitesi düşeceğinden yağın özelliği bozulur. Buda yağ filminin yırtılmasına ve metal metal sürtünmelerine yol açar ve telafisi zor, maliyetli arızalara neden olur.

Sürtünmeler nedeni ile kaymalı yatakta meydana gelen sıcaklığın, bir kısmı yağlama yağı tarafından, bir kısımda shaft ve yatak gövdesi tarafından alınır. Kaymalı radyal yataklarda meydana gelen sıcaklık yükselişi şekil 2.8’te görülmektedir.



Şekil 2.8. Kaymalı yataklarda ısı transfer mekanizması

Şekil 2.8’te görülen kaymalı yataklardaki ısı transfer mekanizmasında T_0 yatağa giriş sıcaklığı T_1 ise yataktan çıkış sıcaklığıdır.

Denklem 2.69’da kaymalı yatakta oluşan ısınnın iletim yoluyla harcanan kısmı görülmektedir.[15]

$$H_{iletim} = \int_0^B K \cdot \frac{\Delta T}{B} \cdot \frac{x}{h} dx \quad (2.69)$$

Denklem 2.69’da K ısı iletim katsayısı(W/mK), ΔT yatağa giren yağ sıcaklığı ile yataktan çıkan yağ sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı(K), B yatak genişliği(m), h yağ filmi kalınlığı(m) ve H_{iletim} iletimle harcanan ısı miktarını(W/m) göstermektedir. Denklem 2.69’un 0’dan B ’ye kadar integralini alırsak denklem 2.70’i elde etmiş oluruz.

$$H_{iletim} = \Delta T \cdot \frac{K.B}{2.h} \quad (2.70)$$

Yukarıda bahsedildiği üzere kaymalı yataklarda oluşan sıcaklığın büyük bir kısmı taşınım yoluyla yani yatak yağının taşıdığı ısı yoluyla olur. Yatak yağı ile taşınan ısı denklem 2.71’de gösterilmektedir

$$H_{taşınım} = \frac{U.h.\rho}{2} \cdot \sigma \cdot \frac{\Delta T}{2} \quad (2.71)$$

Denklem 2.71’de verilen eşitlikte U şaft hızı (m/sn), ρ yağ yoğunluğu (kg/m^3), σ yağın özgül ısısını (J/kgK) ve $H_{taşınım}$ yataktan taşınım yoluyla atılan ısıyı ifade etmektedir.

Denklem 2.72’te iletim yoluyla atılan ısının taşınım yoluyla atılan ısıya oranı görülmektedir.

$$\frac{H_{iletim}}{H_{taşınım}} = \left(\frac{K}{\rho \cdot \sigma} \right) \cdot \frac{2.B}{U.h^2} \quad (2.72)$$

Kaymalı yataklardaki sıcaklık dağılımının tespiti, çok fazla değişken parametre mevcut olduğu için tam sonuç verecek bir denklemle yapılamamaktadır. Bunun için ampirik formüller ve bazı metotlar mevcuttur. Bu çalışmada iteratif metod adı verilen bir yöntem kullanılmış olup yapılan deneyler sonucunda gerçeğe çok yakın değerler elde edilmiştir. Denklem 2.73’te iteratif metodun temel mantığı görülmektedir.[19]

$$T_{eff} = T_{giriş} + k.\Delta T \quad (2.73)$$

Denklem 2.73’te T_{eff} kaymalı yatağın çevresinde istenilen yerdeki sıcaklığı, $T_{giriş}$ yağın yatağa giriş sıcaklığını ve k değeri 0,8 olan bir sabit sayıyı ifade etmektedir.[19]

Denklem 2.74’te yatağı adyabatik kabul etmemiz durumunda oluşan eşitlik görülmektedir.

$$H = F.U \quad (2.74)$$

Denklem 2.74'te H yerine 2.71'yi yazarsak oluşan eşitlik denklem 2.75'da görülmektedir.

$$F.U = Q.\rho.\sigma.\frac{\Delta T}{2} \quad (2.75)$$

Denklem 2.75'yı düzenleyip denklem 2.73'te yerine yazarsak kaymalı yataklardaki sıcaklık dağılım denklemini elde etmiş oluruz.

$$T_{eff} = T_{giriş} + \frac{1,6.F.U}{Q.\rho.\sigma} \quad (2.76)$$

2.3. Isı Değiştirgeçleri İle İlgili Denklemler

Isı değiştirgeçlerinde soğutma veya ısıtma miktarı etkinlik oranı ile direkt alakalıdır. Türbin kılavuz yataklarında dolaşan yağı soğutabilmek için genelde su kullanılır. Bu nedenle ısı değiştirgecinin iki giriş ve iki çıkışı vardır.

Buna göre ısı değiştirgecinde sıcak akışkanın verdiği ısı, soğuk akışkana transfer edilmektedir. Aynı yönlü paralel akışta ısı değiştirgeci için alınan veya verilen ısı miktarı, denklem 2.77'de gösterildiği şekilde belirlenebilir.[20]

$$Q = (m.C_p)_h . (T_{hg} - T_{hc}) \quad (2.77)$$

Reynolds sayısı denklem 2.78'deki bağıntı yardımıyla bulunur.

$$Re = \frac{U_m . d_e}{\nu} \quad (2.78)$$

Isı değiştirgeçlerinde etkinlik oranı aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanabilir.

$$C_h = m_h . c_{p_h} \quad (2.79)$$

$$C_c = m_c . c_{p_c} \quad (2.80)$$

$$C_r = \frac{C_{\min.}}{C_{\max.}} \quad (2.81)$$

$$Q_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{hg} - T_{cg}) \quad (2.82)$$

Denklem 2.81'deki $C_{\min}$ değeri denklem 2.79 ve 2.80'in en küçük değeridir. Yukarıdaki denklemler yardımı ile ısı değiştirgeçlerindeki etkinlik değeri denklem 2.83'te gösterilmektedir.

$$\varepsilon_1 = \frac{Q}{Q_{\max.}} \quad (2.83)$$

Denklem 2.83'teki ε_1 değeri 0 ile 1 arasında bir değer olup ısı değiştirgeçlerindeki etkinliği ifade etmektedir.[21]

Plakalı eşanjörlerde $Re - Nu$ arasındaki grafikleri çizebilmek için aşağıdaki denklemleri kullanmak gerekir[23]

$$w = \frac{m}{n \cdot \rho \cdot a \cdot b} \quad (2.84)$$

Denklem 2.84'te w , m/s cinsinden hızı, m kütleli debiyi, n plakalı eşanjördeki bir seferdeki geçiş sayısını, ρ özgül ağırlık, a levha genişliğini ve b levhalar arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Denklem 2.85'ten Reynolds sayısı hesaplanabilir.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\mu / \rho} \quad (2.85)$$

Denklem 2.85'te d_h ıslak çevre olup levha genişliğinin 2 katı alınabilir, μ kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Nusselt sayısını deneysel ve teorik yolla bulmak mümkündür. Denklem 2.86, 2.87 ve 2.88'de Nusselt sayısının deneysel yolla bulunması gösterilmiştir.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = H \cdot A \cdot \Delta T_{\log}. \quad (2.86)$$

$$H = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{A \cdot \Delta T_{\log}} \quad (2.87)$$

$$Nu = \frac{H \cdot d_h}{k} \quad (2.88)$$

Denklem 2.86'daki c_p özgül ağırlık, ΔT giriş çıkış arasındaki sıcaklık farkı, H ısı transfer katsayısı, A ısı transfer yüzey alanı ve $\Delta T_{\log}$ Logaritmik ortalama sıcaklığı ifade etmektedir.

Denklem 2.89'da Nusselt sayısının teorik yolla elde edilişi gösterilmiştir[23].

$$Nu_t = 0,2 \cdot Re^{0,67} \cdot Pr^{0,4} \quad (2.89)$$

Denklem 2.89'da görülen eşitlik plakalı eşanjörlerde Reynolds sayısının 500'den büyük olduğu durumlardaki türbülanslı akışlar için geçerlidir.

2.4.Yapılan Çalışma İle İlgili Sayısal Örnek

Yukarıda denklemleri çıkarılan hidrodinamik radyal kaymalı yatakların ve yağ soğutucularının Keban barajı 8 nolu ünitesinin türbin kılavuz yatak ve plakalı eşanjörüne uygulanışı aşağıda gösterilmiştir.

Keban HES 8 nolu ünitenin türbin kılavuz yatağına ait bilgiler tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Keban HES 8 nolu ünitenin türbin kılavuz yatak bilgileri

Yatak Boyu (L)	0,41 m.
Yatak Çapı (D)	1,00556 m.
Şaft Çapı (D ₁)	1,005 m.
Yatak Metalinin Toplam Ağırlığı	200 Kg.
Yatak Metalinin Malzemesi	Sn %84-86, Sb %9,5-10, Cu %4,5-5,5, Pb %0,5
Yatak Kovanın Toplam Ağırlığı	1300 Kg.
Yatak Kovanının Malzemesi	FT 25 Dökme Demir
Yağ Tankı Dış Çapı	1,91 m.
Yağ Tankı İç Çapı	1,88 m.
Yağ Tankı Yüksekliği	0,535 m.
Tank Hacmi	670 lt

Tablo 2.1’de verilen bilgilere göre yatağın yarı çaptaki boşluğu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$c = R - R_1 = 0,50278 - 0,5025 = 0,00028 \text{ m.}$$

Yukarıda verilen hesaplamada R yatak yarıçapı, R₁ shaft yarıçapıdır. Hesaplanan yarıçaptaki yatak boşluğu shaft merkezlendikten sonra sentille ölçülerek de bulunabilir.

Yatak boyunun yatak çapına oranı hidrodinamik kaymalı yatak hesaplarında bilinmesi gereken bir orandır. Bu oran aşağıda hesaplanmıştır.

$$\frac{L}{D} = \frac{0,41}{1,00556} = 0,407$$

Kaymalı yatak eksantriklik oranını hesaplayabilmek için şaftın merkeze göre yaptığı salınımı bilmek gerekmektedir. Bu sayısal örnekte, grup 8 155 MW'ta çalışırken komperatör'den okunan değer esas alınmıştır. Bu değer $e = \%8 = 0,08 \text{ mm.}$ 'dir.

$$\varepsilon = \frac{e}{c} = \frac{0,08}{0,28} = 0,285 \quad (\text{Eksantriklik oranı})$$

Elde edilen veriler denklem 2.9'da yerine yazılırsa min. yağ filmi kalınlığının değeri hesaplanmış olur.

$$h_{\min.} = 0,00028 * (1 + 0,285 * \cos 180) = 0,2 * 10^{-3} \text{ m.}$$

Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi min. yağ filmi kalınlığını hesaplarken yatağın 180° 'deki konumu esas alınmıştır. Bu durum matlab'da yapılan bilgisayar programında 0° 'dan 360° 'ye kadar verilen açılar sonucu tespit edilmiş ve çalışmanın ilerleyen kısımlarında grafikler halinde verilmiştir.

Türbin kılavuz yatağa gelen kuvvet denklem 2.26'ya göre hesaplanabilir, fakat ilk önce şaftın çevresel hızı ve türbin yağının dinamik viskozitesini bilmek gerekir. Şaftın çevresel hızı denklem 2.90'a göre hesaplanabilir.

$$U = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (2.90)$$

Denklem 2.90'da n şaftın devir sayısını ifade etmektedir. Keban HES grupları 166,67 dev/dak hızında dönmektedirler. Bunun sebebi $f = n.p/60$ formülüne göre frekansın (f) 50 Hz ve rotor kutup sayısının 36 adet olmasıdır. Buna göre çevresel hız;

$$U = \frac{\pi * 1,005 * 166,67}{60} = 8,766 \text{ m/sn. olarak hesaplanır.}$$

Keban HES üniteleri türbin kılavuz yataklarında kullanılan yağ Mobil DTE Heavy Medium 68'dir. Bu yağın dinamik viskozitesi ve diğer teknik özellikleri Mobil firması

mühendislik hizmetleri biriminden alınmak suretiyle yağın sıcaklığının 0 ile 200 °C arasındaki değerleri tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Mobil DTE Heavy Medium 68 teknik özellikleri

Sıcaklık °C	Kinematik Viskozite mm ² /sn	Özgül ısı kJ/kg.K.	Yoğunluk Kg/m ³	Dinamik Viskozite mPas	Isı iletim katsayısı W/mK	Prandtl sayısı
0	890	1,8046	879,4	782,65	0,1347	10487,66
5	580	1,8227	876,3	508,23	0,1343	6897,45
10	400	1,8409	873,1	349,25	0,1339	4800,02
15	280	1,8591	870,0	243,60	0,1336	3390,12
20	198	1,8773	866,9	171,64	0,1332	2418,52
25	145	1,8955	863,7	125,24	0,1329	1786,62
30	109	1,9136	860,6	93,80	0,1325	1354,64
35	83	1,9318	857,4	71,16	0,1321	1040,32
40	65	1,950	854,2	55,52	0,1318	821,57
45	52	1,9682	851,0	43,95	0,1314	658,15
50	42	1,9864	847,9	35,26	0,1311	534,44
55	34	2,0045	844,7	28,69	0,1307	440,01
60	28,1	2,0227	841,5	23,64	0,1303	366,86
65	23,5	2,0409	838,3	19,71	0,1300	309,41
70	19,9	2,0591	835,1	16,60	0,1296	263,72
75	17,0	2,0773	831,9	14,12	0,1293	226,95
80	14,6	2,0954	828,7	12,12	0,1289	197,05
85	12,7	2,1136	825,5	10,49	0,1285	172,49
90	11,1	2,1318	822,2	9,15	0,1282	152,12
95	9,8	2,1500	819,0	8,03	0,1278	135,08
100	8,7	2,1682	815,8	7,10	0,1275	120,72
105	7,8	2,1863	812,5	6,31	0,1271	108,52
110	7,0	2,2045	809,3	5,64	0,1267	98,09
115	6,3	2,2227	806,1	5,07	0,1264	89,10
120	5,7	2,2409	802,8	4,57	0,1260	81,32
125	5,2	2,2591	799,6	4,15	0,1257	74,54
130	4,74	2,2772	796,3	3,77	0,1253	68,60
135	4,35	2,2954	793,1	3,45	0,1249	63,37
140	4,01	2,3136	789,8	3,16	0,1246	58,75
145	3,70	2,3318	786,5	2,91	0,1242	54,64
150	3,43	2,3500	783,3	2,69	0,1239	50,97
155	3,19	2,3681	780,0	2,49	0,1235	47,69
160	2,97	2,3863	776,7	2,31	0,1231	44,74
165	2,78	2,4045	773,5	2,15	0,1228	42,08
170	2,60	2,4227	770,2	2,00	0,1224	39,67
175	2,44	2,4409	766,9	1,87	0,1221	37,49
180	2,30	2,459	763,6	1,76	0,1217	35,50
185	2,17	2,4772	760,4	1,65	0,1213	33,68
190	2,05	2,4954	757,1	1,55	0,1210	32,02
195	1,94	2,5136	753,8	1,46	0,1206	30,49
200	1,84	2,5318	750,5	1,38	0,1203	29,09

Dinamik viskozite ile ilgili bilgiler ve yağın diğer özellikleri için elde edilmiş olan ampirik formüller aşağıda verilmiştir.

Ünite üzerinde yapılan deneyler esnasında ünitenin devreye girmesinden 320 dakika sonra grup 155 MW’da çalışırken türbin kılavuz yatak yağ tankının içerisindeki yağ sıcaklığı 50 °C alınmıştır. Bu nedenle 50 °C’deki yağın viskozite değerleri bir örnek hesaplama teşkil etmesi açısından aşağıda verilmiştir.

Dinamik viskozite eşitliği denklem 2.91’de gösterilmektedir.

$$\eta = \rho \cdot \nu \quad (2.91)$$

Denklem 2.91’de η dinamik viskoziteyi, ρ yoğunluğu ve ν kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Yağın 50 °C sıcaklığındaki kinematik viskozitesi $\nu = 42 \text{ mm}^2/\text{sn} = 42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$

Yağın 50 °C sıcaklığındaki yoğunluğu ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{0,847 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{sn}^2}} = \frac{0,847 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{sn}^2}} \cong 86,43 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{sn}^2}{\text{m}^4} \right]$$

Buradan dinamik viskozite;

$$\eta = 86,43 \frac{\text{kg} \cdot \text{sn}^2}{\text{m}^4} * 42 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{sn}} = 0,00363 \frac{\text{kg} \cdot \text{sn}}{\text{m}^2} = 0,0356 \text{ Pa} \cdot \text{sn} = 0,0356 [\text{cP}]$$

bulunur.

Yağ yoğunluğu ile sıcaklık arasında elde edilen ampirik ifade denklem 2.92’de gösterilmektedir.

$$\rho = -0,625 \cdot T + 879,4 \quad (2.92)$$

Denklem 2.92’de ρ yağlama yağının yoğunluğunu(kg/m^3), T yağlama yağının sıcaklığını($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir. Yağın herhangi bir sıcaklığı için yoğunluğu bu ampirik

ifade ile bulunabilir. Bu ampirik ifade Mobil DTE Heavy Medium 68 yağı için doğru sonuç verir.

Yağ özgül ısısı ile sıcaklık arasında elde edilen ampirik ifade denklem 2.93'da gösterilmektedir.

$$\sigma = 3,636 \cdot T + 1805 \quad (2.93)$$

Denklem 2.93'de σ yağlama yağının özgül ısısı (J/kgK), T yağlama yağının sıcaklığını (°C) ifade etmektedir. Yağın herhangi bir sıcaklığı için özgül ısısı bu ampirik ifade ile bulunabilir. Bu ampirik ifade Mobil DTE Heavy Medium 68 yağı için doğru sonuç verir.

Yağ ısı iletim katsayısı ile sıcaklık arasında elde edilen ampirik ifade denklem 2.94'de gösterilmektedir.

$$K = (0,072 \cdot T + 134,6) / 1000 \quad (2.94)$$

Denklem 2.94'de K yağlama yağının ısı iletim katsayısı (W/mK), T yağlama yağının sıcaklığını (°C) ifade etmektedir. Yağın herhangi bir sıcaklığı için ısı iletim katsayısı bu ampirik ifade ile bulunabilir. Bu ampirik ifade Mobil DTE Heavy Medium 68 yağı için doğru sonuç verir.

Dinamik viskozite ve hız bilgisini denklem 2.26'da yerine yazarsak kılavuz yatağa gelen bileşke kuvveti hesaplamış oluruz.

$$W = \frac{8,766 \cdot 0,0356 \cdot 0,285 \cdot 0,64^3}{(0,28 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (1 - 0,285^2)^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{16}{\pi^2} - 1\right) \cdot 0,285^2 + 1\right)}$$

$$W = 71659,28 \text{ N.} = 71,65928 \text{ kN.}$$

Türbin kılavuz yatakta oluşan basınç, denklem 2.95'e göre hesaplanan değerlerin yerine konmasıyla elde edilir.[19]

$$P = \frac{W}{2 \cdot L \cdot R} \quad (2.95)$$

$$P = \frac{71659,28}{2 * 0,41 * 0,50278} = 173812,335 \text{ N/m}^2$$

Elde edilen değerleri denklem 2.28’de yerine yazarsak sommerfeld sayısını türbin kılavuz yatağın belirlenen değerleri için hesaplamış oluruz.

$$\Delta = \frac{71659,28}{0,41 * 8,766 * 0,0356} \cdot \left(\frac{0,00028}{0,5025} \right)^2 = 0,173$$

Denklem 2.60’da elde edilen verileri yerine yazarsak kılavuz yatağın 155 MW yükte maruz kaldığı sürtünme kuvvetini hesaplamış oluruz.

$$F = \frac{2 * \pi * 8,766 * 0,0356 * 0,64 * 0,50278}{0,00028} \cdot \frac{1}{(1 - 0,285^2)^{0,5}} = 1507,95 \text{ N}$$

Kılavuz yatağa gelen bileşke kuvvetin sürtünme kuvvetine oranı sürtünme katsayısını vermektedir. Sürtünme katsayısı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{1507,95}{71659,28} = 0,002104$$

Türbin kılavuz yataklarından geçen yağ debisi denklem 2.68 yardımı ile hesaplanabilir.

$$Q_x = \frac{8,766 * 0,41}{2} * 0,00028 * (1 - 0,285) = 5,615 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sn} = 0,3597 \text{ lt/sn}$$

Hesaplanan değer türbin kılavuz yatağın min. yağ filmi kalınlığından geçen yağ debisini ifade etmektedir.

Türbin kılavuz yataktaki ısının iletim yoluyla dağıtılan miktarı denklem 2.70’deki parametrelerin tespiti yapıldıktan sonra bulunabilir.

Yatak genişliği;

$$B = \pi.D/2 = \pi*1,00556 / 2 = 1,578 \text{ m. olarak bulunur.}$$

Türbin kılavuz yatakta, yapılan deneysel çalışma sonucunda, ünite 330 dakika çalıştıktan sonra tanktaki yağ sıcaklığı 50 °C ve min. yağ filmi kalınlığının olduğu noktada denklem 2.77'ye göre yapılan hesaplar sonucunda yağ sıcaklığı 84,4 °C'dur. Bir başka deyişle şekil 2.14'e göre $T_0 = 50 \text{ °C}$ ve $T_1 = 84,4 \text{ °C}$ 'dur.

$$\Delta T = T_1 - T_0 = 84,4 - 50 = 34,4 \text{ °C}$$

$$\frac{T_1 + T_0}{2} = \frac{84,4 + 50}{2} = 67,2 \text{ °C}$$

Yatağın içerisindeki yağın ısı iletim katsayısı 67,2 °C için tablo 2.2'den veya denklem 2.94'deki ampirik ifadeden yaklaşık olarak 0,13 W/mK olarak bulunur.

Elde edilen değerler yardımı ile türbin kılavuz yataktan iletim yolu ile atılan ısı miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

$$H_{iletim} = 34,4 * \frac{0,13 * 1,578}{2 * 0,2 * 10^{-3}} = 17642,04 \text{ W/m.}$$

Yukarıda hesaplanan verileri ve tablo 2.2'den elde edilen değerleri denklem 2.71'de yerine yazarsak türbin kılavuz yataktan taşınım yoluyla atılan ısıyı hesaplamış oluruz.

$$H_{taşınım} = \frac{8,766 * 0,2 * 10^{-3} * 838,3}{2} * 2040 * \frac{34,4}{2} = 25784,55 \text{ W/m.}$$

Ünite 8 türbin kılavuz yataktaki iletim ile atılan ısının taşınım ile atılan ısıya oranı denklem 2.72 ile hesaplanabilir.

$$\frac{H_{iletim}}{H_{taşınım}} = \left(\frac{0,13}{838,3 * 2040} \right) * \frac{2 * 1,578}{8,766 * (0,2 * 10^{-3})^2} = 0,684$$

Görüldüğü gibi türbin kılavuz yatakta taşınım yoluyla atılan ısı iletim yoluyla atılan ısının 1,46 katıdır.

Denklem 2.76'da 50 °C yatak giriş sıcaklığı için min yağ filmi kalınlığında oluşan sıcaklık farkı hesaplanabilir.

$$T_{eff} = 50 + \frac{1,6 * 2349,66 * 8,766}{5,615 * 10^{-4} * 838,3 * 2040} = 84,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Isı değiştirgeçlerindeki etkinlik hesapları denklem 2.79, 2.80, 2.81, 2.82, 2.83, 2.84, 2.85, 2.86, 2.87, 2.88, 2.89'daki denklemlerde değerler yerlerine yazılarak hesaplanabilir. Bu hesaplamalar sırası ile aşağıda gösterilmektedir.

$$C_h = 0,45 * 10^{-3} \text{ (m}^3 \text{ /sn)} * 1959 \text{ (J/kgK)} * 852 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$C_h = 751 \text{ W/K}$$

Yukarıdaki denklemde aynı şekilde yağın 42,2 °C sıcaklığı için yoğunluk ve özgül ısı değerleri seçilmiş olup 0,45 lt/sn yağın plakalı eşanjördeki debisini göstermektedir.

$$C_c = 5,615 * 10^{-3} \text{ (m}^3 \text{ /sn)} * 4181 \text{ (J/kgK)} * 999 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$C_c = 23452,83 \text{ W/K}$$

Yukarıdaki denklemde suyun 12 °C' daki yoğunluk ve özgül ısı değerleri kullanılarak hesaplar yapılmıştır. 5,615 lt/sn suyun plakalı eşanjördeki debisini ifade etmektedir.

$$C_h < C_c \text{ olduğundan dolayı}$$

$$C_h = C_{min.} \text{ olur.}$$

Elde edilen değerleri denklem 2.83'de yerine yazarsak C_{min} 'nin C_{max} 'a oranını elde etmiş oluruz.

$$C_r = \frac{751}{23452,83} = 0,032$$

$$Q_{\max} = 751 * (50 - 10,8)$$

$$Q_{\max.} = 23439,2 \text{ W}$$

$$Q = 751 * (50 - 34,8)$$

$$Q = 11415,2 \text{ W}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{11415,2}{29439,2}$$

$$\varepsilon_1 = 0,387$$

Ünite 8 kılavuz yatak plakalı eşanjöründe Re-Nu arasındaki ilişki soğutma suyu için bulunmuştur. Çünkü türbin yağı pompa vasıtası ile plakalı eşanjörde dolaştırıldığından yağ debisi sabittir. Soğutma suyu için 73 plaka sayısında elde edilen değerler tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3.Plakalı eşanjörün 73 plaka sayısına göre elde edilen değerler

Debi (m) lt/s	5.6
Bir geçişteki plaka sayısı (n)	36
Yoğunluk (ρ) kg/m ³	999
Plaka genişliği (b) m	0,0019
Levhalar arası uzaklık (a) m	0,122
Ortalama d_h (m) $b*2$	0,0038
Kinematik viskozite (μ) Pa.s.	$0,797*10^{-3}$
Özgül ısı (c_p) J/kgK	4200
Sıcaklık farkı ΔT	5,1
Isı transfer yüzey alanı (A) m ²	1,168
ΔT_{log}	28,49
Suyun ısı iletim katsayısı W/m ² C	0,614
Prandtl (Pr)	5,4

$$w = \frac{5,6}{36*999*0,122*0,0019} = 0.671 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{0,671*0,0038}{0,797*10^{-3} / 999} = 3196,04$$

$$Q = 5,6*4200*5,1 = H*1,168*28,49$$

$$H = \frac{5,6*4200*5,1}{1,168*28,49} = 3604,72 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

$$Nu = \frac{3604,72*0,0038}{0,614} = 22.309 \text{ Deneyisel olarak bulunan Nusselt sayısı.}$$

$$Nu_t = 0,2*3196,04^{0,67}*5,4^{0,4} = 87,51 \text{ Teorik olarak bulunan Nusselt sayısı}$$

2.5. Yapılan Deneysel Çalışma İle İlgili Bilgiler

Türbin kılavuz yataklarında yapılan deneyin amacı, yatağa gelen bileşke kuvvet, sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı, yatağın yağ filmi debisi ve özellikle yataktaki ısı transfer olayını inceleyerek yağ soğutucularının performansını araştırmaktır. Deney Keban HES üniteleri üzerinde gerçek şartlarda yapılmıştır. Ölçümler, ünite elektrik üretimi yaparken değişik yüklerde yapılarak en verimli ve emniyetli çalışma şartları belirlenmiştir. Deneyler laboratuvar ortamında yapılmadığı için elde edilen veriler gerçek şartlarla birebir örtüşmemektedir. Üniteler üzerinde deneyler yapılırken mevcut sorunlara da çözümler bulunmuş ve sorunları gidermek için yapılması gereken işler araştırılmıştır. Bahsedilen sorunlar ve üretilen çözüm önerileri deney açıklanırken yeri geldiğinde anlatılmıştır.

Deney Keban HES 6 ve 8 nolu ünitelerde yapılmıştır. Yapılan deneyi, türbin kılavuz yatağın incelenmesi ve türbin kılavuz yatakta dolaşan yağın soğutulmasının incelenmesi olmak üzere iki kısma ayırabiliriz.

Türbin kılavuz yatakta yapılan deneylerde ünitenin salınımı, türbin kılavuz yatak döner tankındaki yağ sıcaklığı, ünitenin 0 ile 155 MW güçleri arasında ölçülmüştür. Deneyler esnasında sıcaklık ölçümü için ısı çiftleri ve diğer bilgiler için ilgili yerlerdeki sensör çıkışlarından aldığı dataları ölçmek ve kayıt etmek amacıyla bir test kayıt cihazı kullanılmıştır. Kullanılan test kayıt cihazı ile türbin kılavuz yatağın salınım ve üretilen güç değerleri aynı anda görülebilmektedir. Deney esnasında kullanılan test kayıt cihazı şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Test kayıt cihazı

Şekil 2.9’da gösterilen kayıt cihazının markası Graphtec Linearcorder FWR3701’dir. Bu cihaz 8 kanallı olup, aynı anda 8 farklı bilgiyi ölçüp kayıt edebilmektedir. Cihazın ölçüm aralığı 0’dan 500 V aralığında mV, V cinsinden gerilim bilgilerini ve girişlerine paralel direnç bağlayarak farklı mA (miliamper) akım bilgilerini ölçebilmektedir. mV düzeyindeki çok küçük gerilimleri ölçmek için 8 kanalda da kazanç ayarı ve kalibre olanağı mevcuttur. Bilgiler, her kanaldaki ısıtıcı iğnelerle kâğıdın bir yüzünü yakarak kâğıda geçmektedir. Isıtıcı iğne ayarı ile grafik çizgilerinin kalınlığı ve netliği ayarlanabilir. Kâğıt çıktı hızı 1 sn. ile 100 msn (milisaniye) arasında değiştirilip saniyede 10 veriye kadar ölçebilmektedir. Kayıt cihazının beslemesi 220 V AC’dir.

Kayıt cihazında türbin kılavuz yatak ile ilgili deneyleri yaparken, ölçülen birinci bilgi güç bilgisidir. Güç bilgisi, santralde mevcut olan Güç Transdüserinin çıkış akım bilgisini, kayıt cihazının girişlerine paralel 1Kohm direnç bağlanarak girilmesi ile ölçülmüştür. Bunun nedeni Güç Transdüserinin çıkış bilgisi 4-20 mA (miliamper) olması ve cihazın girişlerinde ölçüm için ($V=R \cdot I$ Formülüne göre) bir gerilim oluşturulmak istenmesidir. Güç Transdüseri Ünite Gerilim Transformatörlerinden ve Ünite Akım

Transformatörlerinden gelen bilgileri dönüştürerek 4-20 mA çıkış bilgisi elde eder. Ölçülen ikinci bilgi, türbin kılavuz yatak salınım bilgisidir. Salınım bilgisi türbin kılavuz yatağa en yakın mesafedeki şafta bağlı sensörden alınmıştır. Salınım bilgisi alınan sensör şekil 2.10’te görülmektedir.



Şekil 2.10.Türbin kılavuz yatak salınım sensörü

Şekil 2.10’da görülen türbin kılavuz yatak salınım sensöründen alınan bilgiler, kumanda odasında bulunan AEG KANIS markalı salınım kontrol ve kayıt panosuna gelir. Panoda kâğıtlı yazıcılar ile salınım bilgileri kaydedilir. Kontrol panosunda, kılavuz yatak salınım sensöründen alınan bilgileri harici olarak ölçmek için uçlar bulunmaktadır. Bu bilgiler mV seviyesindedir. Graphtec Linearcorder FWR3701 markalı kağıt cihazına giriş; gerilim bilgisi olduğu için direkt yapılmıştır.

Ölçülen üçüncü bilgi ünitenin devir sayısıdır. Devir sayısı bilgisi Hız Regülâtöründeki Hız Transdüserinden kumanda odasında bulunan devir göstergesine 0-5 mA akım bilgisi olarak gelmektedir. 0-5mA akım bilgisi kumanda odasında bulunan devir göstergesi girişlerine seri olarak kayıt cihazına girilmiştir. Kayıt cihazının girişlerinde ölçüm

için gerilim elde etmek amacı ile 5 Kohm Potansiyometre (ayarlı direnç) bağlanmıştır. Ayrıca test kayıt cihazına gelen salınım bilgisi türbin kılavuz yatak st kısmındaki şafta şekil 2.11’de gösterildiği gibi bir komparatör konularak bilgilerin doğruluğu karşılaştırılmıştır.



şekil 2.11. Türbin kılavuz yatak st kısmında şafttan ölçülen salınım miktarı

Test kayıt cihazına yapılan bağlantılar sayesinde g, salınım ve devir bilgileri aynı anda grafiksel olarak izdirilebilmektedir. Test kayıt cihazının izdirdiği bilgilerden elde edilen ünitenin ürettiği ge karşılık gelen salınım değerleri ve ünite şaftının 0’dan 166,67 dev/dak’ya hızlanırken elde edilen salınım değerleri bulgular başlığı altında verilecektir. Test kayıt cihazının izdirdiği grafikleri gösteren orijinal kâğıt ise ek-1’de verilmektedir.

Türbin kılavuz yataklarda yapılan deneylerin bir başka aşaması da ses ölçüm cihazı ile ses ölçümü yapılmasıdır. Bu deneyin amacı test kayıt cihazı ile alınan salınım bilgilerini aynı şartlarda ses seviyesi bilgileri ile karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırma neticesinde salınım g arasındaki grafiğin benzeri ses şiddeti güç arasında oluşturulacağı umulmuştur. Bilindiği üzere hidrolik türbinlerde kavitasyon olayı mevcuttur. Kavitasyon hidrolik bir

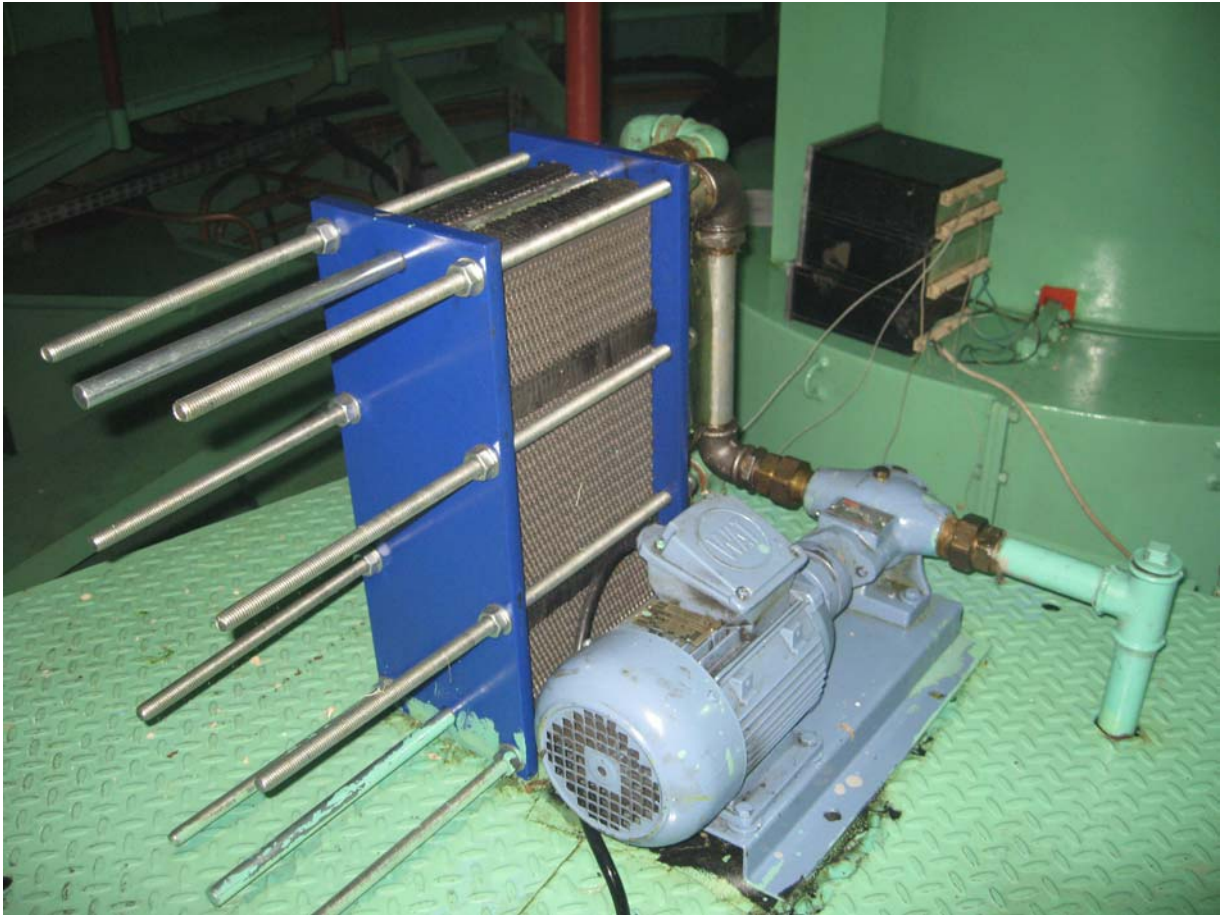
türbinin ayar kanatları arasında veya rotor kanatları arasında hareket halinde bulunan hidrolik akımın, herhangi bir bölgesindeki akış hızının herhangi bir nedenle artması ve hızın arttığı bu bölgedeki basıncın, suyun buharlaşma basıncı değerine kadar düşmesi, bu bölgelerdeki suyun buharlaşmasına ve yer yer içi doymuş su buharı ile dolu olan vakumlu hacimciklerin teşekkül etmesine sebep olur. Basıncın çok düştüğü yerlerde suyun buharlaşması ile teşekkül eden ve içi doymuş su buharı ile dolu olan bu vakumlu hacimciklerin genel akışkan hareketine uyarak genişip büzülmesi ve ani olarak ortadan kalkması esnasında su zerreciklerinin çok büyük bir hızla malzeme yüzeyine çarpmaları sonucu meydana gelen büyük gürültülü darbelerin malzemenin yüzeyini süngerleştirerek tahrip etmesi olayına kavitasyon olayı adı verilmektedir[16]. Bir hidrolik türbinde mutlaka içine girmekten kaçınılması fakat mümkün olduğu kadar da yaklaşılmaması gereken kavitasyon olayı sınırının kesin olarak tespit edilmesi son derece önemli bir olaydır. Ünite, üzerine güç alırken ve güç verirken kavitasyona uğrar. Kavitasyon sınırında salınım ve gürültü şiddeti artmaktadır bu düşünceyle ünitenin kavitasyon sınır aralığı belirlenebilir. Bu durumun detayları bulgular başlığı altında anlatılacaktır. Şekil 2.12’de gürültü ölçüm cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Ses ölçüm cihazı

Şekil 2.12’de gösterilen ses ölçüm cihazının markası extech 407764’dür. Cihaz 16000 veriyi 1sn ile 86400 sn aralıklarında kaydedebilmektedir. Zamana göre grafik çizdirilebilmekte ve rahatlıkla bilgisayar ortamına atılabilmektedir ve IEC standartlarına göre 1,5 db hassasiyetle çalışabilmektedir.

Türbin kılavuz yataklarındaki ısı transferi ile ilgili yapılan deneylerin ikinci adımını kılavuz yatak yağ soğutucuları oluşturmaktadır. Bu deney için, plakalı eşanjöre yağ girişi, yağ çıkışı, su girişi ve su çıkışı olmak üzere 4 ayrı noktadan ısıl çiftlerle sıcaklıklar ölçülerek 20 kanallı kanal tarama cihazından okunmuştur. Kullanılan cihazın ve plakalı eşanjörün resimleri şekil 2.13’de görülmektedir.



Şekil 2.13.Plakalı eşanjör ve kanal tarama cihazı

Şekil 2.13’de gösterilen plakalı eşanjör görüldüğü gibi bir santrifüj pompa vasıtası ile kılavuz yatak yağını devridayim etmektedir. Kullanılan santrifüj pompa 1BG gücünde, 1450 devir sayısına sahip, 0,45 lt/sn debili bir pompadır. Eşanjörün diğer girişinden giren

soğutma suyu baraj mansabından pompalar vasıtası ile çekilmektedir ve tekrar mansaba dökülmektedir. Plakalı eşanjörün soğutma suyu giriş çıkışına iki adet ısıl çift takılmıştır. Bu bağlantılar şekil 2.14’da görülmektedir.



Şekil 2.14.Plakalı eşanjör soğutma suyu giriş ve çıkışına bağlanan ısıl çiftler

Şekil 2.14’de görünen resimde plakalı eşanjör soğutma suyu giriş ve çıkışlarına bir T bağlantı elemanı konularak 1” vana bağlanmıştır. Bu vanaya bir nipel bağlantı elemanı takılarak daraltılmış ve rekorun iç kısmı tekrar daraltılarak bir teflon parçası yerleştirilmiş ve böylece su kaçağı kesilerek ısıl çiftler yerleştirilmiştir. Plakalı eşanjörün yağ giriş çıkışlarına da birer ısıl çift yerleştirilerek ünitenin start almasıyla beraber 480 dakika boyunca sıcaklık değişimleri izlenmiştir. Elde edilen veriler bulgular başlığı altında verilecektir.

3. BULGULAR

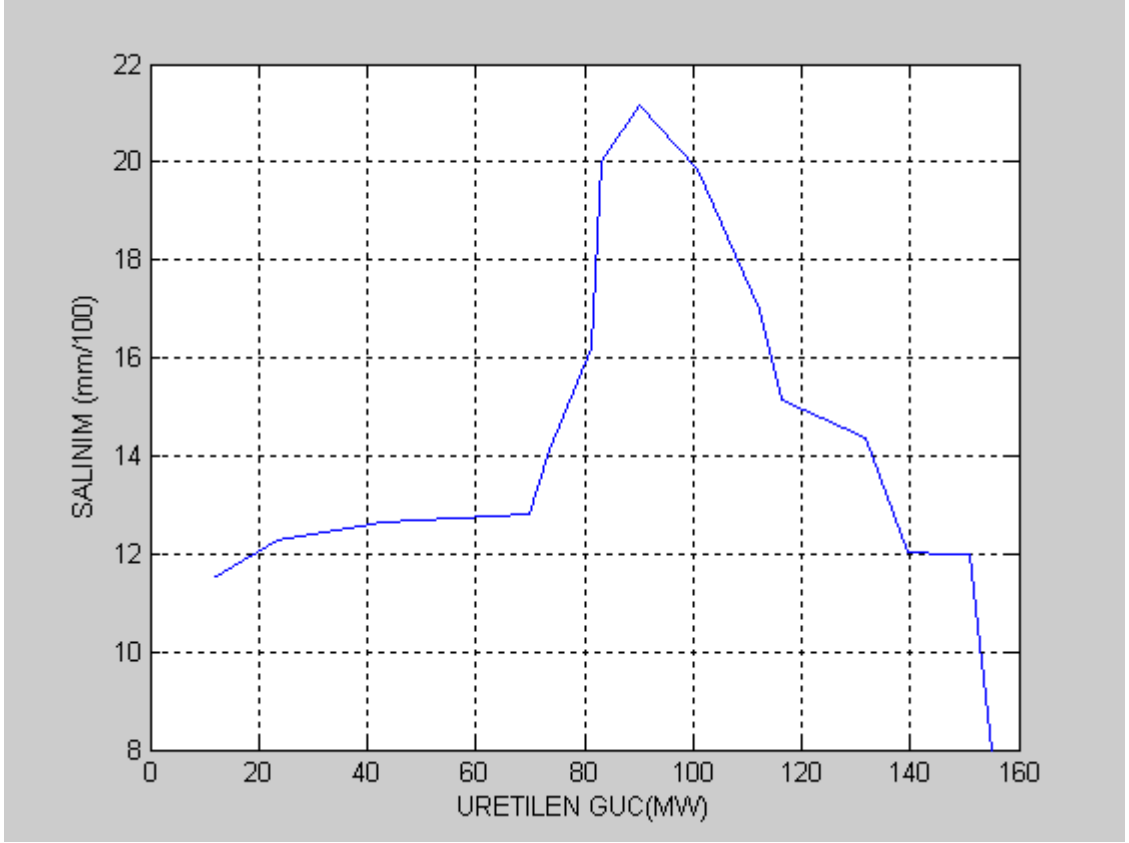
Türbin kılavuz yataklarda yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler tablolar halinde hazırlanıp Matlab bilgisayar programında yapılan çalışma ile veriler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Graphtec Linearcorder FWR3701 markalı veri kayıt cihazı kullanılarak ünite8'e start verilmesi ile birlikte cihazdan, üretilen güç ve salınım bilgisi ölçülerek tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Türbin kılavuz yatakta üretilen güce göre salınım bilgileri

Güç(MW)	Salınım (mm/100)
155	8
151,125	12
147,25	12
139,5	12,022
131,75	14,37
116,25	15,15
112,375	16,98
100,75	19,86
83,3125	21,17
81,375	16,2
73,625	14,11
69,75	12,806
42,625	12,65
38,75	12,545
30	12,397
23,25	12,284
11,625	11,5

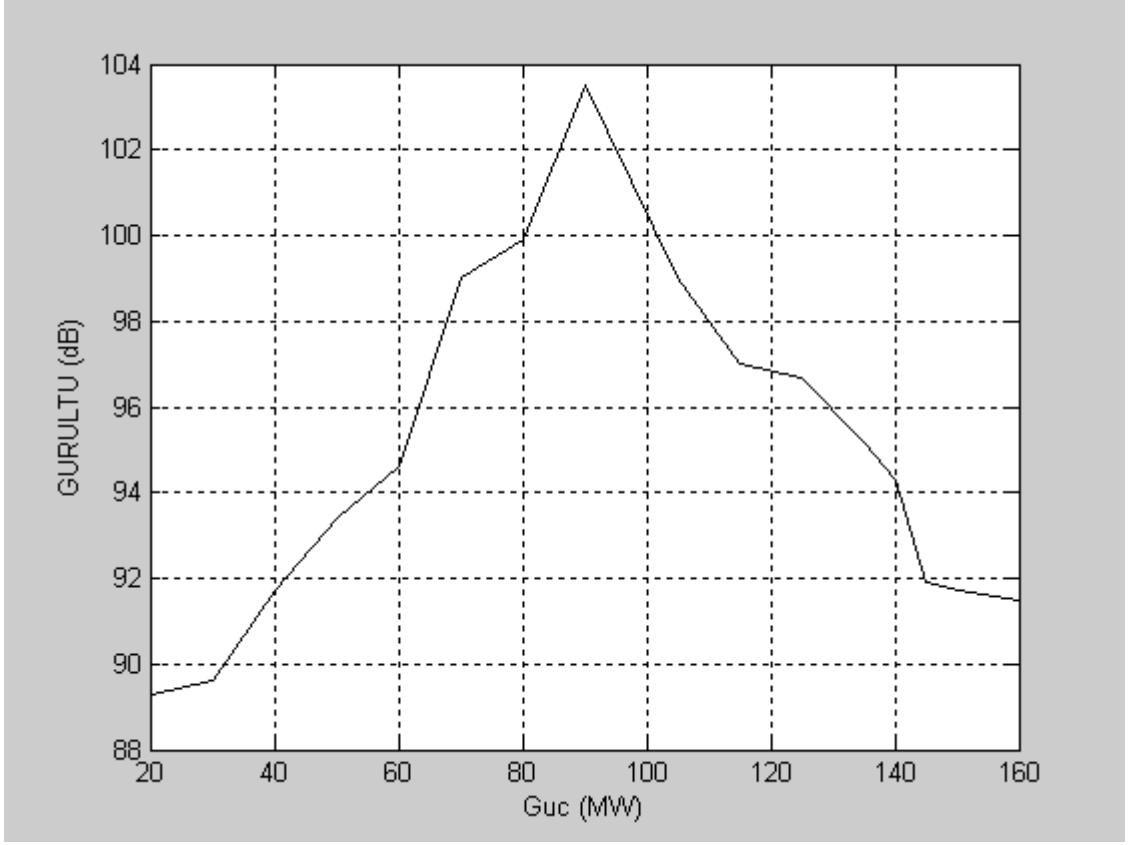
Tablo 3.1'de gösterilen değerlere göre oluşturulan grafik Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Ünitenin ürettiği güce göre şaftın yaptığı salınım grafiği

Şekil 3.1’de grup 8’in 0’dan 155 MW’a yük alırken türbin kılavuz yatak salınımı görülmektedir. Şaftın salınımı 70 MW’la 139 MW arasında aşırı artmaktadır. En yüksek salınım değeri ise yaklaşık 90 MW’da oluşmaktadır. Bunun sebebi ünitenin bahsedilen güç aralıklarında kavitasyona uğramasıdır. Test kayıt cihazı yardımıyla yapılan deneyde ünitenin kavitasyon sınırı belirlenmiş olur. Ünitenin kavitasyon sınırında çalıştırılmaması için bu değerler önem arz etmektedir. Önceden belirlenen değerler 30 – 140 MW arasındır. Bu grafiğin oluşturulması sonucunda 30 MW olarak belirlenen alt sınır değerinin 70 MW’a kadar yükseltilmesinin ünitenin sağlıklı çalışması açısından bir sakıncasının olmadığı görülmüştür.

Şekil 3.2’de grup 8’e start verildikten sonra 20 MW’dan 160 MW’a yük alırken ünitenin emme borusundan extech 407764 markalı gürültü ölçüm cihazı ile ölçülen ses şiddeti görülmektedir.



Şekil 3.2. Ünite gücü ile oluşan ses şiddeti arasındaki ilişki

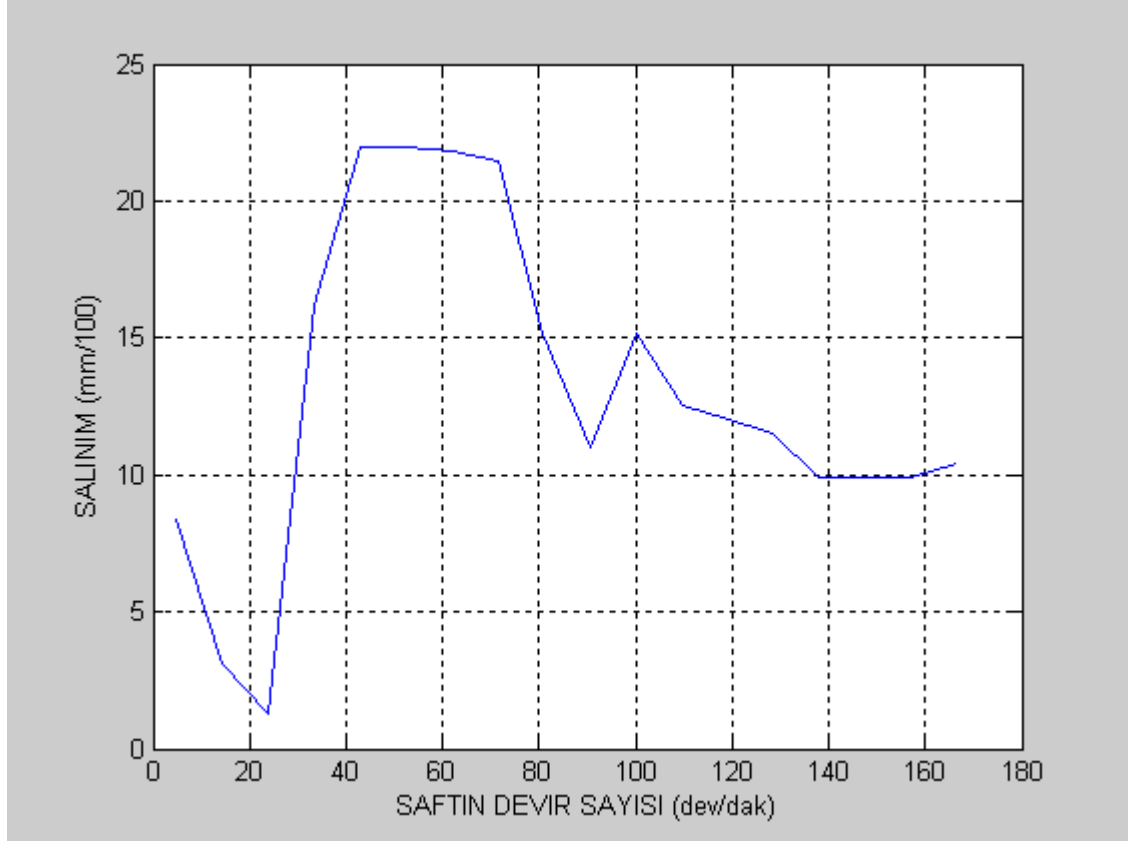
Şekil 3.2’de görülen grafik şekil 3.1’de verilen grafikte benzerlik taşımaktadır. Ünitenin güç alırken veya verirken 90 MW’da en yüksek kavitasyon şiddetine maruz kaldığı türbin kılavuz yatakta ölçülen salınım değerinden ve emme borusundan ölçülen ses şiddeti değerinden görülmektedir.

Graphtec Linearcorder FWR3701 markalı veri kayıt cihazı kullanılarak ünite8'e start verilmesi ile birlikte cihazdan 0'dan 166,67 dev/dak'ya kadar şaftın salınım bilgisi alınmış ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Türbin kılavuz yatakta şaftın devrine göre salınım bilgileri

Şaft Devri (dev./dak.)	Salınım (mm./100)
4,7615	8,363
14,2845	3,136
23,8075	1,306
33,3305	16,204
42,8535	21,954
52,3765	21,954
61,8995	21,818
71,4225	21,43
80,9455	15,159
90,4685	10,977
99,9915	15,159
109,5145	12,545
119,0375	12,022
128,5605	11,5
138,0835	9,93
147,6065	9,93
157,1295	9,93
166,67	10,45

Tablo 3.2’de gösterilen değerlere göre oluşturulan grafik Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3.Şaft devir sayısının salınıma göre değişimi

Şekil 3.3’de ünite 8’in şaftının devir sayısına göre yaptığı salınım görülmektedir. Ünite %8 salınımla dönmeye başlamıştır ve 22 dev/dak’ya ulaşınca kadar salınım %1,3’lere kadar düşmüştür. Ünite salınımı beklediği şekilde 22 dev/dak’dan sonra 45 dev/dak’ya kadar %22’lere yükselmiştir ve ünite bu devir sayısından sonra kendini toparlayarak 90 dev/dak’ya kadar salınım %12’lere düşmüştür. Ünitenin devri 90 dev/dak’ya ulaştıktan sonra salınımda bir miktar yükselme görülmektedir. Bunun sebebini şu şekilde açıklayabiliriz, ünite nominal devrin %50’sindeyken taşıyıcı yatak yağ pompası devreden çıkar, ünite bu devirden sonra artık oluşturulan yağ filmi sayesinde ayakta durur, bu nedenle taşıyıcı yatak pompası devreden çıktığı anda ünitenin salınımı bir miktar yükselir ve daha sonra devir arttıkça salınım düşüşe geçer. Şekil 3.3’den görüldüğü gibi ünite 166,67 dev/dak.’ya ulaştığında şaftın salınımı %10,45 civarında sabitlenir. Bu duruma ünitenin boşta dönme durumu denir. Bu safhadan sonra ünite ikazlanır sargılara 310 V. Gerilim ve 1020 A. akım verilir daha sonra senkronizasyon şartları(ünite ile

sistemin frekans ve gerilimlerinin eşit olma şartıdır.) yerine getirildikten sonra hat ayırıcısı ve kesicisi kapatılır. Ünite sistemle paralele girmiş olur. Bu aşamadan sonra ünitenin üzerine yük alınmaya başlanır, ünite boşta dönerken ölçülen salınım üzerine yük alınmaya başlandığında tekrar değişmeye başlar ve 155 MW civarında en son ünite 8'in salınımı %8 civarlarına düşer. Şaft salınımları diğer üniteler için farklılık gösterebilir. Çünkü salınım, yatak ayarından, generatör sargıları üzerinde oluşturulan manyetik alandan ve üzerine alınan yükten etkilenebilir.

Türbin kılavuz yataklarda ısı transferi hesaplarını yapabilmek için Matlab'da uygulanan bilgisayar programı aşağıda görülmektedir.

%Sabit Değerler

L=0.64;

D=1.00556;

D1=1.005;

R=D/2;

R1=D1/2;

c=R-R1;

n=166.67;

U=pi*D*n/60;

%o=170

i=0;

%guc=[155 151.125 147.25 139.5 131.75 116.25 112.375 100.75 90 83.3125 81.375
73.625 69.75 42.625 38.75 30 23.25 11.625];

%e=[8 12 12 12.022 14.37 15.15 16.98 19.86 21.17 19.999 16.2 14.11 12.806 12.65
12.545 12.397 12.284 11.5];

%for e=0.00002:0.00001:0.00021;

%i=i+1;

for o=10:10:360;

i=i+1;

O(i)=o

e=0.08/1000

%Eksantriklik oranı

E(i)=(e/c);

```

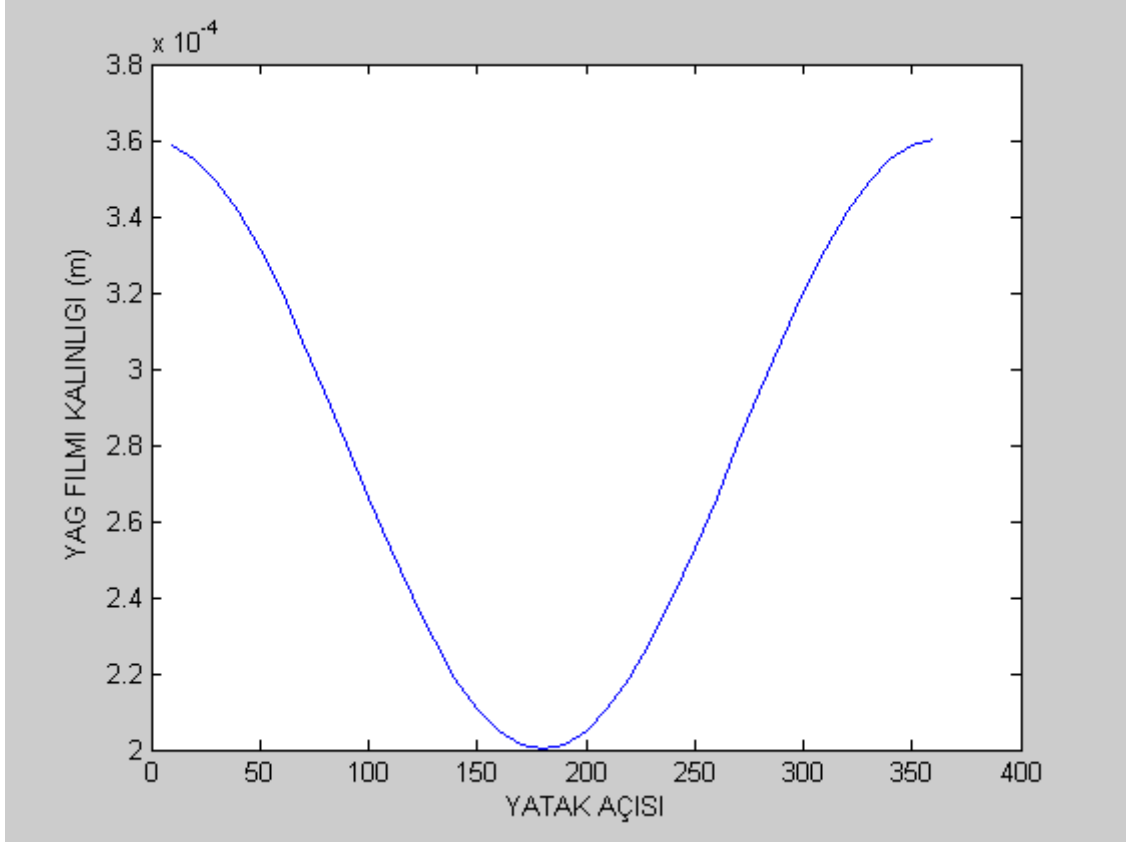
%Yatağa giriş sıcaklığı
Ti=50;
K=(0.072*Ti+134.6)/1000;
p=-0.625*Ti+879.4;
r=3.636*Ti+1805;
J=0.0356;
B=pi*D/2;
%min yağ filmi kalınlığı(m)
h(i)=c*(1+E(i)*cos(o*pi/180));
%Yatağa etki eden kuvvet(N)
W(i)=U*J*E(i)*L^3*pi*sqrt(((16/pi)-1)*(E(i)^2)+1)/((c^2)*((1-(E(i)^2)^2)*4));
%Ortalama basınç dağılımı(N/m2)
P(i)=W(i)/(2*L*R);
%Sürtünme kuvveti(N)
F(i)=2*pi*J*U*L*R/(c*sqrt(1-E(i)^2));
%Sürtünme katsayısı
nu=F(i)/W(i);
%Debi(m3/s)
q(i)=(U*L*c/2)*(1+E(i)*cos(o*pi/180));
Te(i)=Ti+1.6*F(i)*U/(q(i)*p*r);
dT(i)=Te(i)-Ti
%Yatakta ısı transferi
Hcond(i)=dT(i)*K*B/(2*h(i));
Hconv(i)=U*h(i)*p*r*dT(i)/4;
a=Hcond/Hconv;
end
end
%plot(Te,E,'*k');
%hold on
%plot(E,q);
%hold on
plot(O,h);
xlabel('YATAK AÇISI');

```

```
ylabel('YAG FILMI KALINLIĞI (m)');  
%hold on  
%plot(E,Te(:,2),'*k')  
%hold off  
%xlabel('W');  
%ylabel('Te');  
%axis([0 200 -20 200])
```

Matlab’da yapılan bilgisayar programında türbin kılavuz yataklarla ilgili boyutlar ve shaftın yaptığı salınım girildiği taktirde kılavuz yatağa etkiyen bileşke kuvvet, sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı, min. yağ filmi kalınlığı, min yağ filmi kalınlığından geçen yağ debisi miktarı ve yatağa giriş sıcaklığı girildiği taktirde yatakta oluşan sıcaklık dağılımı değişik durumlarda incelenebilir.

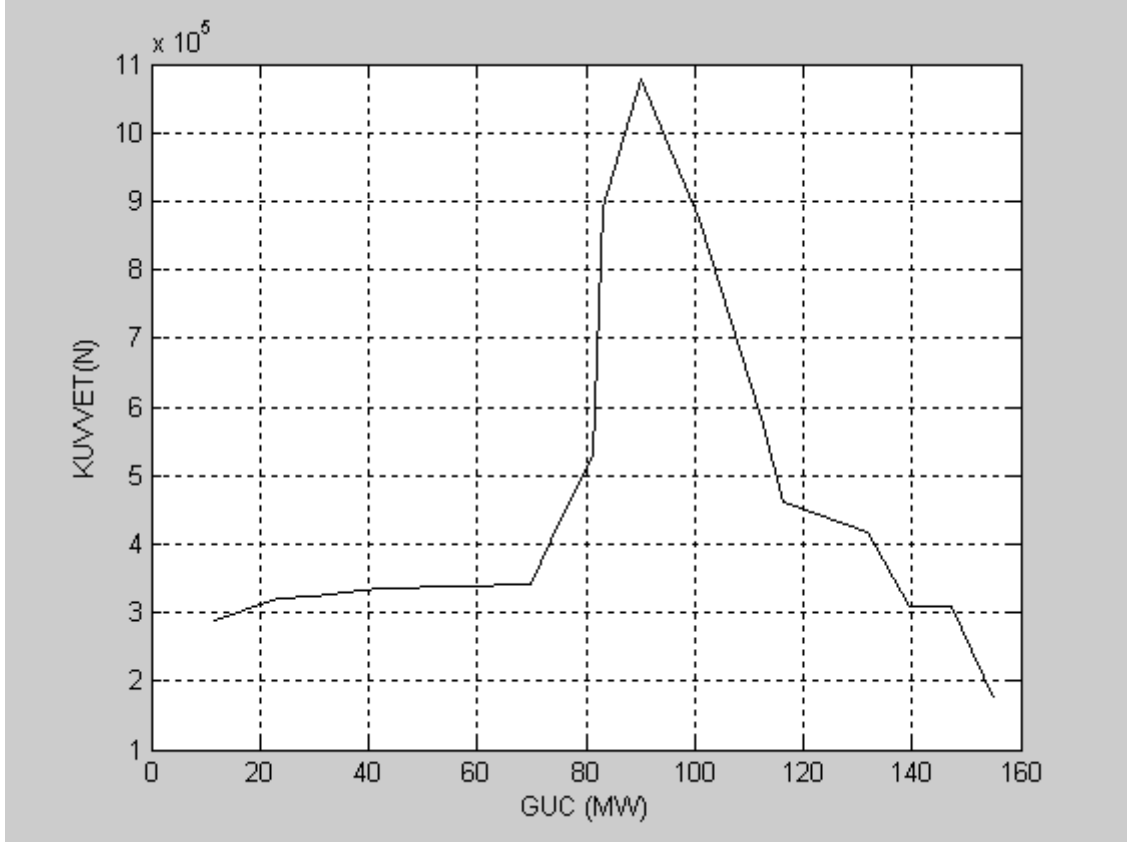
Bölüm 2.4’te verilen yatak boyutları ve tablo 3.1’de ölçülen değerlere göre Matlab’da hesaplanan ünite 8 türbin kılavuz yatak çevresindeki yağ filmi kalınlığı miktarları şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kılavuz yatak çevresindeki yağ filmi kalınlığı

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi kılavuz yatağın 180° açısında min. yağ filmi kalınlığı oluşmaktadır. Oluşan yağ filminin kalınlığı 0,2 mm.’dir.

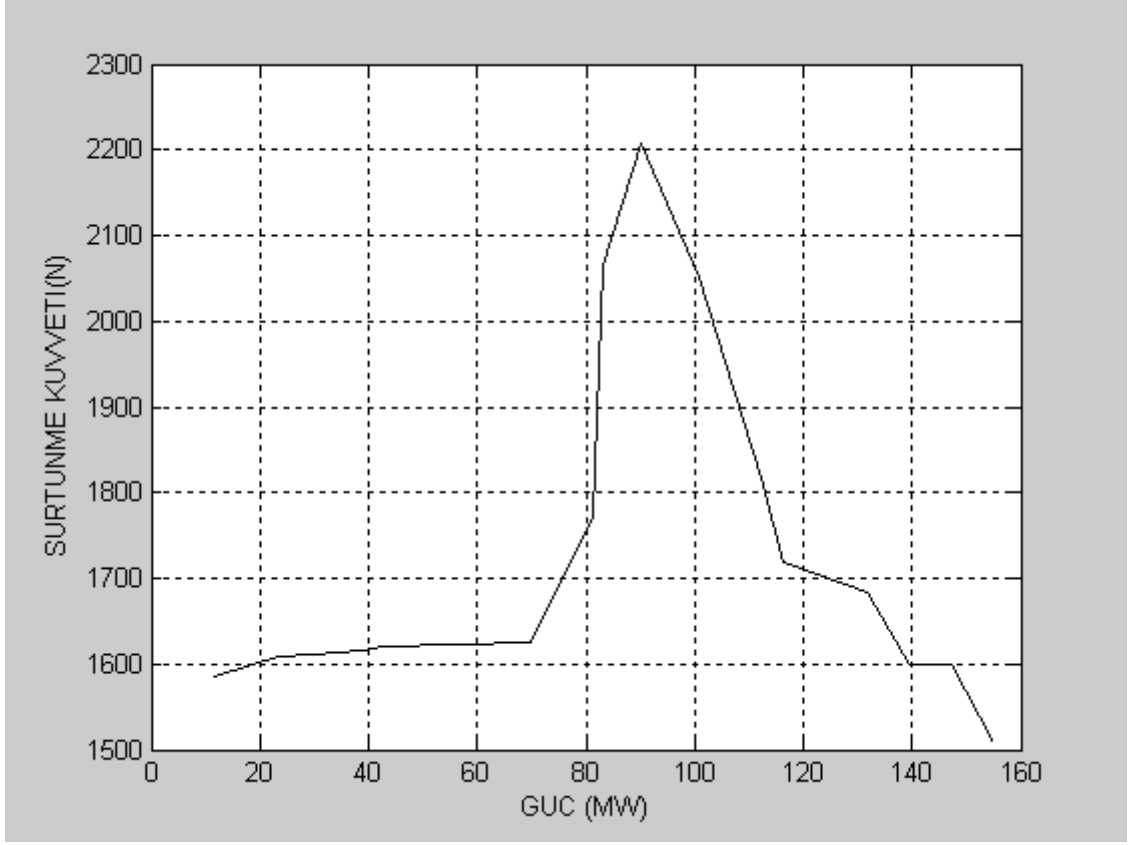
Tablo 3.1’e göre oluşan ünitenin değişik yüklerinde oluşan bileşke kuvvet Matlab’da hesaplanarak şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5.Ünitenin ürettiği güce göre kılavuz yatak üzerinde oluşan bileşke kuvvet

Şekil 3.5'teki grafik görüldüğü gibi şekil 3.1'deki grafiğe benzerdir. Bu benzerlikten yola çıkarak şaftın yaptığı salınım miktarının kılavuz yatağa gelen bileşke kuvvetle doğru orantılı olduğunu söyleyebiliriz.

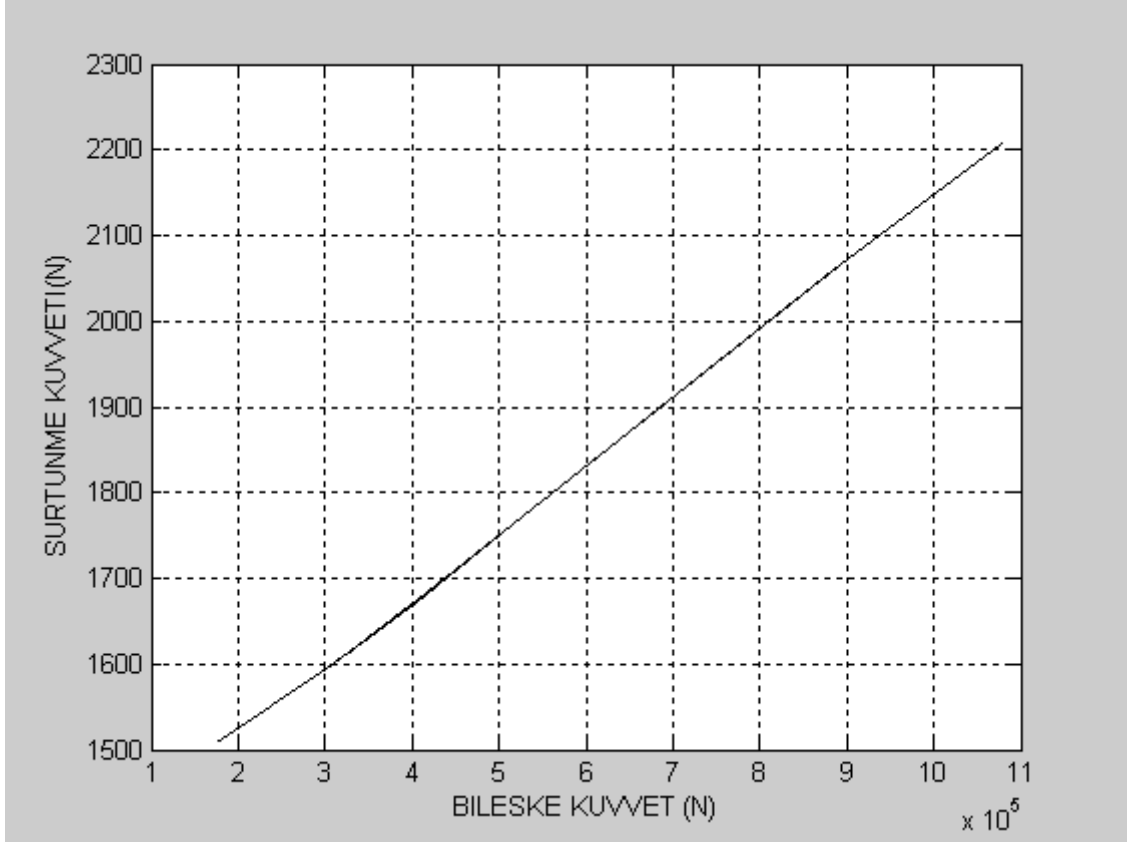
Şekil 3.6'da sürtünme kuvvetinin ünitenin ürettiği güce göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.6.Kılavuz yatak sürtünme kuvvetinin ünitenin ürettiği güce göre değişimi

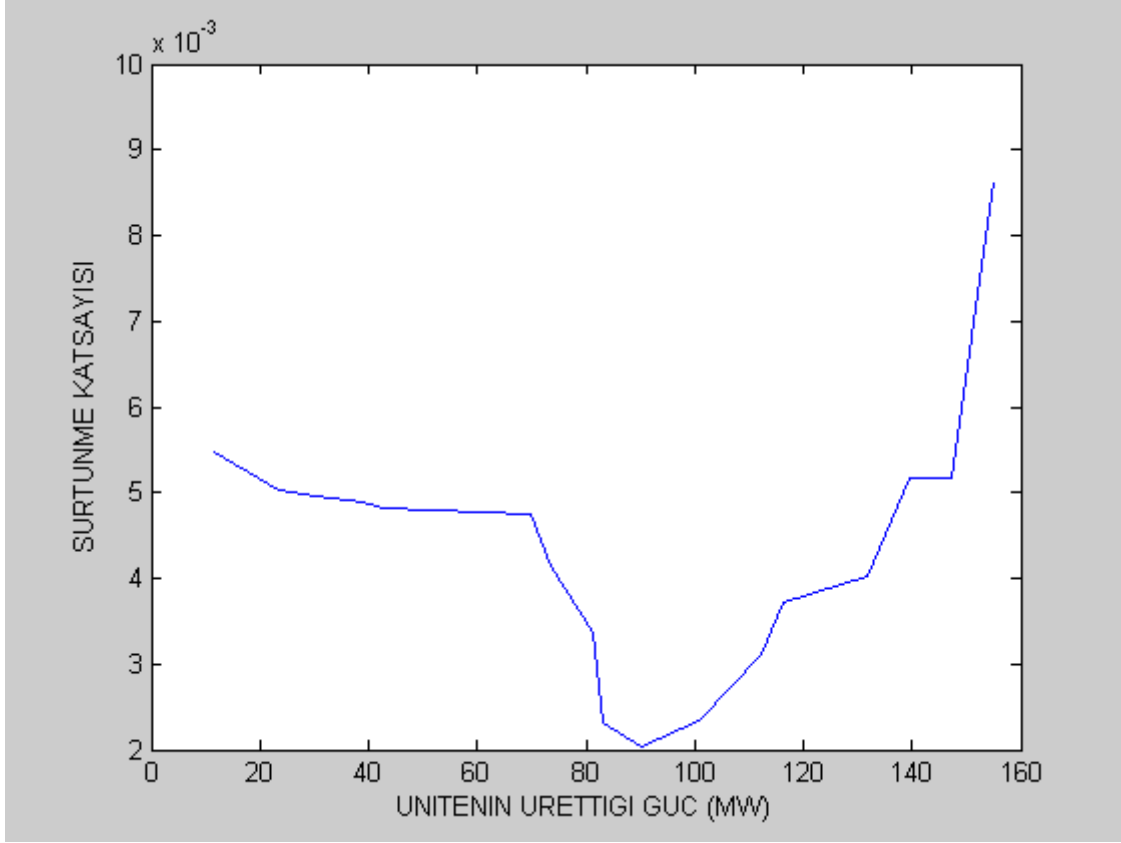
Şekil 3.6’da görülen grafikte kılavuz yatağa gelen sürtünme kuvveti beklenildiği üzere kılavuz yatağa gelen bileşke kuvvet ile doğru orantılı olup ünitenin kavitasyona girdiği durumda max değeri 2200 N. civarında olmaktadır.

Şekil 3.7’de kılavuz yatağa etkiyen bileşke kuvvet ile sürtünme kuvvetinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.7. Kılavuz yatağa etkiyen bileşke kuvveti ile sürtünme kuvvetinin karşılaştırılması

Şekil 3.8’de kılavuz yataktaki sürtünme katsayısının ünitenin ürettiği güce göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.8. Kılavuz yatak sürtünme katsayısının ünitenin ürettiği güce göre değişimi

Şekil 3.8’de görülen grafikte kılavuz yatağa etkiyen bileşke kuvvet ve sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu güçte sürtünme katsayısı en düşük değerdedir. Elde edilen bu grafik literatürde diğer denklemlerle bulunmuş sürtünme katsayılarıyla kıyaslanabilir. Literatürdeki bu konuyla ilgili eşitliklerden biri petroff kanunu, diğeri ise half-sommerfeld denklemdir. Petroff kanunun sürtünme katsayısı ile ilgili eşitliği denklem 3.1’de verilmektedir.

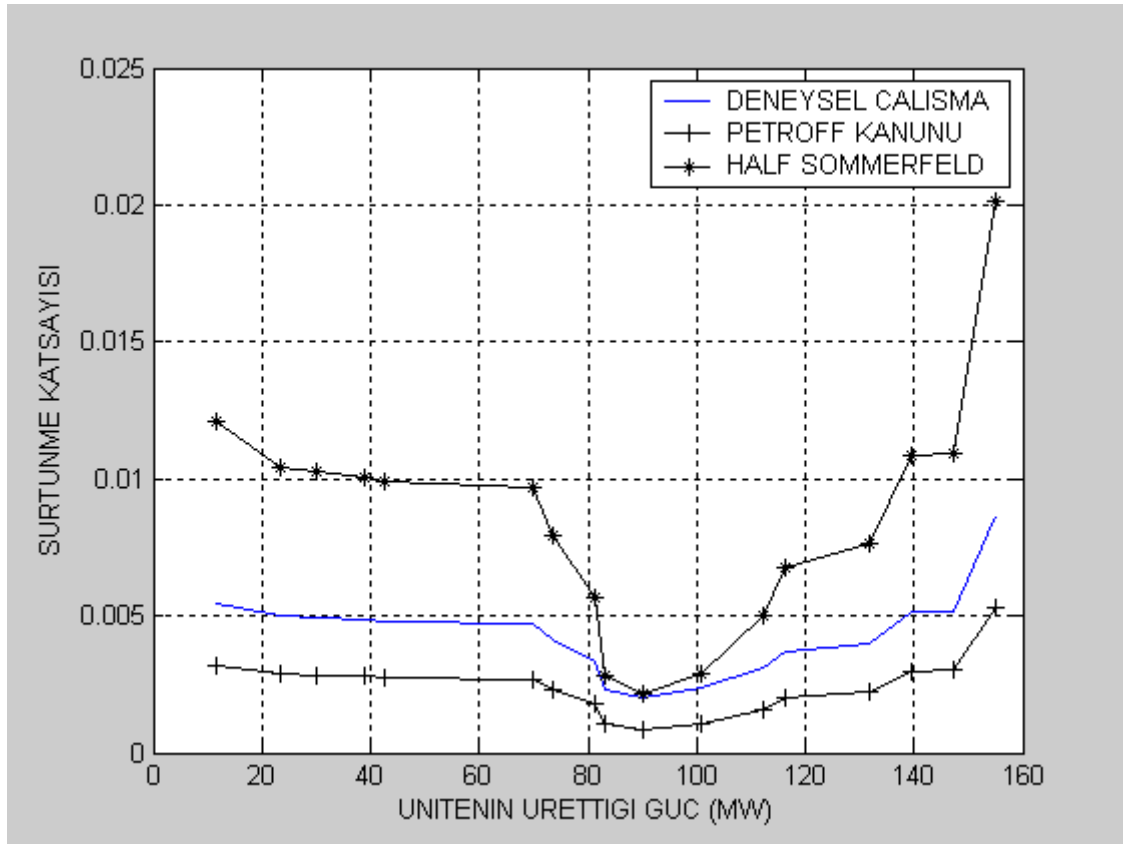
$$\mu = \left(\frac{\pi^2}{30} \right) \left(\frac{r}{c} \right) \left(\frac{\eta \cdot n}{P} \right) \quad (3.1)$$

Petroff kanunu ilk defa 1883’de yayınlanmıştır. Burada $\left(\frac{r}{c} \right)$ ve $\left(\frac{\eta \cdot n}{P} \right)$ ifadeleri yağlamada çok önemli iki parametredir. Bu parametreler için uygun boyutlar kullanıldığı takdirde bunların boyutsuz oldukları görülür.

Half-sommerfeld eşitliği denklem 3.2’de görülmektedir.

$$\mu = \frac{8.R.c.(1-\varepsilon^2)^{1.5}}{L^2.\varepsilon.(0.621.\varepsilon^2 + 1)^{0.5}} \quad (3.2)$$

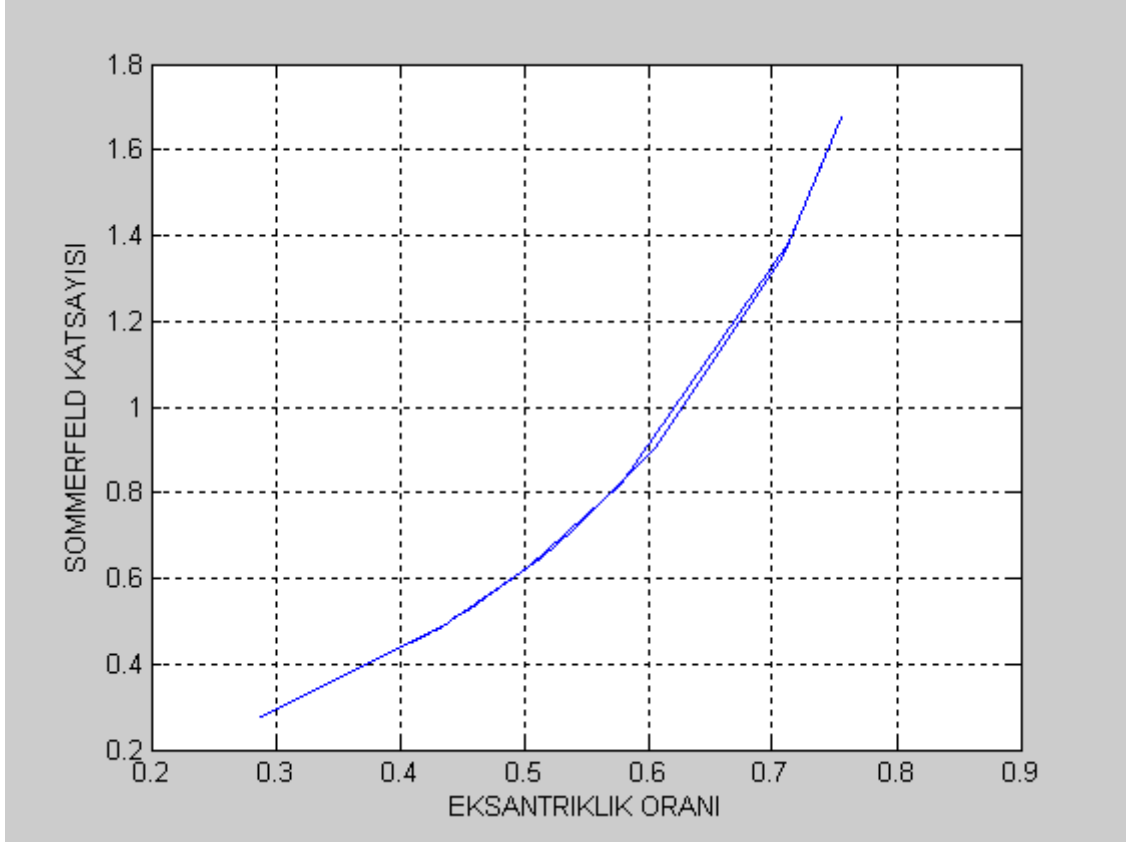
Kılavuz yataklarda ünitenin değişik yüklerinde oluşan sürtünme katsayısı, Petroff kanununa, half-sommerfeld eşitliğine ve yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre Şekil 3.9'da kıyaslanmıştır.



Şekil 3.9. Kılavuz yataklarda hesaplanan sürtünme katsayısının literatürdeki diğer eşitliklerle karşılaştırılması

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yapılan deneysel çalışmalar sonucu bulunan sürtünme katsayısı, Petroff ve Half-Sommerfeld eşitlikleri ile benzerlik taşımaktadır.

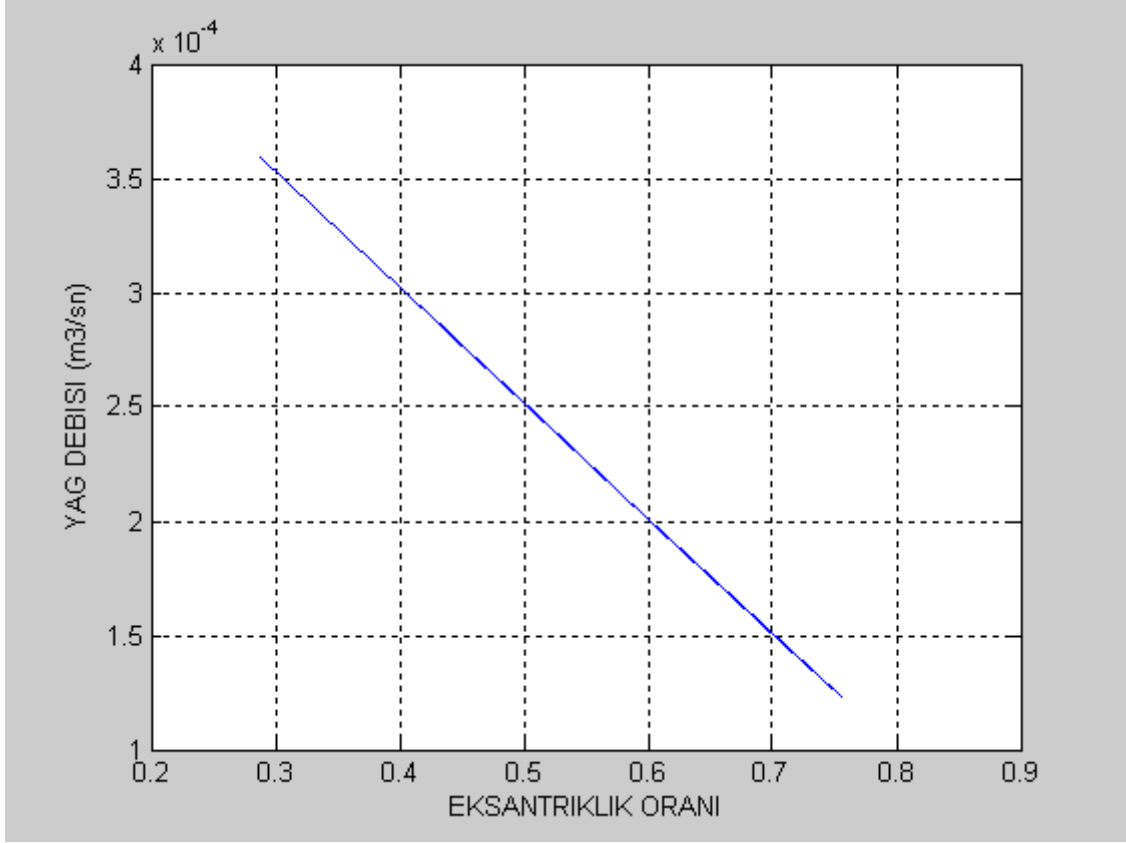
Şekil 3.10'da Sommerfeld sayısının kılavuz yatağın eksantriklik oranına göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.10.Sommerfeld sayısının eksantriklik oranına göre değişimi

Sommerfeld sayısı kaymalı yatakların dizaynında önemli bir faktördür. Çünkü sommerfeld sayısı kaymalı yatağın eksantriklik oranının bir fonksiyonudur ve yatağın yük taşıma kapasitesini belirler. Hidrodinamik radyal yataklarla da en ideal eksantriklik oranının 0,7 olması gerekir.[19] Buna göre ünite 8’de yapılan deneyler sonucunda ünite 100, 75, 90 ve 83,3125 MW’da iken ideal eksantriklik sınırlarını aşmaktadır fakat kılavuz yatak bu güçlerde çok kısa süre çalıştığı için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

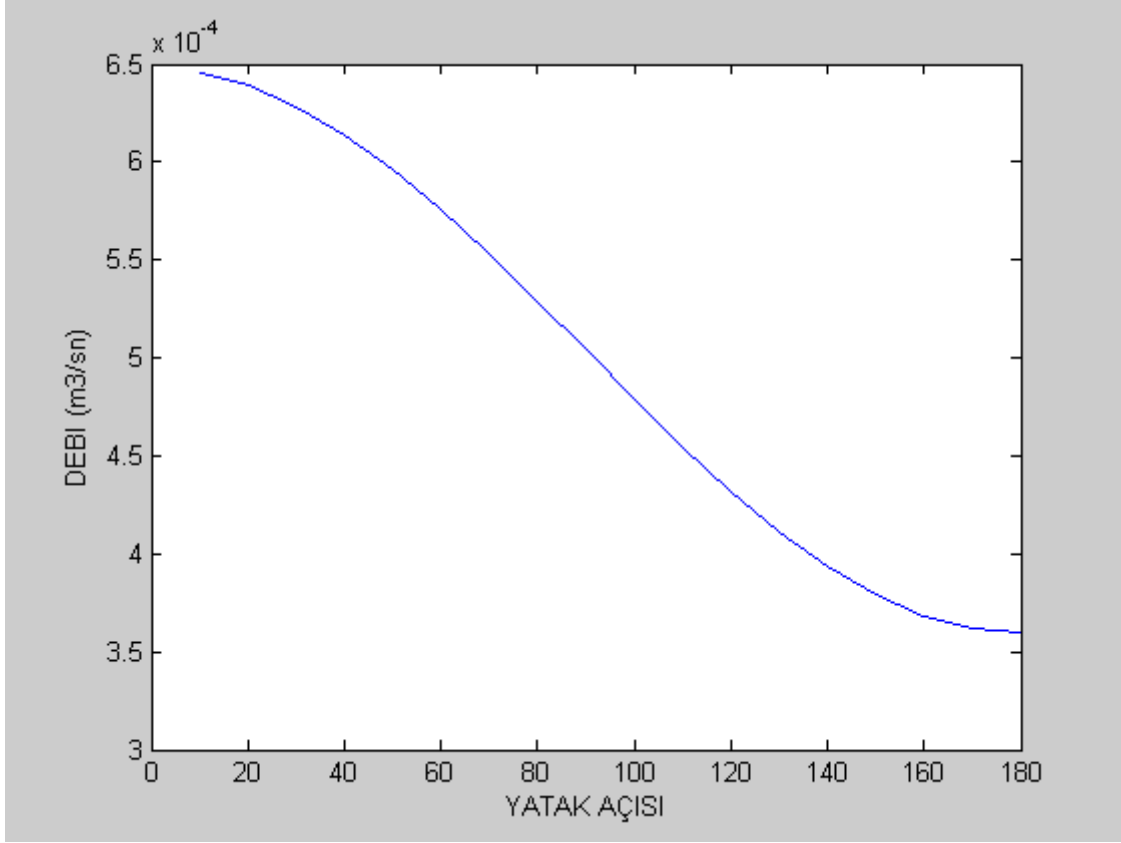
Şekil 3.11’da kılavuz yatak eksantriklik oranının değişimine göre yatağın min. yağ filminden geçen yağ debisi grafiği görülmektedir.



Şekil3.11. Kılavuz yataкта oluşan eksantriklik oranına göre min.yağ filminden geçen yağ debisi

Şekil 3.11'daki grafikte görüldüğü gibi kılavuz yataktaki eksantriklik oranı arttıkça min. yağ filmi kalınlığından geçen yağ debisi azalmaktadır. Yatağın en kötü çalışma koşulu olan 90 MW'da yağ debisi 0,000124 m³/sn'dir. Kılavuz yatağın normal çalışma koşulu olan 155 MW'da ise min. yağ filmi kalınlığından geçen yağ debisi 0,00036 m³/sn'dir.

Şekil 3.12'de ünite 155 MW gücünde çalışırken kılavuz yatağın etrafında oluşan yağ debisi görülmektedir.



Şekil 3.12. Ünite 155 MW güçte çalışırken kılavuz yatak çevresinde oluşan yağ debisi

Şekil 3.12’deki grafikten görüldüğü gibi ünite 155 MW’da çalışırken kılavuz yatağa 0,00064 m³/sn yağ debisi girmekte ve yatağın en dar kesiminde bu debi 0,00036 m³/sn’ye düşmektedir.

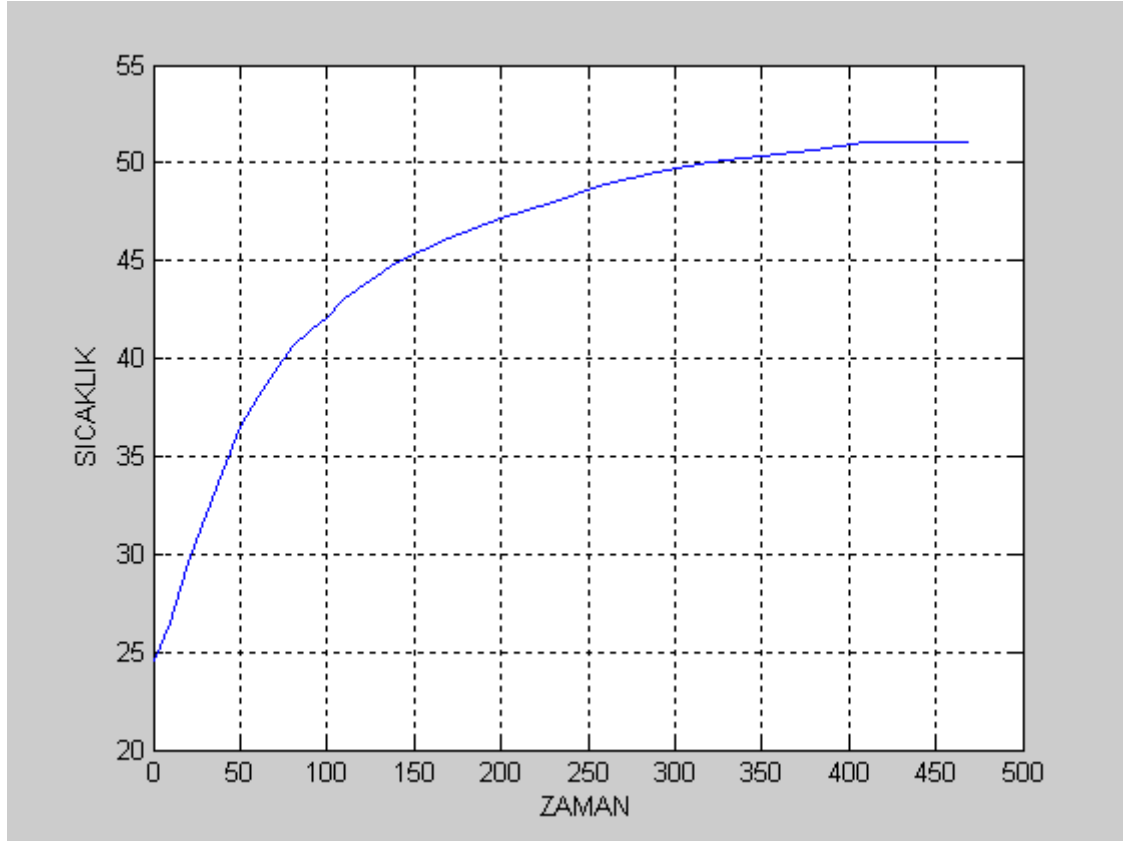
Türbin kılavuz yataklarında ısı transferi olayını incelemek için yukarıda deneyler sonucu bulunan, sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı ve yağ filmi debisi değerlerinin kullanılması gereklidir. Bu değerler kullanılarak türbin kılavuz yataklarındaki iletim ve taşınım yoluyla harcanan ısı ayrıca min yağ filmi kalınlığındaki sıcaklık Matlab bilgisayar programında hesaplanarak aşağıda grafikler halinde verilmektedir.

Türbin kılavuz yataklarda yağın hazneden yatağa giriş sıcaklığı zamana göre ölçülerek tablo 3.3’de gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının zamana göre değişimi

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	24,6
10	26,5
20	29,6
30	32
40	34,2
50	36,5
60	38,1
70	39,3
80	40,6
90	41,4
100	42,1
110	43,1
140	44,9
170	46,1
200	47,2
230	48
260	48,9
290	49,5
320	50
350	50,3
380	50,6
410	51,1
440	51,1
470	51,1

Tablo 3.3’de verilen değerler Şekil 3.13’de grafik olarak gösterilmektedir.

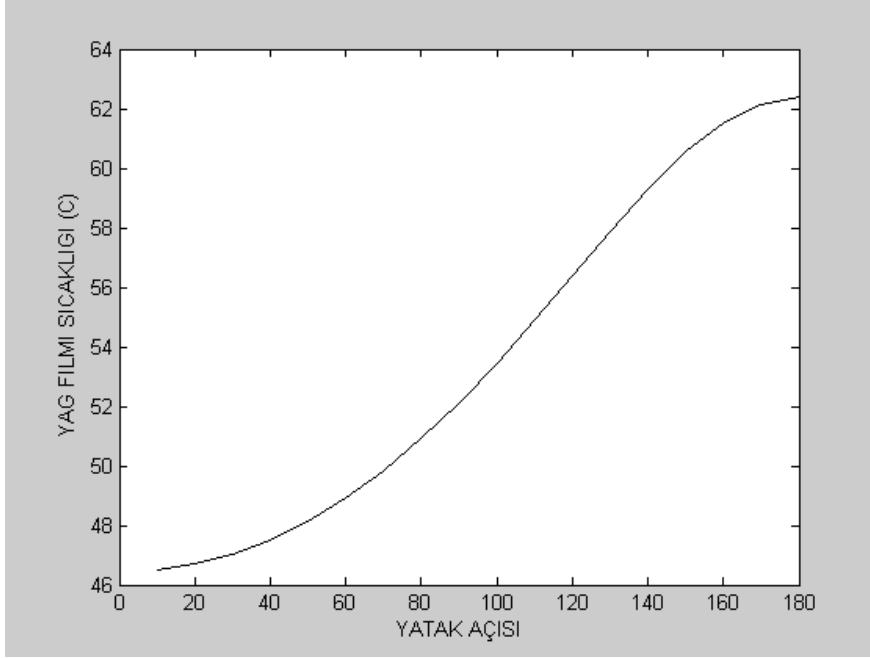


Şekil 3.13.Türbin kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının zamana göre değişimi

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi sıcaklığın zamana göre artışı giderek azalan bir eğri çizmektedir.  niteye start verildiği anda değerler alınmaya baŐlanmış ve 410 dakika sonra sıcaklığın 51,1  C’de sabitlediği g r lm Ő t r.

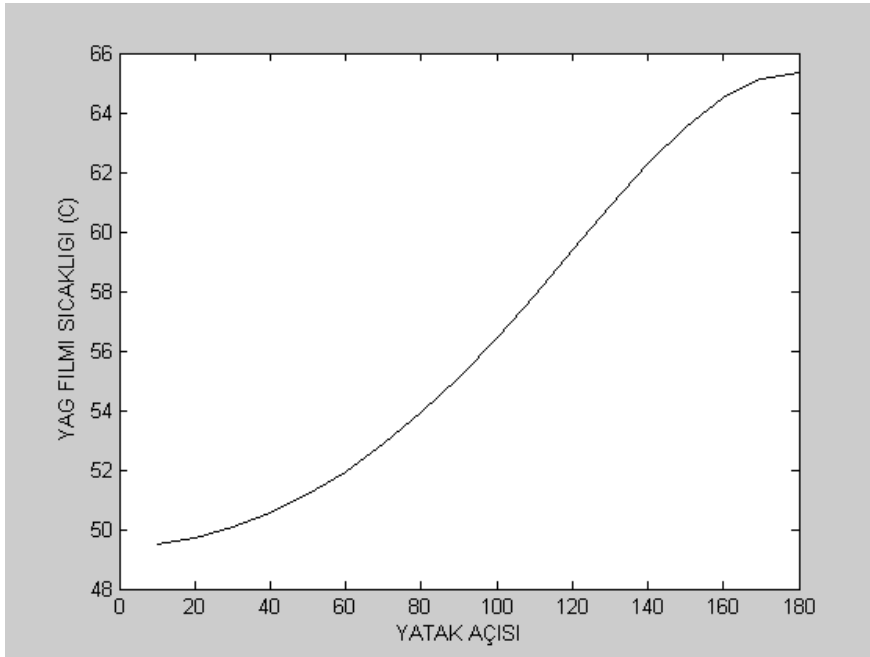
Türbin kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı esas alınarak ünite’ye start verildikten sonra zamana göre yatak içerisindeki ısı dağılımı aşağıdaki grafiklerde her bir zaman dilimi için g sterilmiŐ tir.

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 26,5 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 10 dakika



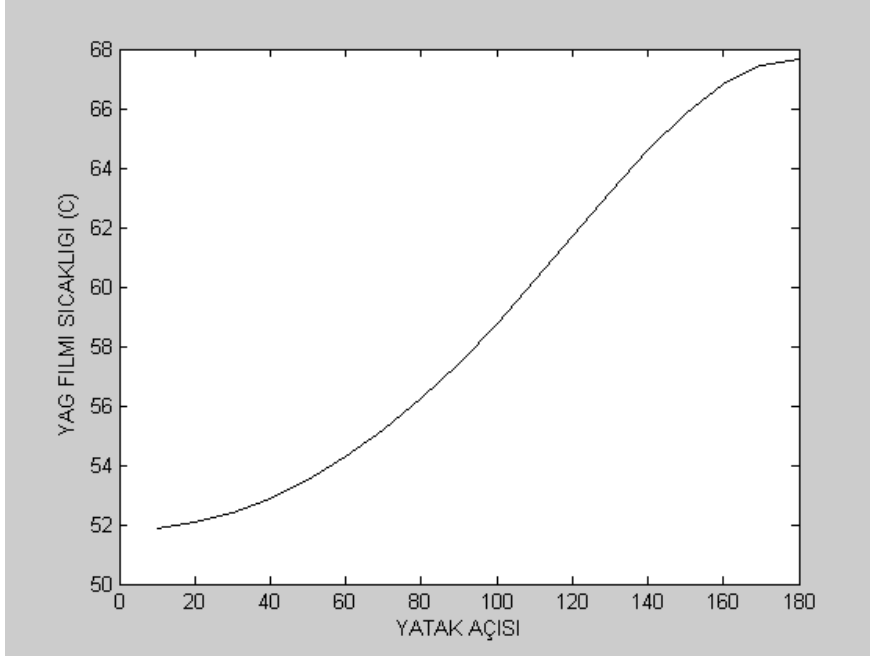
Şekil 3.14. Ünite 10 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 29,6 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 20 dakika



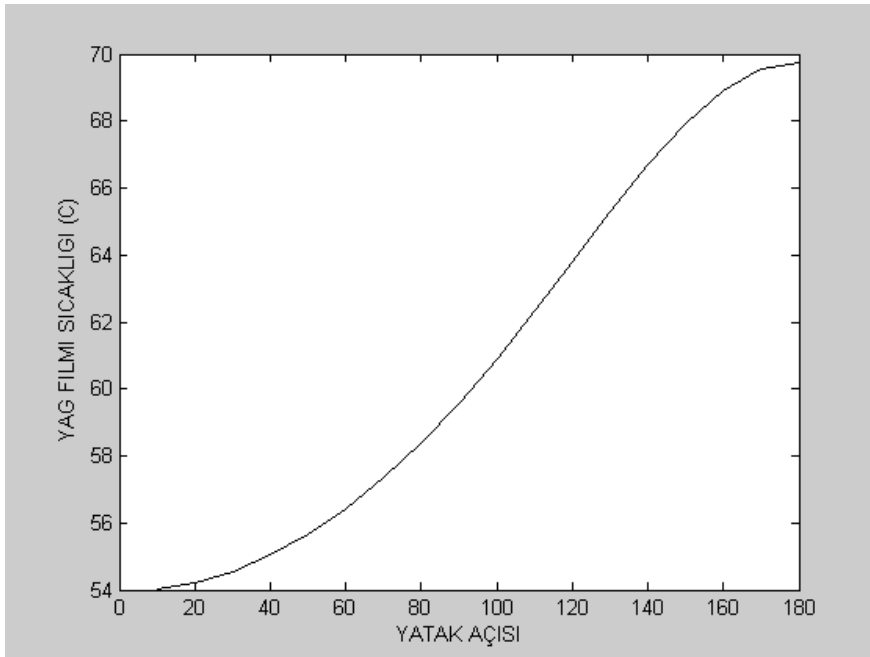
Şekil 3.15. Ünite 20 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 32 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 30 dakika



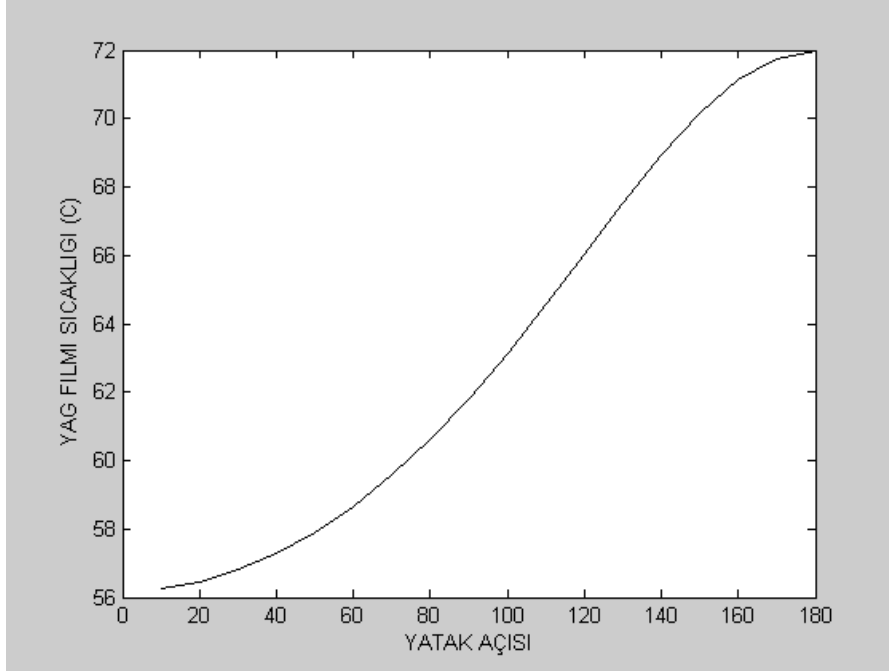
Şekil 3.16. Ünite 30 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 34,2 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 40 dakika



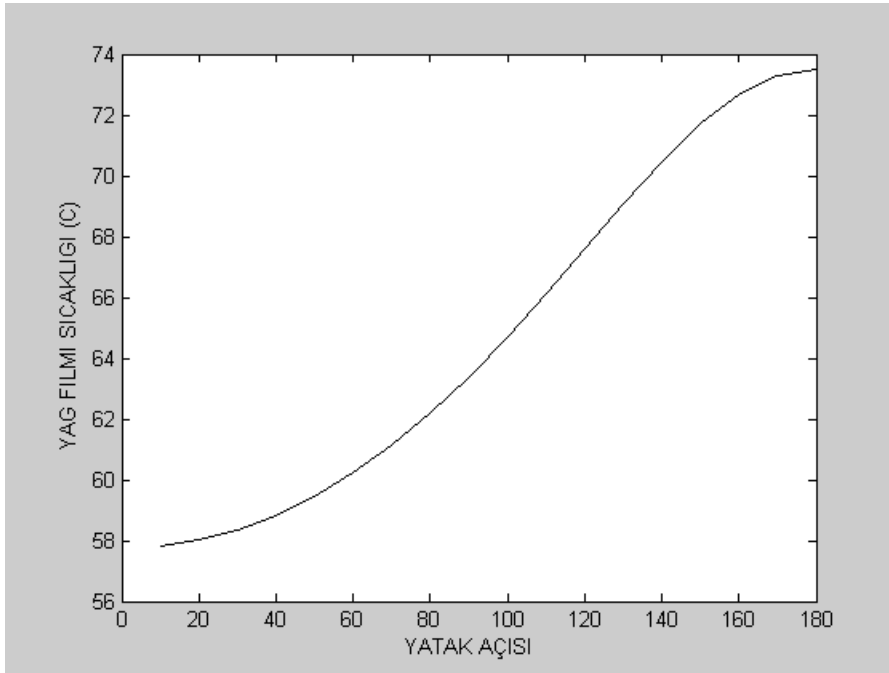
Şekil 3.17. Ünite 40 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 36,5 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 50 dakika



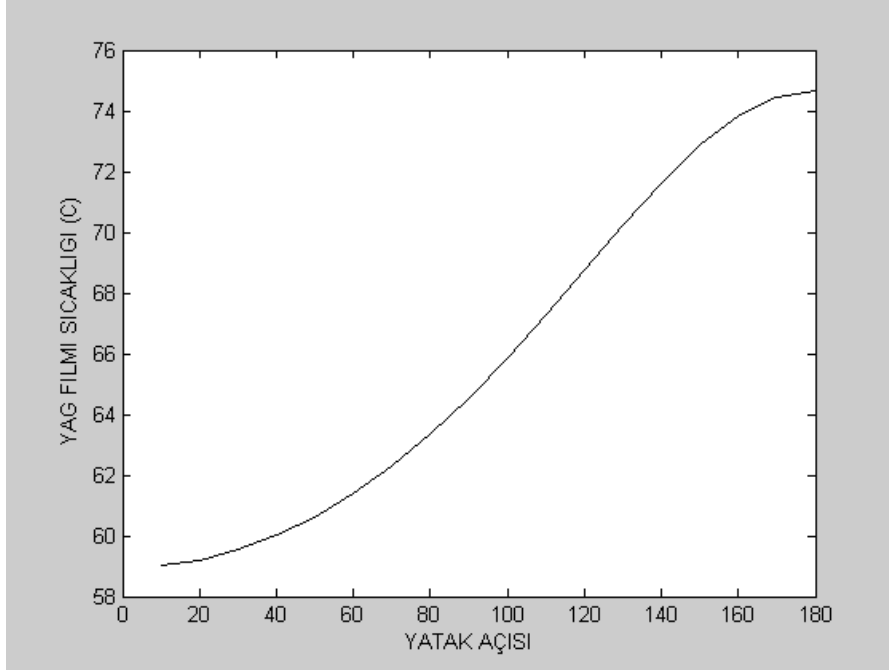
Şekil 3.18. Ünite 50 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 38,1 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 60 dakika



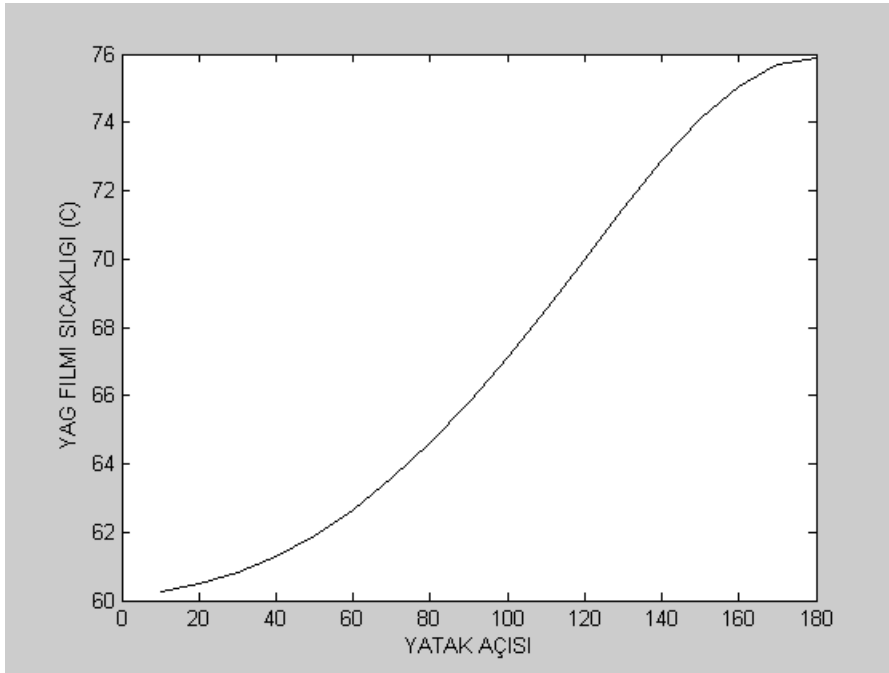
Şekil 3.19. Ünite 60 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 39,3 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 70 dakika



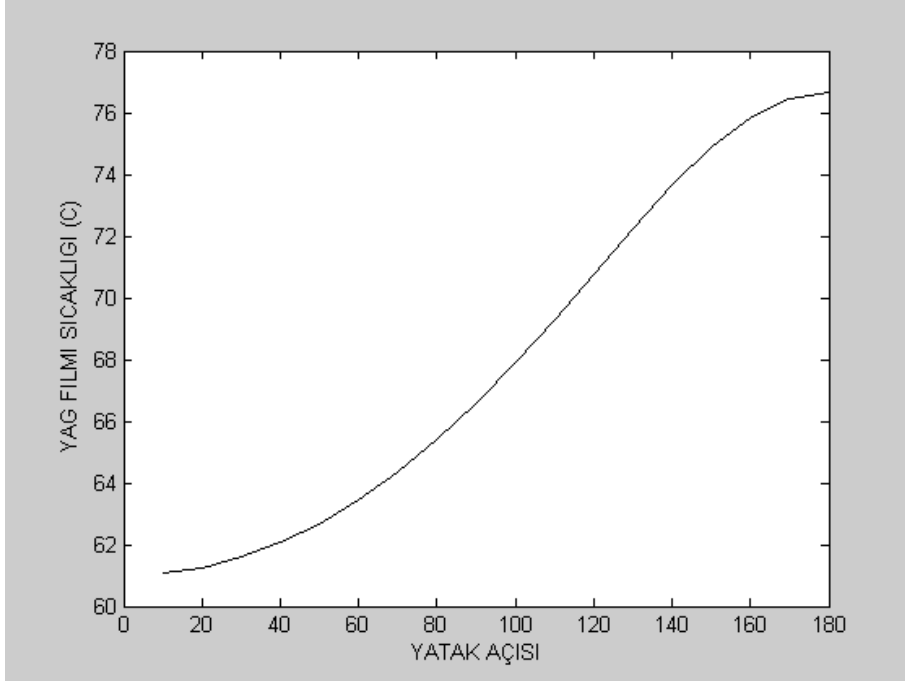
Şekil 3.20. Ünite 70 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 40,6 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 80 dakika



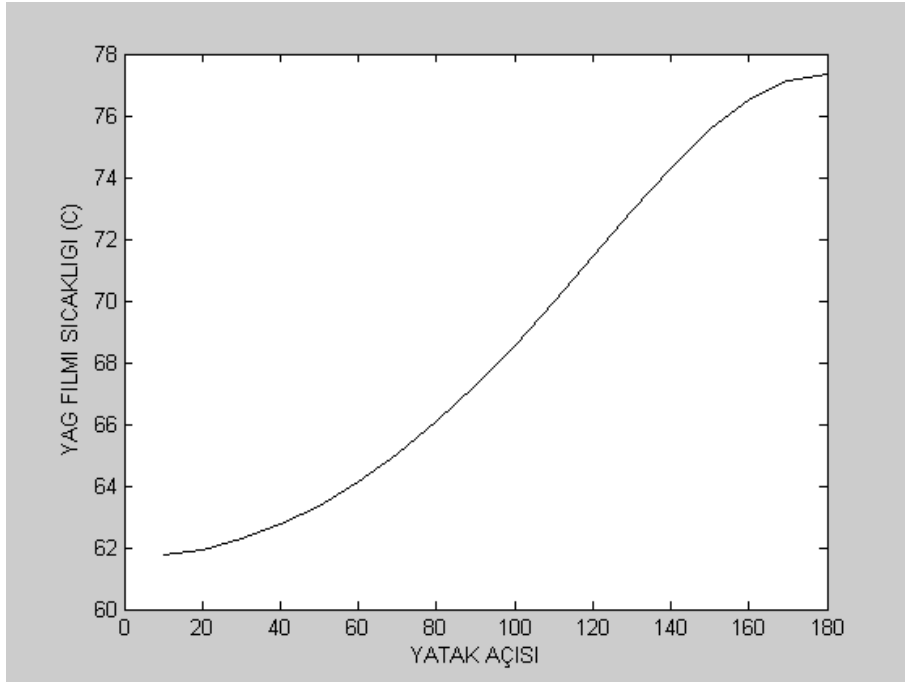
Şekil 3.21. Ünite 80 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 41,4 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 90 dakika



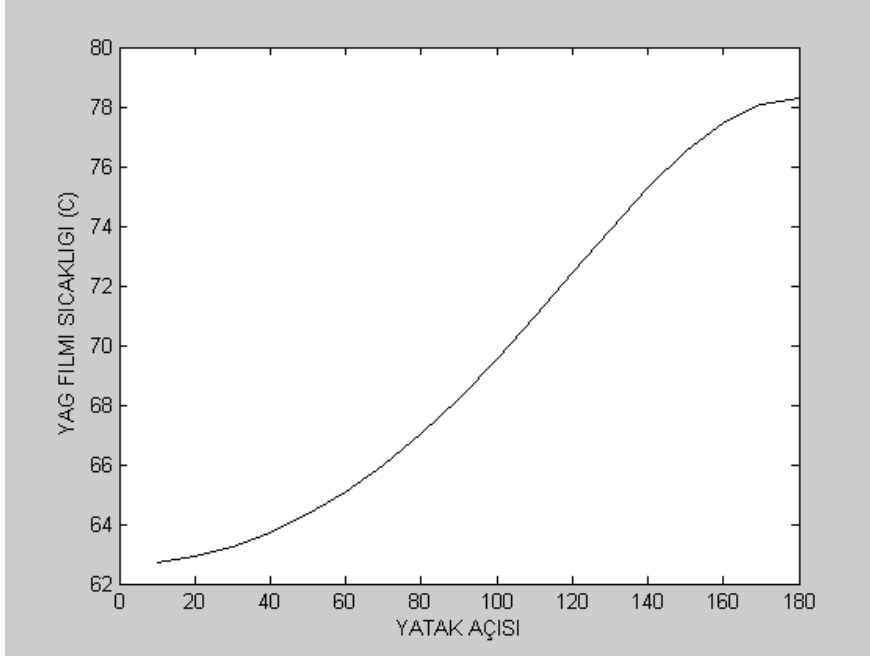
Şekil 3.22. Ünite 90 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 42,1 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 100 dakika



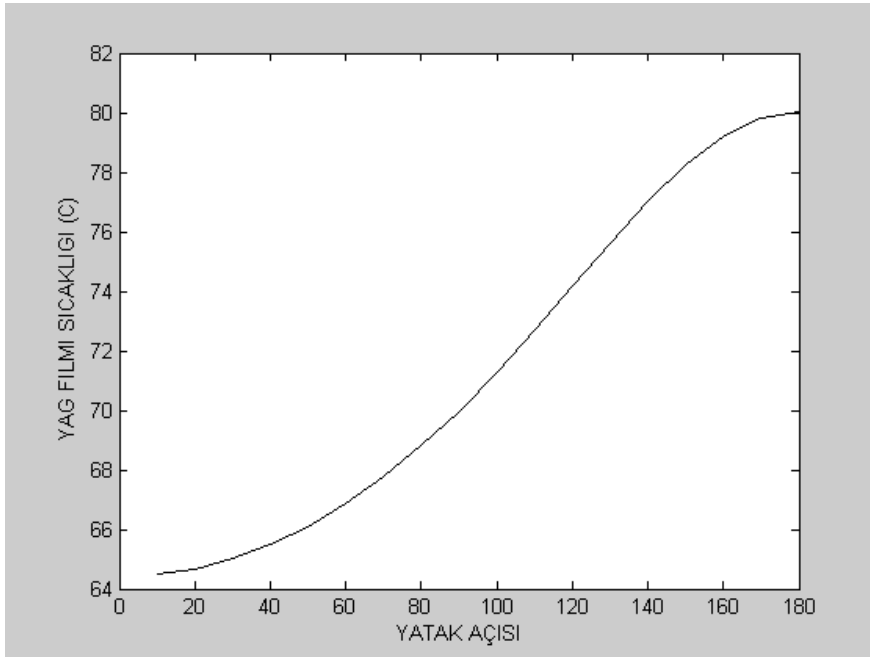
Şekil 3.23. Ünite 100 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 43,1 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 110 dakika



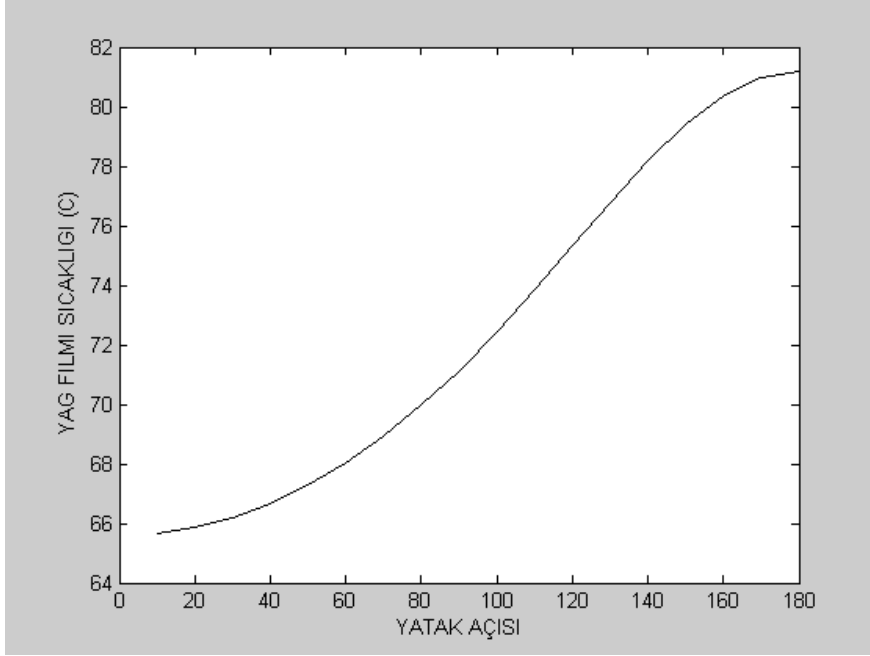
Şekil 3.24. Ünite 110 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 44,9 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 140 dakika



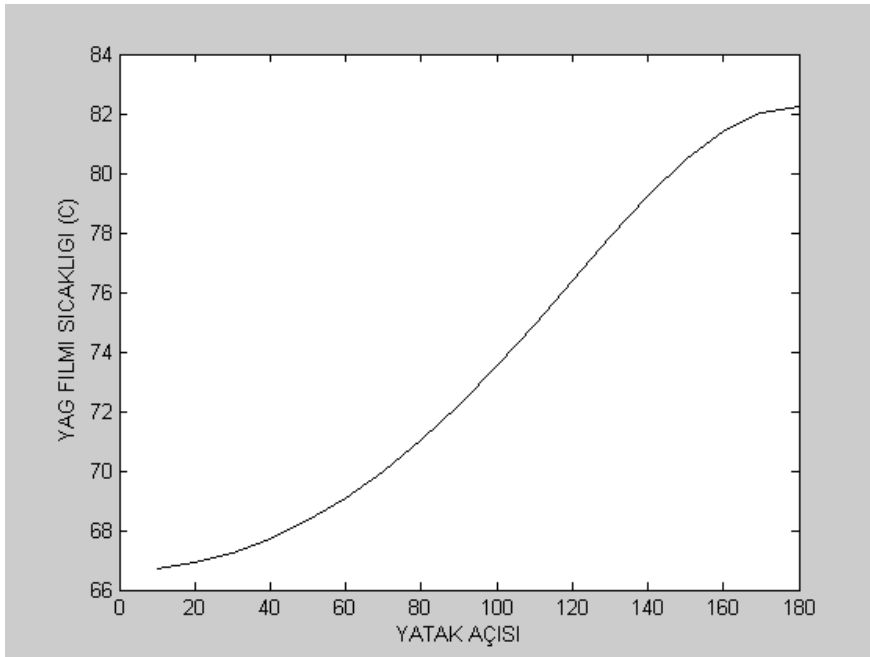
Şekil 3.25. Ünite 140 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 46,1 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 170 dakika



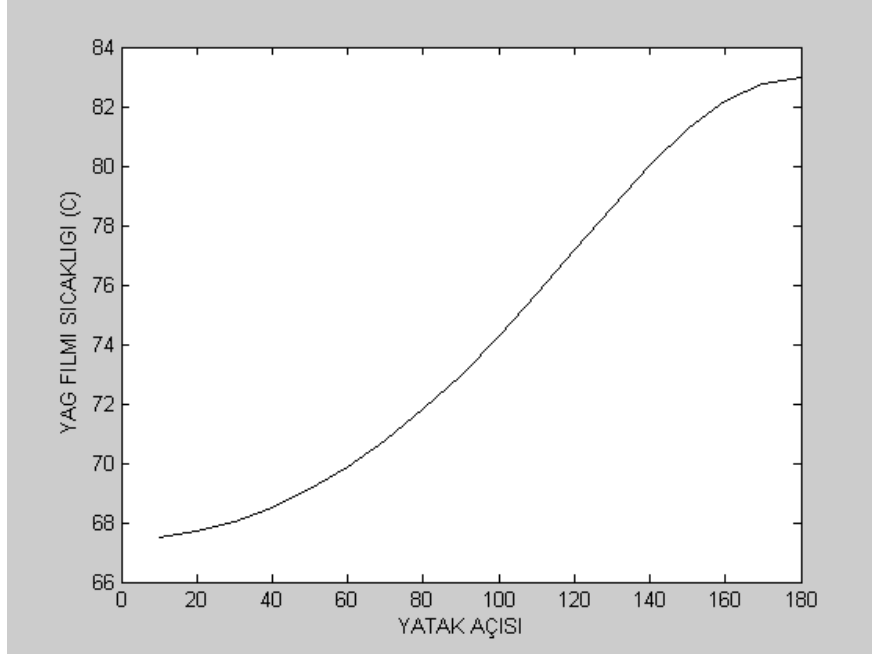
Şekil 3.26. Ünite 170 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 47,2 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 200 dakika



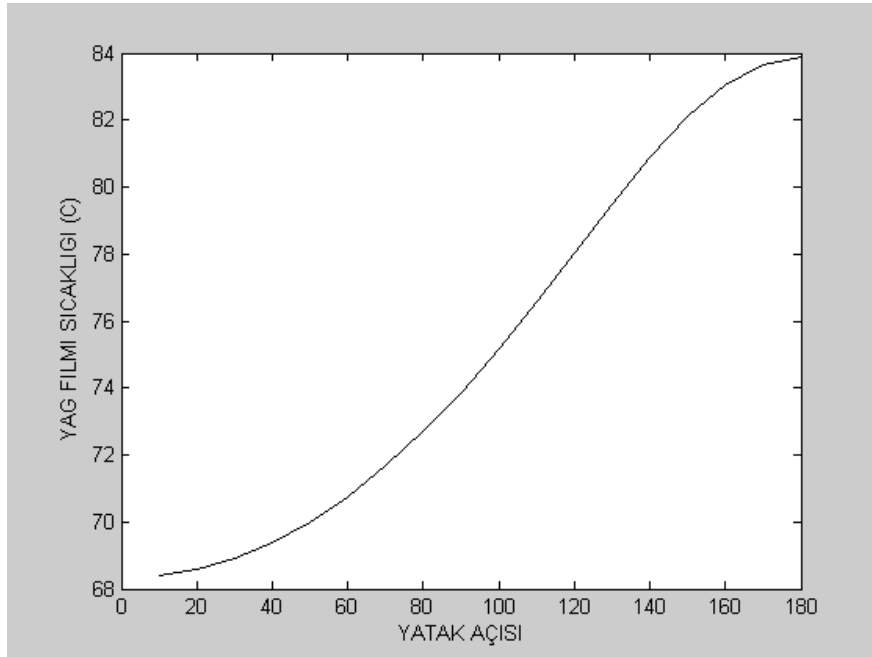
Şekil 3.27. Ünite 200 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 48 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 230 dakika



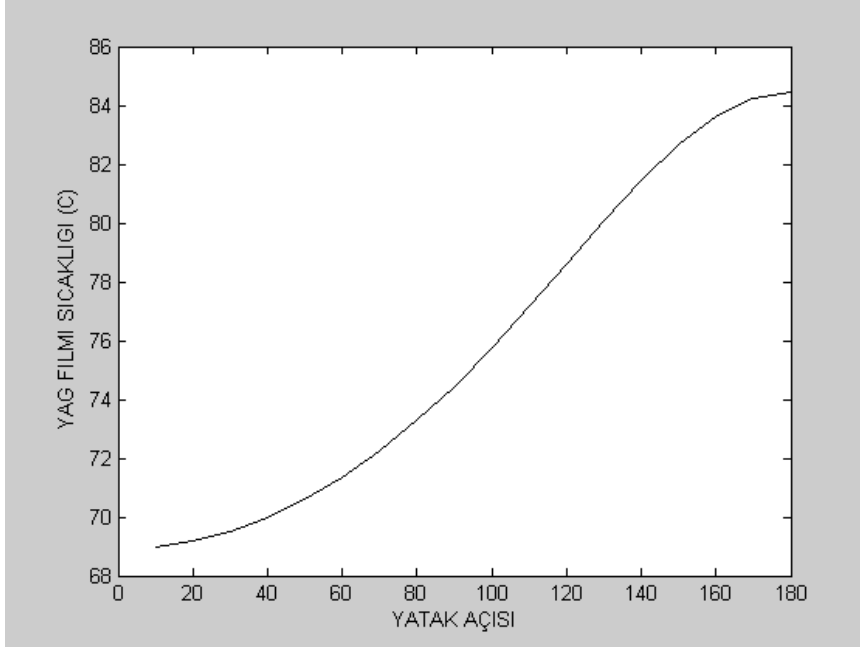
Şekil 3.28. Ünite 230 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 48,9 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 260 dakika



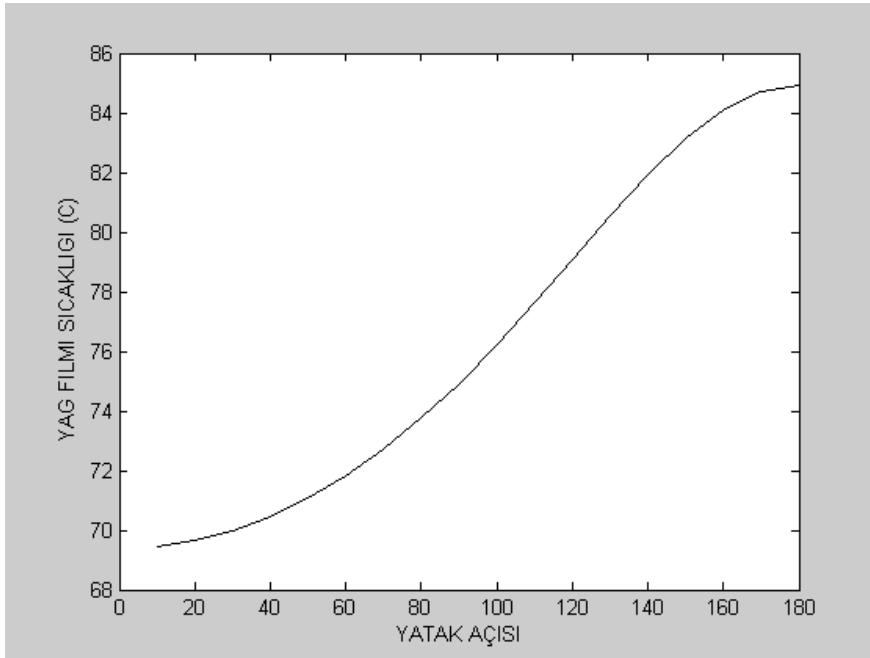
Şekil 3.29. Ünite 260 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 49,5 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 290 dakika



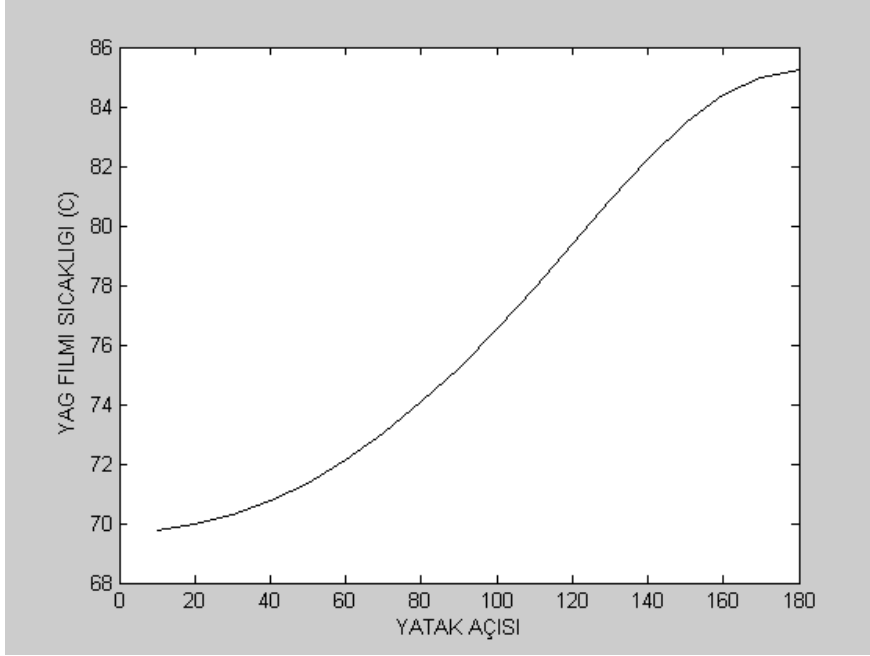
Şekil 3.30. Ünite 290 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 50 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 320 dakika



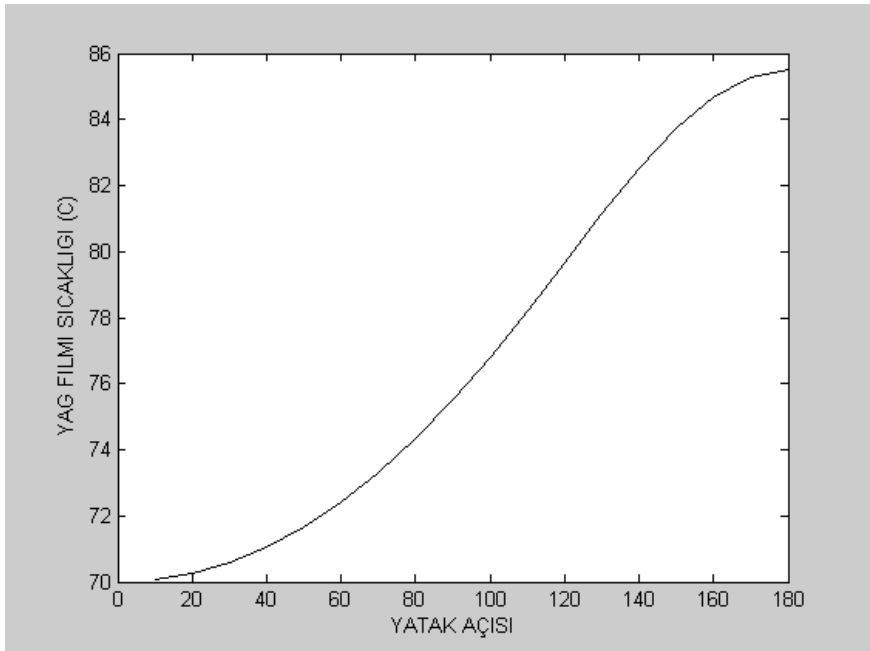
Şekil 3.31. Ünite 320 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 50,3 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 350 dakika



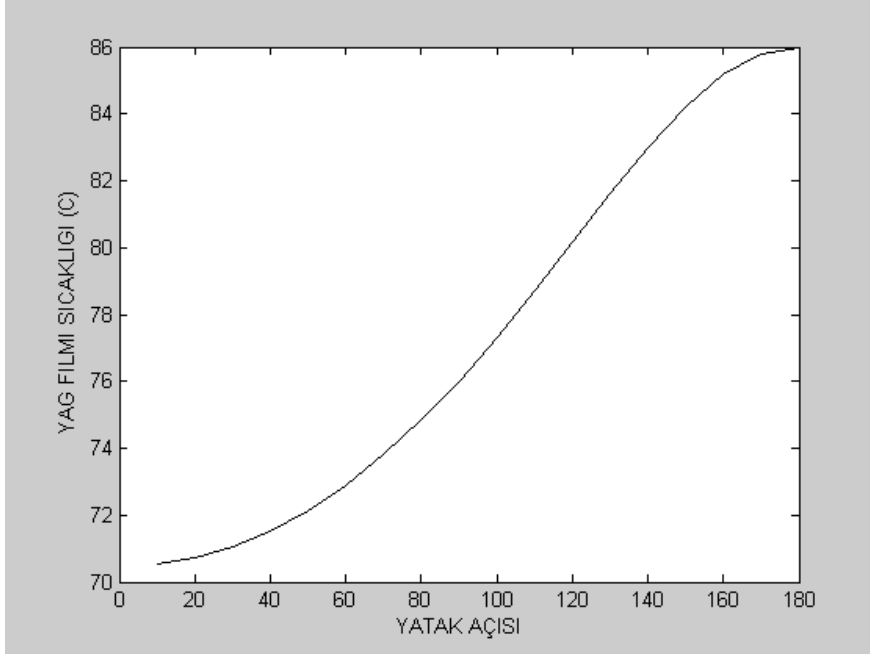
Şekil 3.32. Ünite 350 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 50,6 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 380 dakika



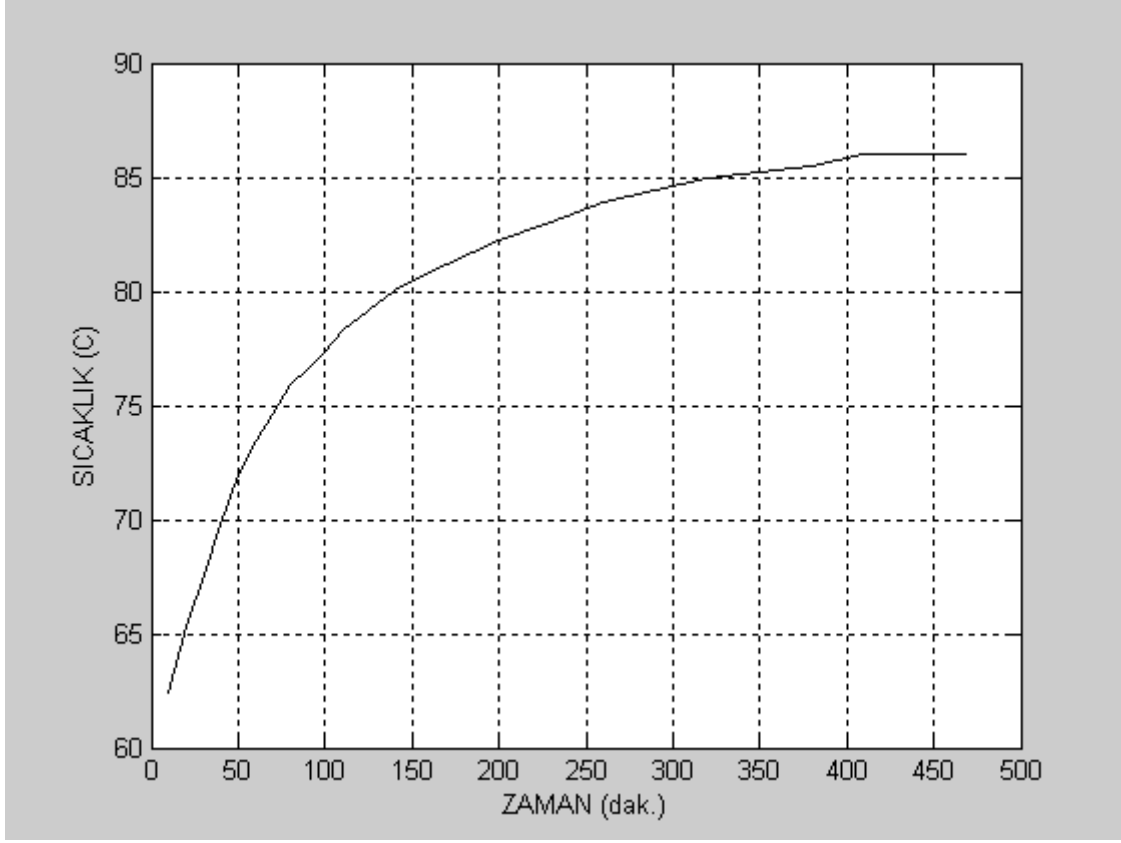
Şekil 3.33. Ünite 380 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığı = 51,1 °C
Yağın dinamik viskozitesi = 0,0356 Pas.
Ünitenin çalıştığı süre = 410 dakika



Şekil 3.34. Ünite 410 dk. çalıştığında kılavuz yatak açısına göre yağ filmi sıcaklığı

Şekil 3.35'te ünitenin çalışmaya başlamasından itibaren türbin kılavuz yataktaki en yüksek sıcaklığın değişimi görülmektedir.

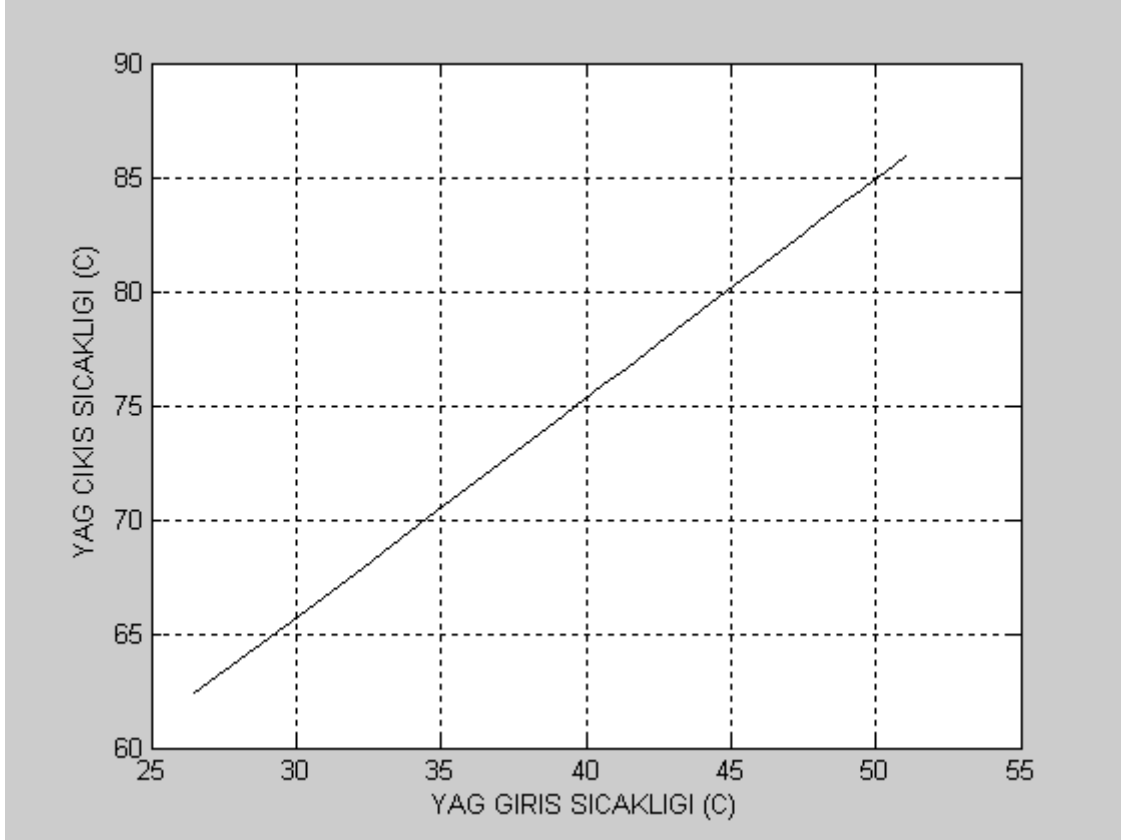


Şekil 3.35. Türbin kılavuz yatakta min. yağ filmindeki sıcaklığın zamana göre değişimi

Şekil 3.35'te görüldüğü gibi yağ sıcaklığının artması zamana göre gittikçe eğimi azalan bir doğruyla olmakta ve ünite devreye girdikten 410 dakika sonra sıcaklık sabitlenmektedir.

DIN 1703 normuna göre kaymalı yataklarda beyaz metal'in maruz kaldığı sıcaklık 100 °C'yi geçmemelidir. Çünkü bu sıcaklıktan sonra yataktaki beyaz metal bozulur ve üniteye çok ağır maliyetli hasarlara yol açar.

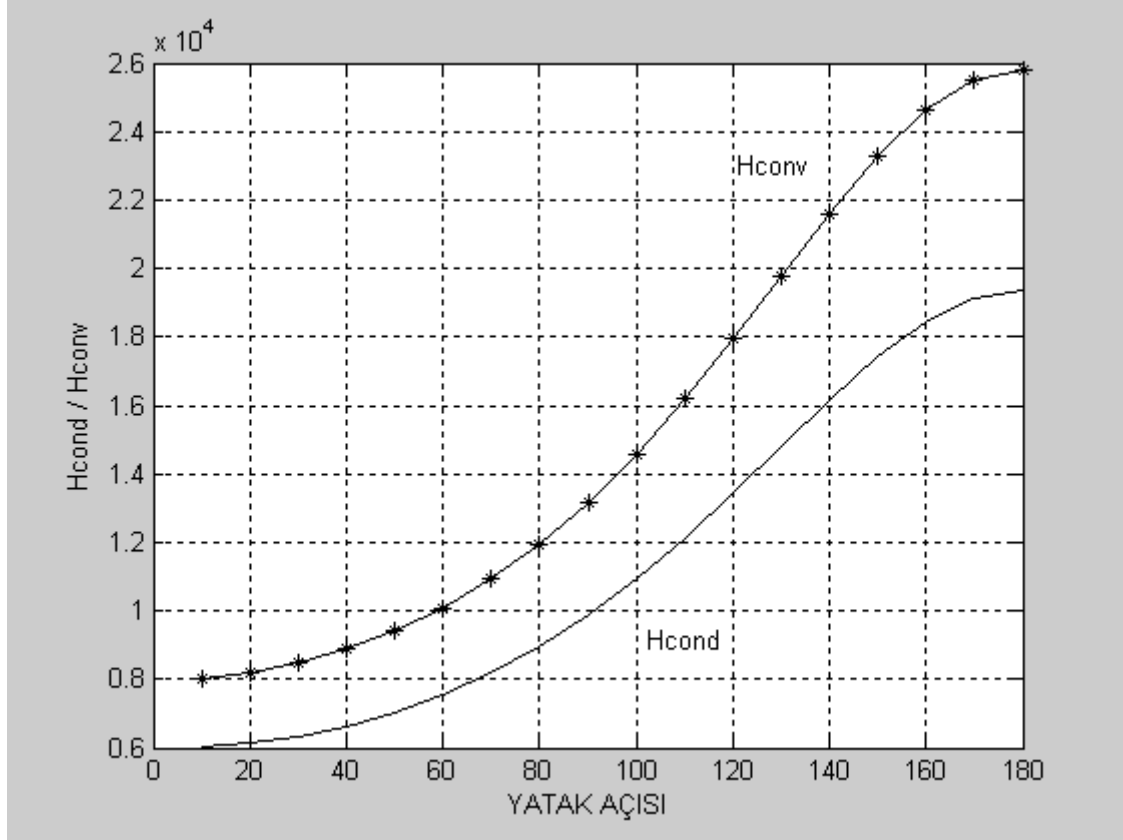
Türbin kılavuz yatakta yağ giriş sıcaklığı ile min yağ filminde oluşan yağ sıcaklığı arasındaki grafik şekil 3.36’te verilmektedir.



Şekil 3.36. Kılavuz yatağın yağ çıkış sıcaklığının yağ giriş sıcaklığına göre değişimi

Şekil 3.36’daki grafikten görüldüğü gibi yağ giriş sıcaklığı yağ çıkış sıcaklığına göre doğru orantılı bir şekilde artmaktadır.

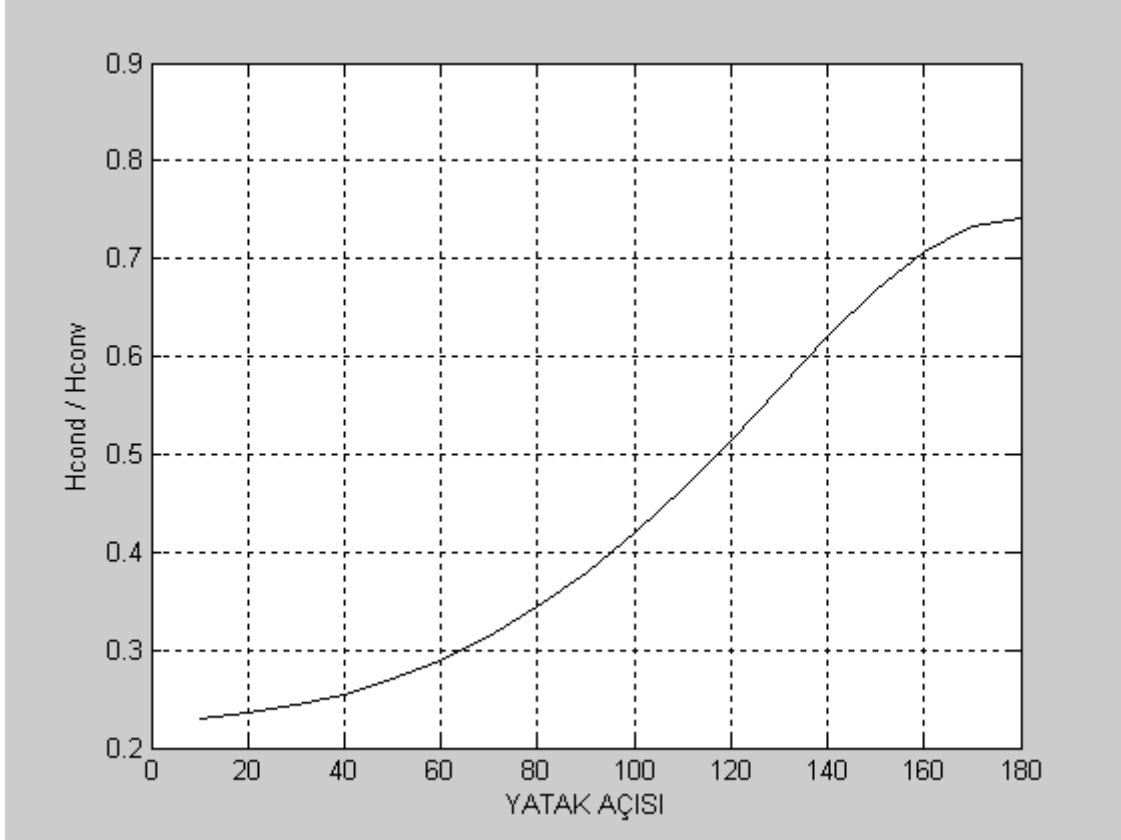
Şekil 3.37’de türbin kılavuz yatağın 0 ile 180 derece arasında iletim ve taşınım ile harcanan ısı miktarları görülmektedir.



Şekil 3.37. Türbin kılavuz yatakta iletim ve taşınım yoluyla harcanan ısı miktarı

Şekil 3.37’deki grafikte görüldüğü gibi taşınım ile bir başka deyişle yatakta dolaşan yağ vasıtası ile atılan ısı miktarı şaft ve yatak yüzeyinden iletim yoluyla atılan ısı miktarından her zaman fazladır ve kılavuz yatağın daralan kesitine yaklaştıkça bu oran artmaktadır.

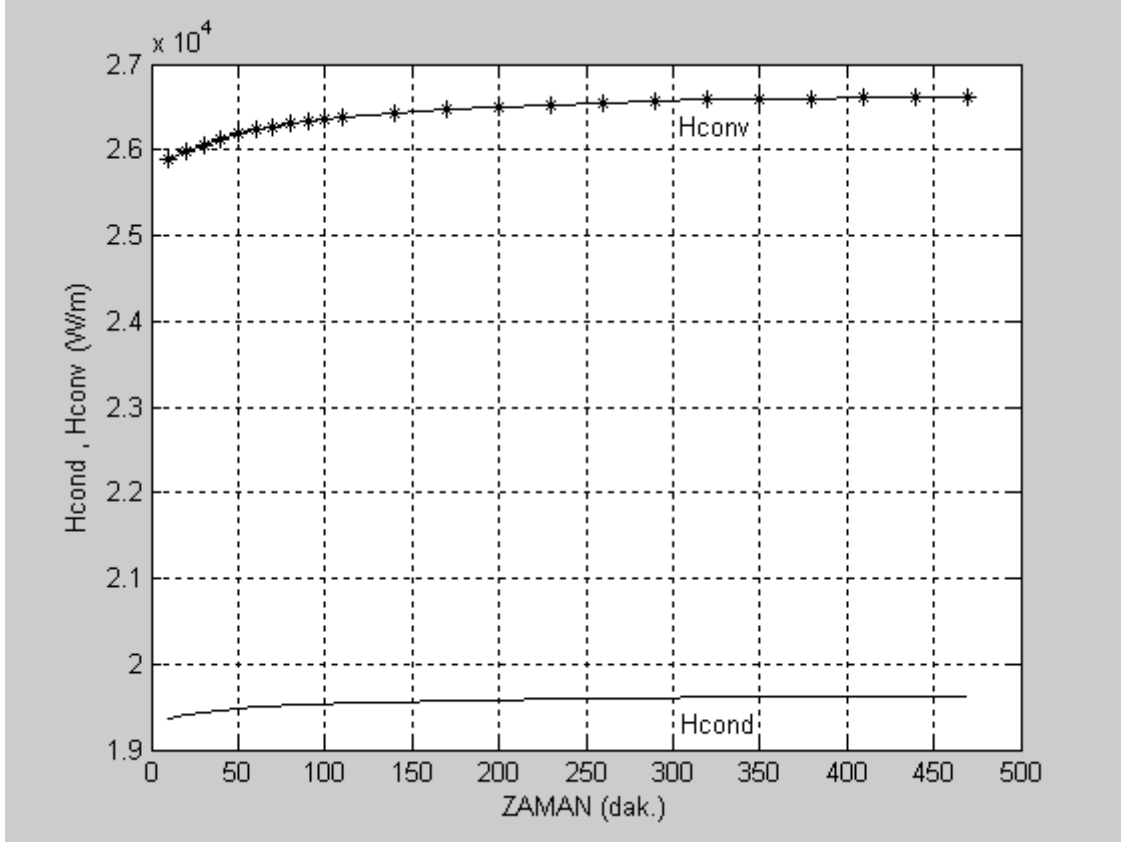
Şekil 3.38’de kılavuz yatakta iletim ve taşınım yoluyla atılan ısı oranı görülmektedir.



Şekil 3.38.Kılavuz yatakta iletim yoluyla atılan ısıya taşınım yoluyla atılan ısıya oranı

Şekil 3.38’de görüldüğü gibi min yağ filmi kalınlığı olan 180°’lik açığa yaklaştıkça taşınım yoluyla olan ısı kaybı iletim yoluyla olan ısı kaybına göre artmaktadır. Başlangıçta bu oran 0,23 civarındayken min. yağ filmi kalınlığında 0,74’e kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.39’da kılavuz yatakta min. yağ filmi kalınlığındaki taşınım ve iletim yoluyla harcanan ısıya göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.39. Türbin kılavuz yataktaki ısı iletim ve taşınımının zamana göre değişimi

Şekil 3.39’da görüldüğü gibi türbin kılavuz yataktaki ısı iletim ve taşınımı zamana göre çok az bir miktar değişmektedir. Bunun sebebi kılavuz yatağa giren yağ sıcaklığının kılavuz yataktan çıkan yağ sıcaklığı ile aynı oranda artmasıdır. Sıcaklık artım miktarı sabit olduğundan değişimin nedeni yağın sıcaklığının artışından kaynaklanan fiziksel özelliklerinin değişmesidir.

Ünite 8 türbin kılavuz yataktaki ısı transferi olayı incelendikten sonra kılavuz yatakta ısınan yağı soğutmak için kullanılan ısı değiştirgeçleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler ünite 6’da yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın nedeni ünite 6 türbin kılavuz yatakta orijinal soğutucu bulunmaktadır. Bu orijinal soğutucu kılavuz yatak yağ tankının içinde iki adet bakır boru vasıtası ile dolaştırılmış ve bakır borudan soğutma suyu geçirilerek yağ haznesi içerisindeki ısınan yağ soğutulmaya çalışılmıştır. Bu yöntemin dezavantajı bakır borunun zaman içerisinde patlayıp 670 lt kapasiteli yağ tankına su karışması ve dolayısıyla yağın kullanılamayacak vaziyete gelmesi durumudur. Bu arıza durumunda, yağın tasfiye edilmesi gerektiğinden dolayı ünitenin durma süresini artırır ve ülke ekonomisine büyük zararlar verir. Bu durum

göz önüne alınarak ünite 8’de kılavuz yatak yağ tankındaki bakır borular körlenmiş ve yağ tankı dışına bir plakalı eşanjör konularak bir pompa vasıtası ile yağ tanktan çekilmiş ve plakalı eşanjörün içerisinde dolaştırılmak suretiyle yağ soğutulmaya çalışılmıştır. Böylece plakalı eşanjörde herhangi bir sorun olsa dahi tanktaki yağa su karışması çok zor bir ihtimal haline gelecektir ve ünitenin bu tip arızalardan dolayı mecburi durmaları engellenmiş olacaktır. Yapılan deneylerde bu iki soğutucu tipi ünite 6 ve ünite 8’in gerçek çalışma koşulları için incelenmiştir. Bahsedilen hesaplamaları yapabilmek için Matlab ‘da yapılan bilgisayar programı aşağıda görülmektedir.

```
Um=0.888;  
d=25.4e-3;  
%Yag çıkış sıcaklığı  
Thc=25.4;  
%Yağ giriş sıcaklığı  
Thg=51.1  
%Yağın kinematik viskozitesi  
v=145e-6;  
%Su çıkış sıcaklığı  
Tcc=19.9;  
%Su giriş sıcaklığı  
Tcg=10.8;  
%yağın yoğunluğu (kg/m3)  
p=-0.625*Thc+879.4;  
r=3.636*Thc+1805;  
%Suyun yoğunluğu (kg/m3)  
pc=(-0.004*Tcc^2)-0.038*Tcc+1000.2;  
%Suyun özgül ısısı (J/kg.K.)  
rc=(-0.0001*Tcc+4.1946)*1000;  
Re=Um*d/v  
mh=0.45e-3;  
mc=0.615e-3;  
Ch=mh*p*r;  
Cc=mc*pc*rc;
```

```

if Ch>Cc
    Cmin=Cc
    Cmax=Ch
elseif Cc>Ch
    Cmin=Ch
    Cmax=Cc
end
Cr=Cmin/Cmax;
Qmax=Cmin*(Thg-Tcg);
Q=Cmin*(Thg-Thc);
ee=Q/Qmax

```

Tablo 3.4’de ünite 8’de 73 plaka sayılı eşanjörde ve paralel akışta yapılan ölçümler neticesinde elde edilen değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Ünite 8 türbin kılavuz yatak yağ soğutucu değerleri(73 plaka, paralel akış)

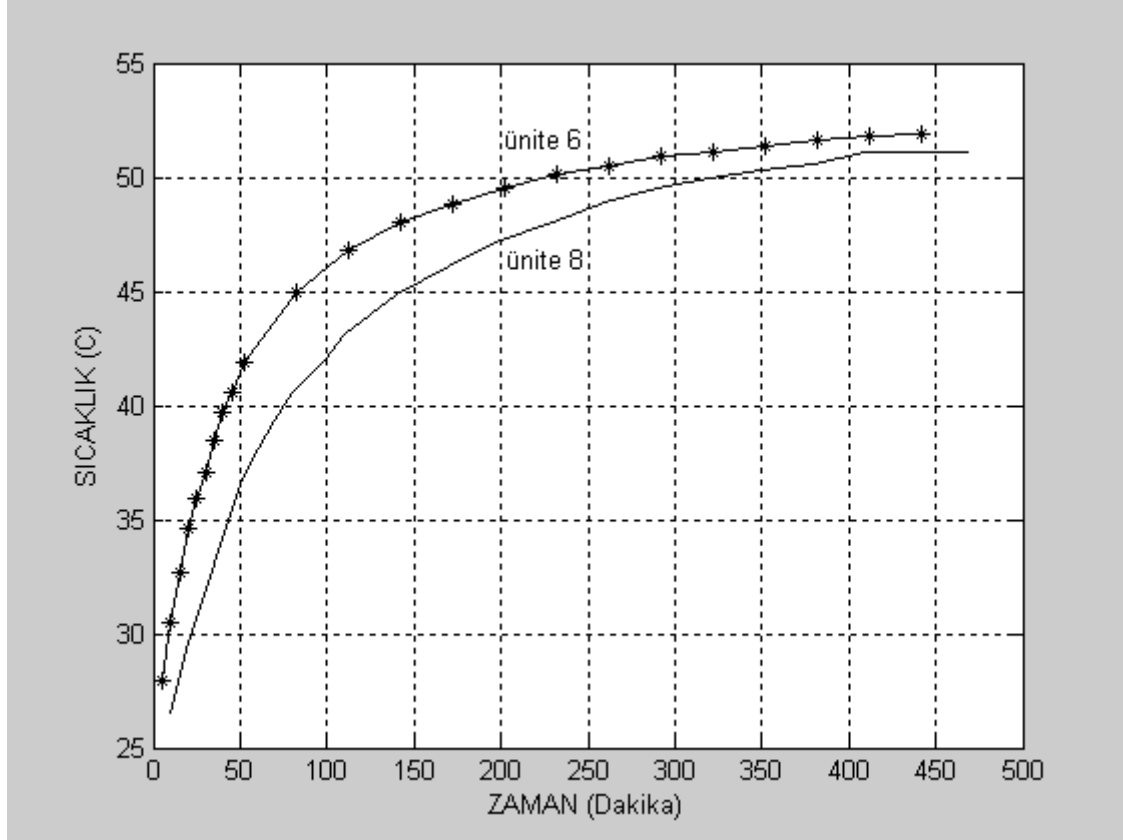
Zaman (dak.)	Yağ çıkışı (°C)	Yağ girişi (°C)	Su çıkışı (°C)	Su girişi (°C)
0	20,6	24,6	15,5	14,9
10	20,5	26,5	11,5	10,8
20	22,6	29,6	12,1	10,8
30	24	32	12,5	10,8
40	25,1	34,2	12,8	10,8
50	26,1	36,5	13	10,8
60	27	38,1	13,2	10,8
70	27,7	39,3	13,4	10,8
80	28,4	40,6	13,5	10,8
90	28,9	41,4	13,6	10,8
100	29,4	42,1	13,7	10,8
110	30,1	43,1	14	10,8
140	31,3	44,9	14,3	10,8
170	32,2	46,1	14,6	10,8
200	32,9	47,2	14,8	10,8
230	33,4	48	15,2	10,8
260	34,2	48,9	15,4	10,8
290	34,5	49,5	15,5	10,8
320	34,8	50	15,6	10,8
350	35	50,3	15,8	10,8
380	35,3	50,6	15,9	10,8
410	35,4	51,1	15,9	10,8
440	35,6	51,1	15,9	10,8
470	35,6	51,1	15,9	10,8

Tablo 3.5’de ünite 6’da orijinal soğutucu ile yapılan ölçümler neticesinde elde edilen değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.5.Ünite 6 türbin kılavuz yatak yağ soğutucu değerleri

Zaman (dakika)	Yağ sıcaklığı (°C)	Su girişi (°C)	Su çıkışı (°C)
0	26,9	10,8	11
5	27,9	10,8	11,2
10	30,5	10,8	11,7
15	32,7	10,8	12,1
20	34,6	10,8	13
25	35,9	10,8	13,8
30	37,1	10,8	14,5
35	38,5	10,8	15,1
40	39,7	10,8	15,5
45	40,6	10,8	16,2
52	41,9	10,8	16,9
82	45	10,8	17,5
112	46,8	10,8	18
142	48	10,8	18,4
172	48,8	10,8	18,7
202	49,5	10,8	19
232	50,1	10,8	19,3
262	50,5	10,8	19,4
292	50,9	10,8	19,5
322	51,1	10,8	19,7
352	51,4	10,8	19,8
382	51,6	10,8	19,8
412	51,8	10,8	19,8
442	51,9	10,8	19,8

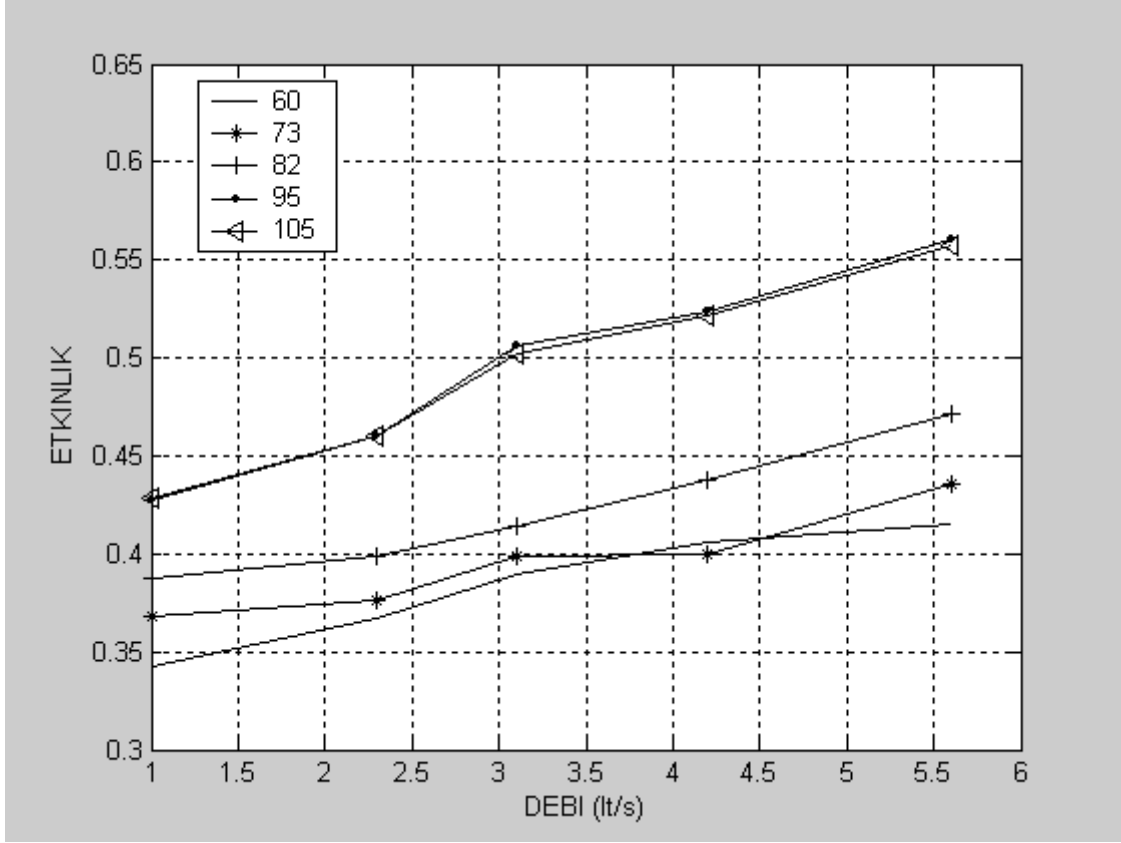
Tablo 3.5’deki değerlere göre ünite 6 ve ünite 8 kılavuz yatak giriş sıcaklıklarının zamana göre sıcaklık değişim grafiği şekil 3.40’de gösterilmektedir.



Şekil 3.40. nite 6 ve 8’in kılavuz yatak yağ giriş sıcaklıklarının zamana göre değişimi

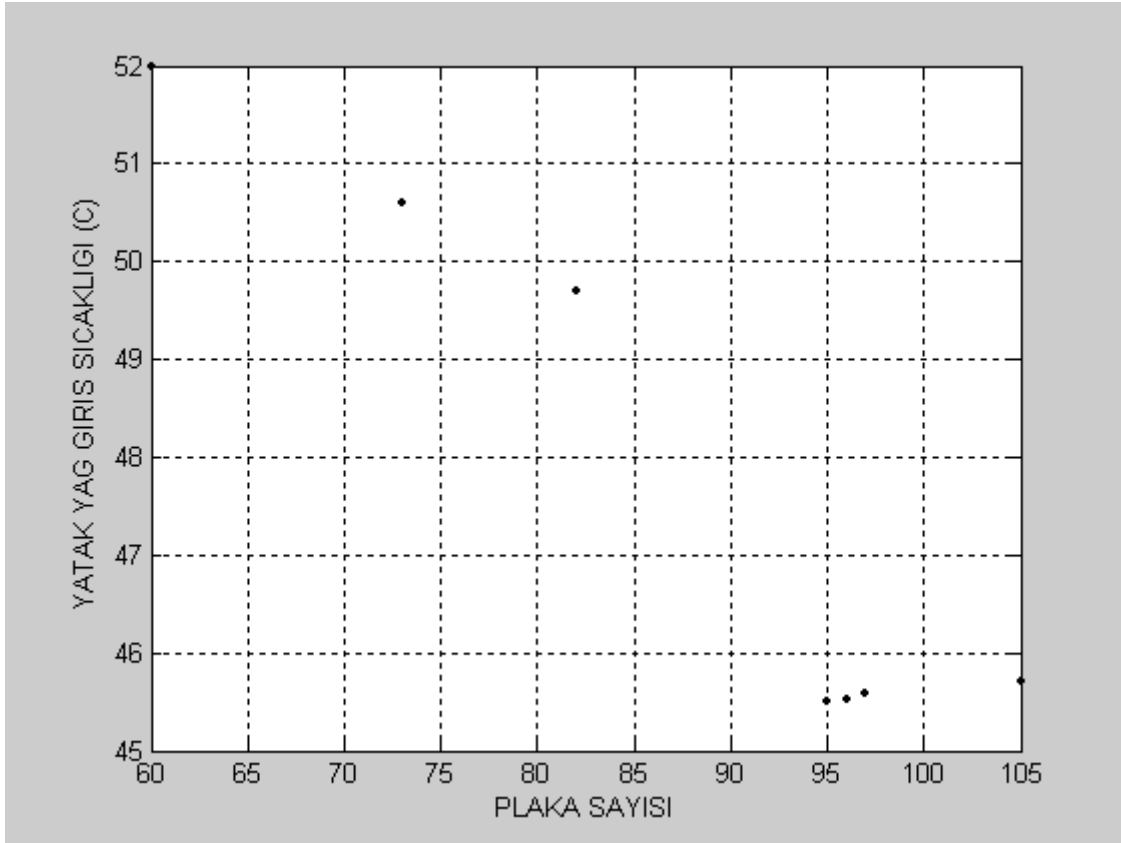
Şekil 3.40’daki grafikte görüldüğü gibi, ünite 6’daki orijinal yağ soğutucu, ünite 8’deki sonradan yapılan plakalı eşanjöre göre daha yavaş ve daha az bir soğutma sağladığı görülmektedir. Bu grafikte plakalı eşanjörün aynı ısı transfer yüzey alanında bakır borulu soğutucudan daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 73 plaka sayısında zıt ve paralel akış kıyaslanmış ve zıt akışın daha etkin olduğu tespit edilmiştir ve bundan sonra yapılacak olan deneyler zıt akış ile yapılmıştır.

Şekil 3.41’de değişik plaka sayıları ve soğutma suyu debilerine göre elde edilen etkinlik değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.41. Değişik plaka sayıları ve soğutma suyu debilerinde etkinlik değerleri

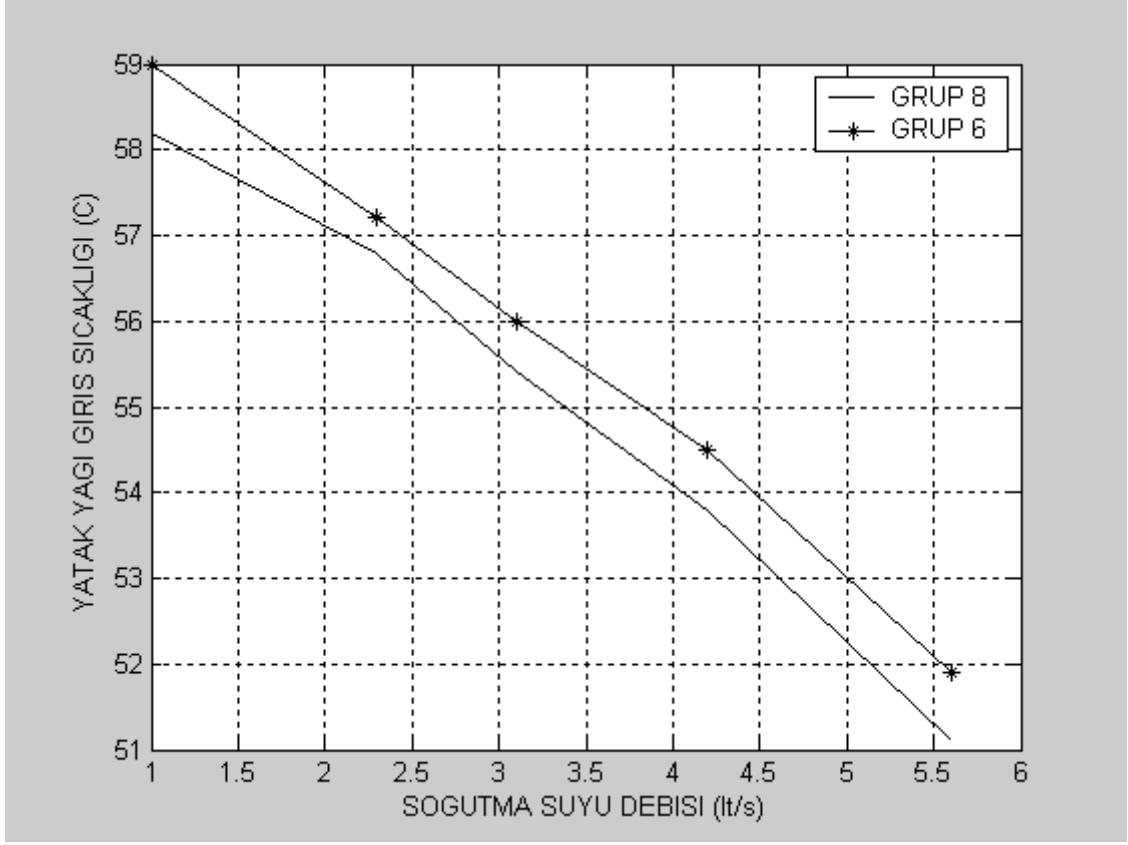
Ünite 8’de kılavuz yatak yağını soğutmak için kullanılan plakalı eşanjörün plaka sayısının 73 plaka olarak tespit edilip tüm deneylerin buna göre yapılmasının sebebi ünite 6’daki orijinal bakır borulu soğutucunun ısı transfer yüzey alanının 73 plaka sayısına eşit olmasındandır. Amaç eski tip soğutucu ile aynı ısı transfer yüzey alanındaki yeni tip soğutucuyu kıyaslamaktır. Fakat bu kıyaslama sonucunda aynı ısı transfer yüzey alanındaki plakalı ısı eşanjörünün avantajlı olduğu tespit edilse de soğutma işleminde optimum soğutmanın yada min. yağ sıcaklığının elde edilip edilmediği tespit edilmemiştir. Optimum soğutmanın ya da min. yağ sıcaklığının elde edilmesi önemli bir husustur. Çünkü Şekil 3.42’de gösterilen grafiğe göre yağın ömrünün uzun olması için belli sıcaklık aralıklarında çalışması gerekmektedir[22]. Eğer yağ için optimum şartlar elde edilirse yağın ömrü küçümsenmeyecek ölçüde uzar, yatak yüzeyindeki beyaz metal yüksek sıcaklıklara maruz kalmaz ve böylece plansız arızalar önlenmiş olur. Buda ülke ekonomisine önemli derecede katkı sağlar.



Şekil 3.43. Isı eşanjörü plaka sayısına göre kılavuz yatak yağ giriş sıcaklığının değişimi

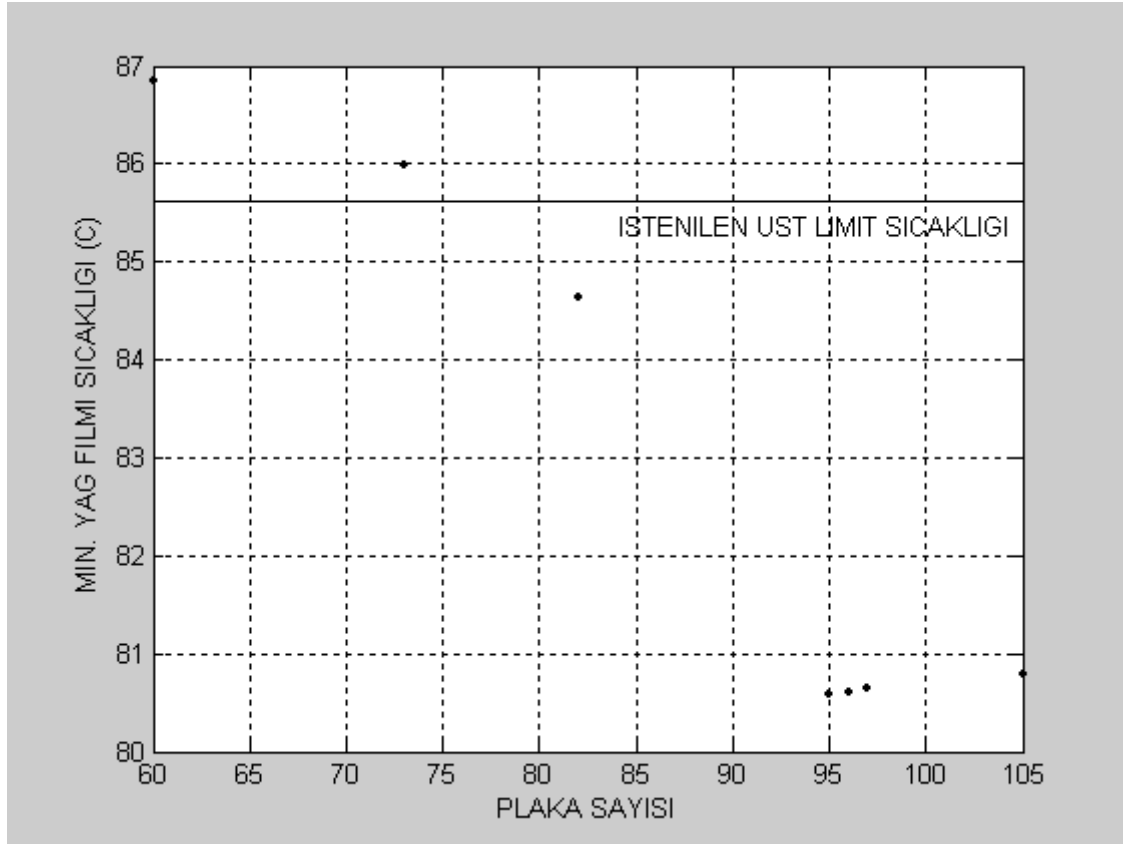
Şekil 3.43'deki grafikte görüldüğü gibi en düşük yağ giriş sıcaklığı 95 plaka sayısında elde edilmiştir. Sıcaklık 51,1 °C'den 45,5 °C'a düşürülmüştür.

Plakalı eşanjörün 95 plaka sayısında çeşitli soğutma suyu debilerinde yağ sıcaklığı deneyleri yapılmıştır fakat en ideal soğutma suyu debisinin şimdiye kadar üzerinde çalışılan mevcut debi olduğu görülmüştür. Şekil 3.44'de farklı soğutma suyu debilerine göre plakalı eşanjörden çıkan yağ sıcaklıkları görülmektedir.



Şekil 3.44. Soğutma suyu debisine göre kılavuz yatak yağ sıcaklığının değişimi

Şekil 3.45’de ısı eşanjörünün 60, 73, 82, 95 ve 105 plaka sayılarında kılavuz yatak min. yağ filmi kalınlığında oluşan sıcaklıklar görülmektedir.



Şekil 3.45.Eşanjörün 60, 73, 82, 95 ve 105 plaka sayılarında kılavuz yatak min. yağ filmindeki sıcaklıkları

Şekil 3.45'te görüldüğü gibi plakalı ısı eşanjörünün 73 plaka sayısında min. yağ filmi kalınlığındaki yatak sıcaklığı limit sınırındadır. Bunun anlamı yağın normal çalışma saatinden daha erken bozulmaya meyilli oluşudur. Mutlaka yağ sıcaklığının bu sınırın altında tutulması gerekir hatta yağ sıcaklığı 70 °C'da olursa en ideal çalışma ortamı sağlanmış olur[16]. Kılavuz yatak sıcaklığını sınırlayan diğer bir faktörde yataktaki beyaz metaldir. Beyaz metal çok yumuşak bir yapıya sahip olduğundan dolayı düşük sıcaklıklarda kolayca şekil değişikliğine uğrayabilmektedir. Keban HES üniteleri türbin kılavuz yataklarına ait beyaz metal şekil 3.46'da gösterilmektedir.

Ölçülen bazı değerlerin hassasiyetleri aşağıda verilmiştir.

- Sıcaklık ölçüm hassasiyeti = ± 0.173 °C
- Basınç ölçüm hassasiyeti = ± 0.25 mmHg



Şekil 3.46.Keban HES üniteleri türbin kılavuz yataklarının beyaz metalleri

Keban HES türbin kılavuz yataklarının beyaz metalleri Sn %84-86, Sb %9,5-10, Cu %4,5-5,5, Pb %0,5 bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenlere sahip bir malzemenin yumuşama sıcaklığı 100 °C'dur[17]. Şekil 3.45'deki grafikte görüldüğü gibi soğutucu plaka sayısına göre min. yağ filmi kalınlığındaki yağ sıcaklığı 87 °C'lara çıkabilmektedir. Bu sıcaklıkta çalışan bir ünite kılavuz yatağındaki yağın normal çalışma şartlarından daha erken bozulması sakıncasının dışında en küçük bir soğutucu arızasında yağ sıcaklığı 100 °C'a çıkabilmekte ve buda yatakta büyük işçilik ve maliyet gerektiren hasarlara neden olabilmektedir. Bu hasarın önüne geçebilmek için üniteye sıcaklık algılama sinyalleri vardır. İlk sinyal sıcaklığın yükseldiğini haber verir, eğer sıcaklık yükselişi devam ederse ikinci sinyal devreye girer ve üniteyi devreden çıkarır. Elektrik üretimi yapan bir ünitenin devreden çıkışı ve soğutucudan kaynaklanan arızanın giderilmesi normal şartlarda arıza kayıtlarına göre ortalama 120 dakikadır. Ünitenin bu arızadan dolayı 120 dakika durmasının maliyeti aşağıda çıkarılmıştır.

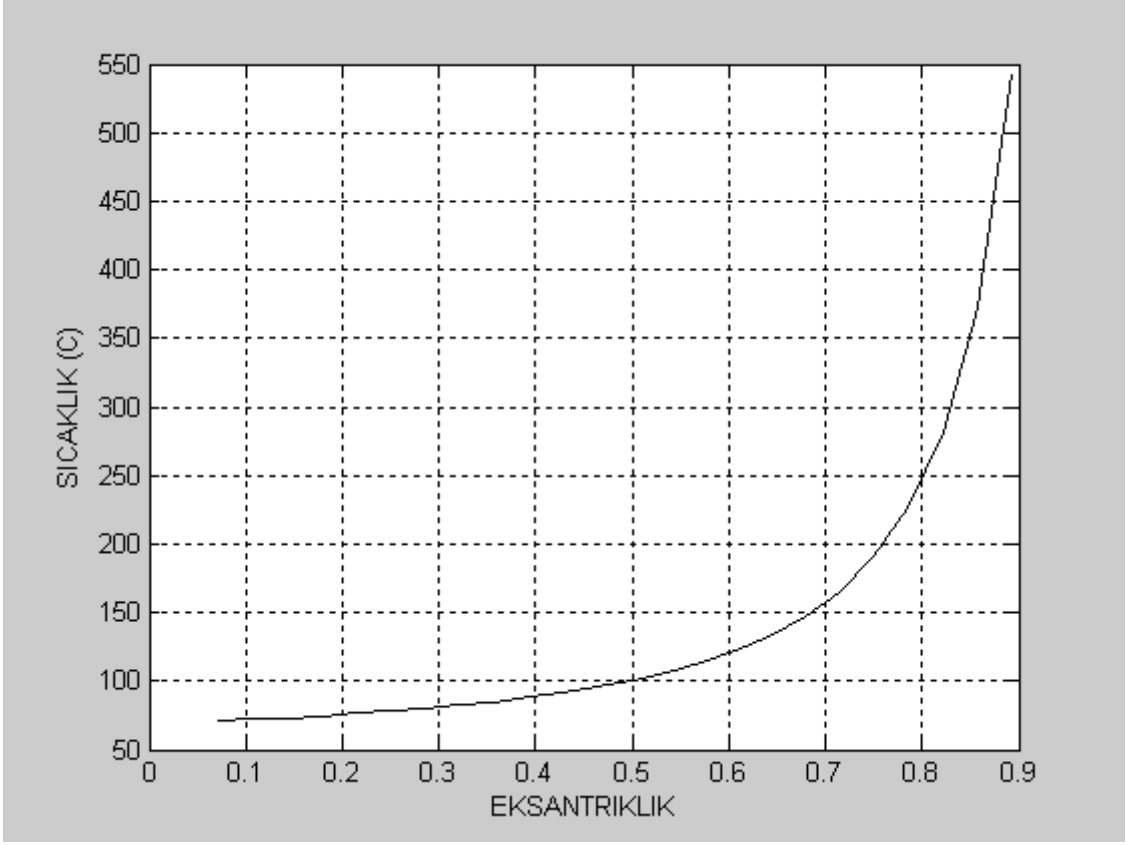
1 kWh. = 0,15 TL.

Ünitenin 155 MW'da 120 dakika çalışması = 310.000 kWh.

Ünitenin 120 dakika durmasının kuruma maliyeti = 310.000*0,15 = 46.500 TL.

Keban HES ünitelerinin soğutucu arızalarından dolayı plansız durma ihtimali çok yüksektir. Çünkü barajların çoğunda Zebra Midyesi olarak adlandırılan bir midye türü bulunmaktadır. Bu midye türü hidroelektrik santrallerine birçok zararlar verebilmektedir. Özellikle soğutucu eşanjörlerin girişini kapatarak gelen su geçişini engelleyerek ünitelerde soğutucu arızalarına neden olmaktadır. Bu midyeleri filitreleme yoluyla engellemek mümkün olmamaktadır çünkü filtreden geçtikten sonra üreyebilmektedirler. Bu tür nedenlerden dolayı herhangi bir soğutucu arızasında üniteyi devreden çıkarmadan arızayı giderebilmek büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışma sayesinde bu imkan sağlanmış olup kuruma büyük bir katkı sağlanmıştır.

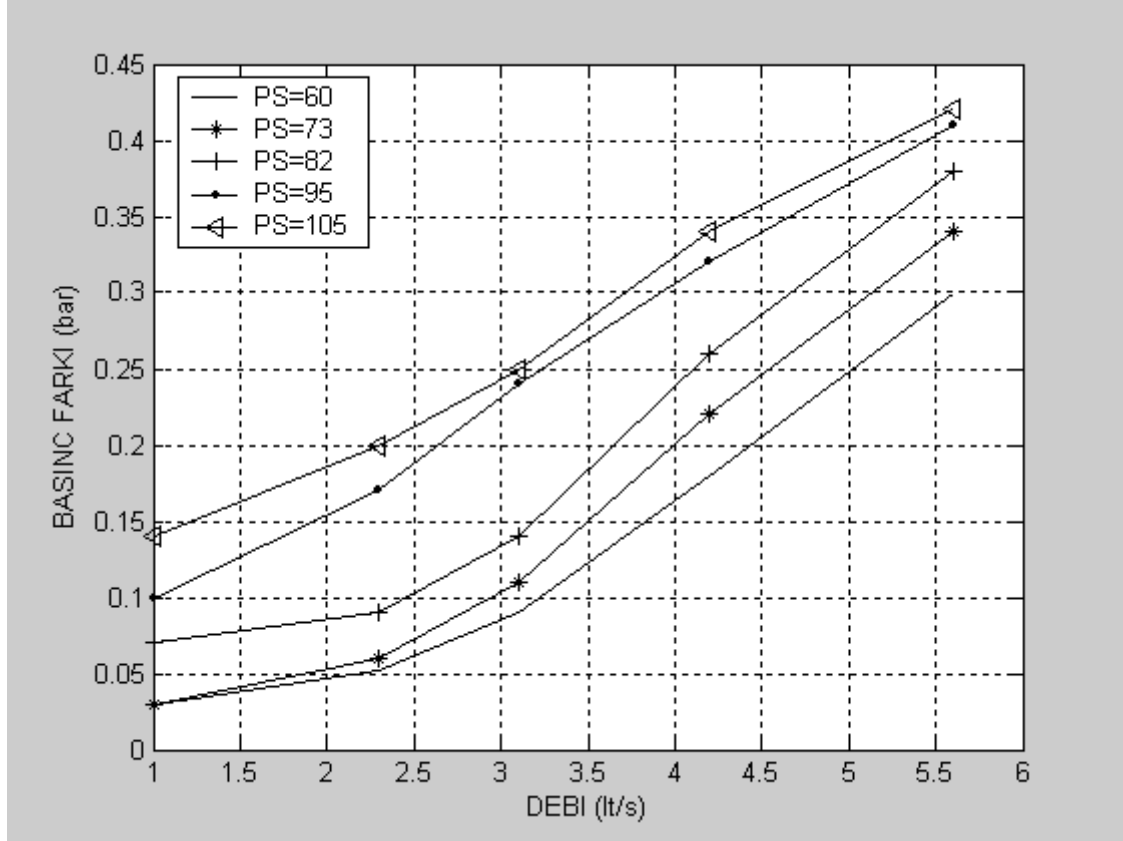
Şekil 3.47'deki grafikte yatağa giriş sıcaklığı sabit kabul edilerek eksantriklik oranı ile yatak çıkış sıcaklığı arasında bir grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiğe göre yatağın maksimum çalışma şartları belirlenmiştir.



Şekil 3.47.Kılavuz yatakta oluşan maxsimum sıcaklığın eksantriklik oranına göre değişimi

Şekil 3.47’de görülen grafiğe göre eksantriklik oranı 0,5 değerini aştıkça grafiğin eğimi daha fazla artmaktadır ve yağ sıcaklığı için tehlikeli sınır aşılmaktadır. Eksantriklik oranı 1’e yaklaştıkça yatak yağının çıkış sıcaklığı da sonsuza gitmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında eksantriklik oranının, Keban HES 5, 6, 7 ve 8 nolu üniteleri için 0,5’in üzerine çıkmaması gerektiği görülmektedir.

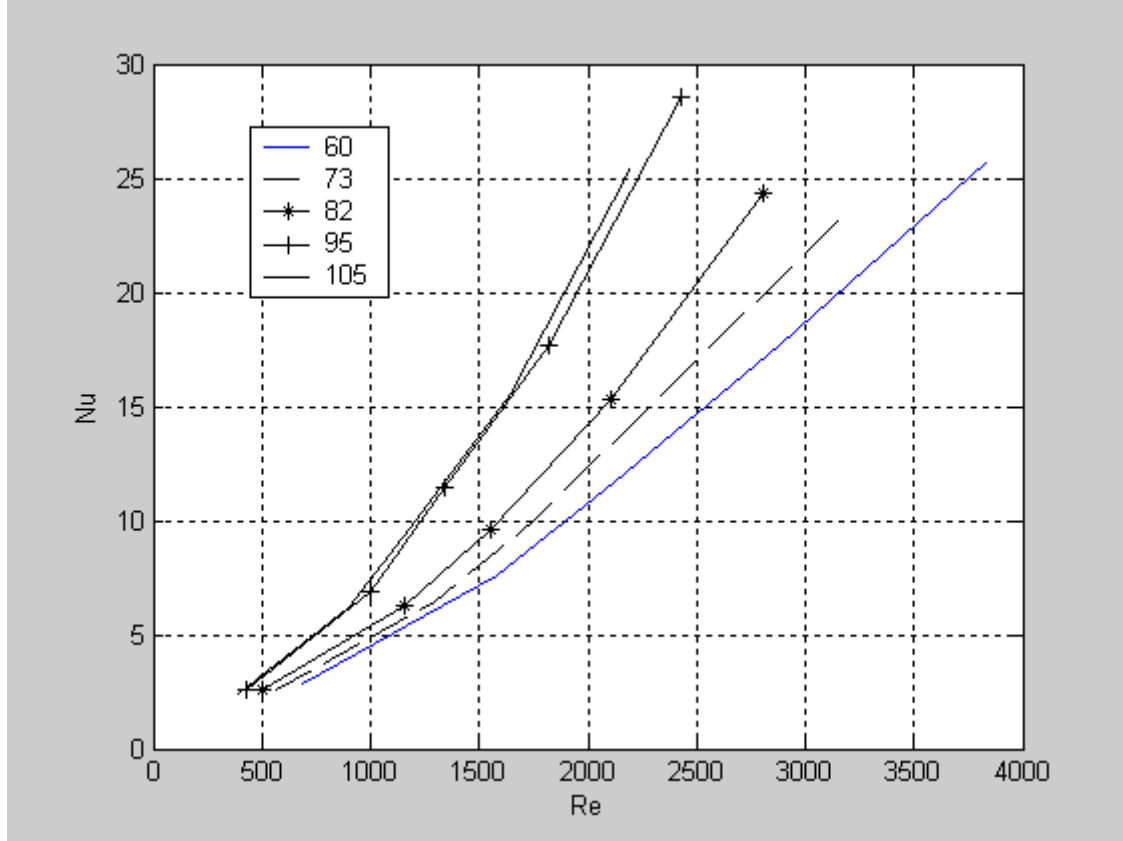
Şekil 3.48’de plakalı eşanjörün 60, 73, 82, 95, 105 plaka sayılarında ve her plaka sayısı için 1 - 2,3 - 3,1 - 4,2 - 5,6 lt/s soğutma suyu debilerinde soğutma suyunun giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı ölçülmüş ve grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.48. Değişik soğutma suyu debilerinde plakalı eşanjördeki basınç farkı

Şekil 3.48’de görüldüğü gibi plakalı eşanjörün plaka sayısı ve soğutma suyu debisi arttıkça eşanjöre giriş ile çıkış arasındaki basınç farkı artmaktadır.

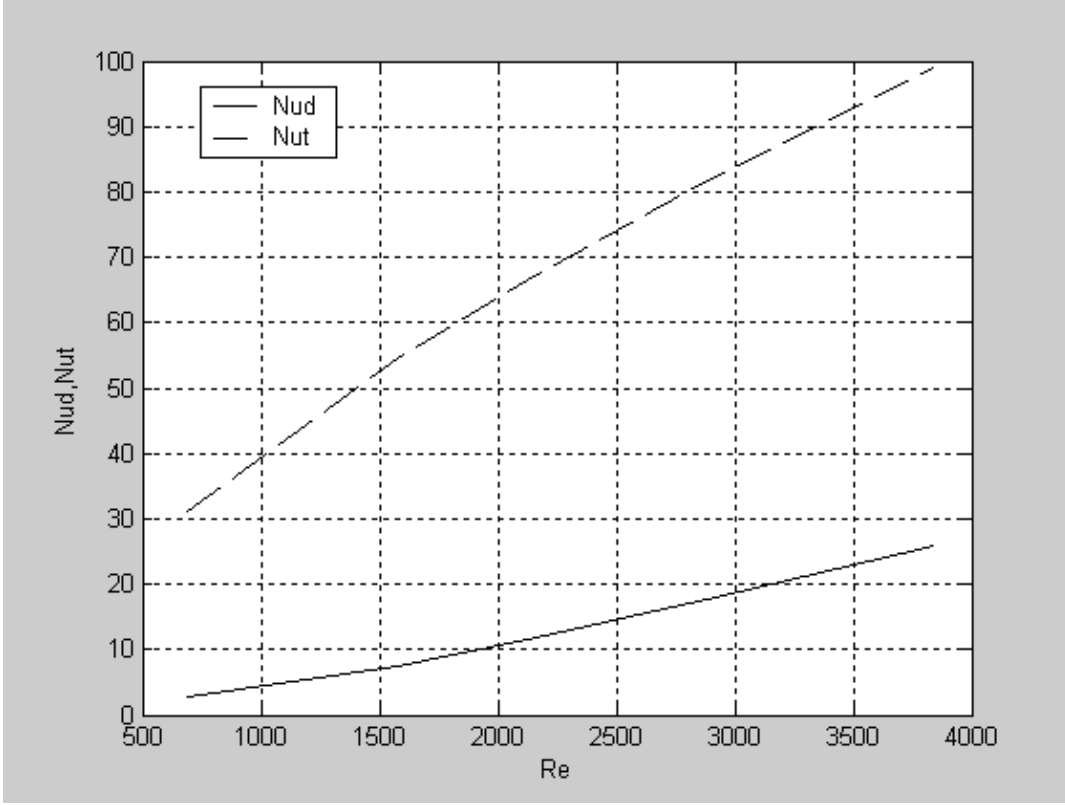
Şekil 3.49’da plakalı eşanjörün 60, 73, 82, 95 ve 105 plaka sayıları için farklı Reynolds sayılarına göre elde edilen Nusselt sayıları görülmektedir.



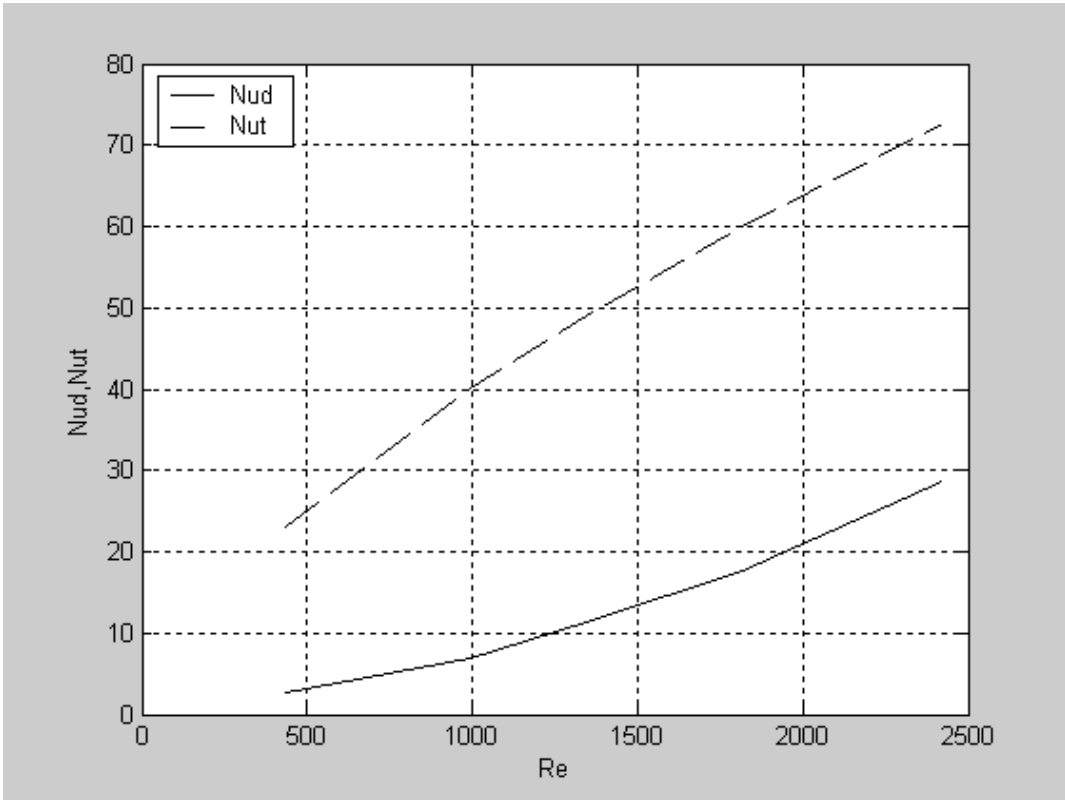
Şekil 3.49. Plakalı eşanjörün farklı plaka sayıları ve farklı soğutma suyu debilerinde Re-Nu grafiği

Şekil 3.49’daki grafikte görüldüğü gibi Reynolds sayısına göre Nusselt sayısı, plakalı eşanjörün plaka sayısı arttıkça artmaktadır.

Şekil 3.50 ve 3.51’de plakalı eşanjörün 60 ve 95 plaka sayılarında Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre deneysel ve teorik olarak hesaplanması görülmektedir.



Şekil 3.50. Plakalı eşanjörün 60 adet plakada Nu deneysel ve Nu teorik arasındaki ilişki



Şekil 3.51. Plakalı eşanjörün 95 adet plaka sayısında Nu deneysel ve Nu teorik arasındaki ilişki

4.SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hidrodinamik radyal kaymalı yatakların Keban Hidroelektrik santralindeki türbin kılavuz yataklarına uygulanışı ve çalışma şartları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda türbin kılavuz yataklara gelen bileşke kuvvet, sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı, kılavuz yataktan geçen yağ debisi, iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi ve min. yağ filmi kalınlığında oluşan yağ sıcaklığı deneysel yöntemlerle tespit edilmiştir. Bu hesaplamaları yaparken MATLAB’da bir bilgisayar programı hazırlanmış ve böylece çok çeşitli ölçü ve şartlarda çalışan kaymalı yataklarda bu hesaplamalar kolaylıkla elde edilebilir hale getirilmiştir. Kılavuz yataklarda bahsedilen değerleri tespit etmenin amacı yatağın ne kadar sıcaklığa ulaşabileceğini gerçek çalışma şartlarında görebilmektir. Çünkü kılavuz yatağa sıvanmış olan beyaz metal, yapısından dolayı çok hassas şartlara sahiptir ve yağın ömrü büyük bir ölçüde çalışma sıcaklığına bağlıdır. Bu gibi nedenlerle kılavuz yatakta çalışan yağın gerçek şartlardaki sıcaklığını bilmek ve yağın sıcaklığını istenilen ölçülere düşürebilmek için bazı deneyler yapılarak amaca uygun sonuçlar elde edilmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Bu grafiklerde Keban HES 6 ve 8 ünitelerindeki maksimum eksantriklik oranı belirlenmiştir. Ayrıca yağın sıcaklığını mümkün olan en alt seviyeye düşürdükten sonra elde edilen avantajlar izlenmiş ve önceki durumda herhangi bir soğutucu arızası olduğunda üniteyi devre dışı bırakmadan müdahale edilemezken yeni durumda soğutucu arızasını giderecek kadar zamanın üniteyi durdurmadan elde edildiği görülmüştür. Buda kılavuz yatak yağ sıcaklığını 7 °C civarında düşürdüğümüz için 70 dakika gibi bir süre gecikmeli soğuduğundan kaynaklanmaktadır. Bu değerler elde edilirken kılavuz yatak yağı plakalı eşanjör ile soğutulmuş, plakalı eşanjörün optimum plaka sayısında en iyi soğutma şekli tespit edilerek Nu-Re arasındaki grafiklerle bu deney desteklenmiştir.

5.ÖNERİLER

Gelişmekte olan ülkelerde elektrik talebi ile ekonomik büyüme arasındaki güçlü ilişki, gelişmiş ülkelerde daha zayıftır. Gelişmekte olan ülkelerde elektrik kullanımı uluslararası standartların oldukça gerisinde kalmakla birlikte, bu ülkelerdeki sanayileşme çabaları, gelirin artması ve elektrikli ev aletlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla elektriğe olan talep artmıştır. Son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede ekonomik gelişme ile enerji kullanımı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için hesaplanan esneklik katsayısı özellikle gelişmekte olan ülkeler için 1'e yakın değerler taşımaktadır. Esneklik katsayısının 1 olması, ekonomide yüzde 1'lik büyüme durumunda genel enerji talebinin de yüzde 1 oranında artacağı anlamına gelmektedir. Bunların yanında elektriğin temiz ve çevreye en az zararlı kaynaklarla üretilmesi şarttır. Hidroelektrik santraller bu açıdan önem arz etmektedir. Hidroelektrik santrallerin daha verimli hale getirilmesi akademik çalışmalarla mümkün olabilmektedir. Hidroelektrik santrallerin her bölümü ayrı bir akademik çalışma olabilir ve bu çalışmalar sonucunda ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Uzuner, F.,Gediktaş, M.**, 2004. Salınım Hareketi Yapan Radyal Kaymalı Plastik Yataklarda Sürtünme, İ.T.Ü dergisi, **3**, 91-98
- [2] **Ünlü, B.S.,Atik,E.**, 2005. Kalay-Kurşun Esaslı Yataklardaki Alaşım elementlerinin Aşınmaya Etkisi, Makine teknolojileri elektronik dergisi,1, 1-5
- [3] **Ünlü, B.S.,Yılmaz, S.S.,Varol, R.** 2005. T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Makine teknolojileri elektronik dergisi, **2**, 31-37
- [4] **Ünlü, B.S.**, 2003. Bakır esaslı bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik dergisi, **5**, 103-108
- [5] **Kurbanoğlu, C.,Durak, E.,Tunay, R.F.,Karaaslan, R.**, 2001. Değişken Yüklü T/M Esaslı Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir
- [6] **Durak, E.,Duran, F.,Bedir, F.,Delikanlı, K.**, 2003. Kaymalı Yataklardaki Hasarlar ve Yağlama, TMMOB İş Makinaları Sempozyumu ve Sergisi, 108-126
- [7] **Ünlü, B.S.**, 2002. Oil Film Pressure and Temperature Distributions Of 4-Lobe Pericycloid Journal Bearing, 4.İnternational conference On Tribology, 268-275
- [8] **Çuvalcı, H.**, 2001. Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi, TÜBİTAK, **25**, 199-204
- [9] **Duran, F.**, 2004. Kendinden yağlamalı yatakların yorulma ve tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- [10] **Solmaz, E.,Öztürk, F.**, 2002. Dairesel Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yatakların Yatak Katsayısı açısından İncelenmesi, 10. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi ,1-10
- [11] **Glavatskih, S.B.**, 2004. A method of temperature monitoring in fluid film bearings, Tribology International , 143-148
- [12] **Dadouche, A., Fillon, M., Bligoud, J.C.**, 2000. Experiments on thermal effects in a hydrodynamic thrust bearing, Tribology International, **33**, 268-275
- [13] **Ünsal, U.**, 1993. Dairesel cepli hidrostataik yataklarda kayma yüzeyindeki sıcaklık dağılımının teorik ve deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Makine Anabilimdalı, Kayseri.
- [14] **Kurban, A.O.,Koç, E.**, 1991. Hidrodinamik eksenel kaymalı yataklarda tasarım büyüklükleri ve sistem performansına etkileri, Erciyes fen bilimleri dergisi, **7**, 1064-1074
- [15] **Başeşme, H.**, 2003. Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri, Ankara
- [16] **Stolarski, T.A.**, 2000. Tribology in machine design, Britain
- [17] **Kılıç, B.**, 2008. Plakalı Isı Eşanjörlerinin Isıtma ve Soğutma Uygulamaları İçin Optimum Çalışma Şartlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitim Anabilim Dalı, Isparta.
- [18] **Akkurt, M.**, 1990. Makine Elemanları cilt 1, İstanbul
- [19] **Stachowiak, G.W.**, 2001. Engineering Tribology, United States of America
- [20] **Argunhan, Z., Yıldız, C.**, 2005. Isı Değiştirgeçlerinde Farklı Delik Çaplı Girdap Tip

akış Üreticilerinin Isı Transferine ve Basınç Düşüşüne Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.

- [21] **Greg, F.N.**, 2003. Heat transfer in single and multiphase systems, CRC Press
- [22] **Güven, A.K.**, 2001. Hidrolik Yağların Ana Fonksiyonları ve Hidrolik Yağ Seçimi,II. Ulusal Hidrolik Pnوماتik Kongresi ve Sergisi, 133-146
- [23] **Genceli, F.O.**, 1999. Isı Değiştirgeçleri, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

İlk orta ve lise eğitimimi Elazığ'da tamamladım. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünden 2003 yılında mezun oldum. Yüksek lisansımı 2005 yılında güneş enerjisi takviyeli ısıtma sistemleri üzerine yaptım. Şu anda E.Ü.A.Ş. Keban HES işletme müdürlüğünde Makine Bakım Mühendisi olarak çalışmaktayım.

