

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**15 MW BİR BUHAR TÜRBİNİ İÇİN PERİYODİK
BAKIMLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

İBRAHİM ŞEN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

15 MW BİR BUHAR TÜRBİNİ İÇİN PERİYODİK
BAKIMLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

İBRAHİM ŞEN

Prof. Dr. Halil İbrahim SARAÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Cenk ÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İsmet TIKIZ
Jüri Üyesi, Kırklareli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2019



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Endüstriyel tesislerin kesintisiz çalışabilmesi için en önemli olan girdi şüphesiz enerjidir. Enerjinin çok önemli olduğu günümüzde bilimsel çalışmalar büyük bir oranda enerji üzerine yapılmaktadır.

Yapılacak çalışmada atık ısı geri kazanım tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbininin yaklaşık 6 yıllık bir süreci içeren periyodik bakımlarının yapılması sonrasındaki verimlilik analizi ele alınmıştır. Bu çalışmada buhar türbini için B tipi ve C tipi bakımlarda yapılan mekanik bakımların detaylı anlatılması ve periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi araştırılacaktır.

Bu çalışma ile B tipi ve C tipi bakım kapsamaları belirtilip ve verimlilik analizi yapılarak bu sektörde çalışan veya çalışmayı düşünen mühendislere/teknik personellere bir rehber olması amaçlanmıştır.

Bu konu üzerine çalışmak için bana fırsat veren değerli hocam Prof. Dr. Halil İbrahim Saraç'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteğini hep yanımda hissettiğim değerli aileme, özellikle eşime sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran - 2019

İbrahim ŞEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. BUHAR TÜRBİNLERİ	6
1.1. Buhar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	6
1.1.1. Aksiyon(impuls) türbinleri.....	6
1.1.1.1. De-laval türbini	7
1.1.1.2. Curtis türbini	7
1.1.2. Reaksiyon türbinleri	8
1.1.3. Buhar türbini elemanları	11
1.1.3.1. Rotor	11
1.1.3.2. Gövde.....	12
1.1.3.3. Sabit kanat taşıyıcıları.....	14
1.1.3.4. İç gövde (Blade carrier)	14
1.1.3.5. Diyaframlar	15
1.1.3.6. Sızdırmazlık sistemi.....	16
1.1.3.7. Boğaz karbonları	16
1.1.3.8. Labirentler.....	18
1.1.3.9. Gland sistemi	18
1.1.3.10. Türbin kontrolü	19
1.1.3.11. Yataklar	23
1.2. Kritik Devir.....	26
1.3. Yükün Performansa Etkisi	29
2. BUHAR TÜRBİNİNDEKİ PERİYODİK BAKIM ÇALIŞMALARI	32
2.1. Buhar Türbininde B Tipi Bakım (Minor Inspection).....	32
2.2. Buhar Türbini C Tipi Bakım (Major Inspection/Overhaul).....	33
2.3. Buhar Türbininde Bakım Öncesi Yapılması Gereken Testler	34
2.4. Buhar Türbini B Tipi(Minor) Ve C Tipi (Major) Bakım Kapsamları	34
2.4.1. Kaplin kontrolü	34
2.4.2. Eksenel gezinti ve rotor eksenel pozisyonun kontrolü.....	35
2.4.2.1. Eksenel gezintinin ölçülmesi	35
2.4.2.2. Rotor pozisyonu	36
2.4.3. Pinch ve radyal yatak klerans kontrolü	36
2.4.3.1. Pinch kontrolü.....	36
2.4.3.2. Radyal yatak klerans kontrolü	37
2.4.3.3. Yatakların kontrolü	37
2.4.4. Yağ labirenti kontrolü	39
2.4.5. Labirentlerin kontrolü	40

2.4.6.	Gövde ve diyafram / blade carrier kontrolü	41
2.4.6.1.	Gövde kontrolü	41
2.4.6.2.	Diyafram kontrolü.....	43
2.4.6.3.	Blade carrier kontrolleri	45
2.4.7.	Rotor kontrolü	46
2.4.7.1.	Rotor klerans ölçülmesi	49
2.4.7.2.	Döner kanatlar ile sabit kanatlar arası klerans ölçümü	49
2.4.7.3.	Nozul ile 1. kademe döner kanatlar arası klerans ölçümü	50
2.4.7.4.	Radyal yatak ve yağ labirent kleranslarının ölçümü.....	51
2.4.7.5.	Balans dramı labirent kleranslarının ölçümü	51
2.4.7.6.	Kademeler arası steam labirenti klerans ölçümü	52
2.4.8.	Trip vanası kontrolü	52
2.4.9.	Kontrol vanası kontrolü.....	54
2.4.10.	Yağlama sistemi kontrolleri	56
2.4.11.	Balans.....	56
3.	MALZEME VE YÖNTEM.....	57
3.1.	Buhar Türbini.....	57
3.1.1.	B tipi (minör) 15.000 çalışma saati bakım çalışmaları	58
3.1.1.1.	Yatakların kontrolü ve bakımı	58
3.1.1.2.	Trip (ESV) ve kontrol (Governor) vanaların kontrolü ve bakımı.....	60
3.1.1.3.	Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları.....	61
3.1.1.4.	Devreye alma çalışmaları.....	63
3.1.2.	B tipi (minör) 30.000 çalışma saati bakım çalışmaları	64
3.1.2.1.	Yatakların kontrolü ve bakımı	64
3.1.2.2.	Trip (ESV) ve kontrol (Governor) vanaların kontrolü ve bakımı.....	66
3.1.2.3.	Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları.....	67
3.1.2.4.	Devreye alma çalışmaları.....	71
3.1.3.	B tipi (minör) 55.000 çalışma saati bakım çalışmaları	72
3.1.3.1.	Yatakların kontrolü ve bakımı	72
3.1.3.2.	Trip (ESV) ve kontrol (Governor) vanaların kontrolü ve bakımı.....	74
3.1.3.3.	Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları.....	75
3.1.3.4.	Devreye alma çalışmaları.....	78
3.2.	İdeal Rankine Çevrimi	79
3.3.	Buhar Türbini Birinci Kanun Analizi	81
3.3.1.	Türbin birinci kanun analizi	81
3.3.1.1.	Kütlenin korunumu	82
3.3.1.2.	Enerjinin korunumu	82
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	83
4.1.	Buhar Türbininde Kullanılan Akışkanın Termodinamik Denklemleri.....	83
4.2.	Buhar Türbininin Termodinamiğin Birinci Kanunu Analizi	83
4.2.1.	B tipi (Minör) 15.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi.....	84

4.2.2. B tipi (Minör) 30.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi.....	85
4.2.3. B tipi (Minör) 55.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi.....	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	92
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	94
ÖZGEÇMİŞ	95



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Düşük basınç (LP) türbin rotoru	12
Şekil 1.2.	Yüksek basınç (HP) ve orta basınç (IP) türbin rotorları	12
Şekil 1.3.	Türbin gövdesi	13
Şekil 1.4.	Türbin üst gövdesi	14
Şekil 1.5.	İç gövde.....	15
Şekil 1.6.	Diyaframlar	16
Şekil 1.7.	Kontrol ve trip vanaları.....	20
Şekil 1.8.	Buharın türbin kademelerinden akış profili	30
Şekil 1.9.	Mollier diyagramı yardımıyla türbin yüküne bağlı olarak türbin çıkışı ve hızın değişimi	30
Şekil 1.10.	Normal işletme ve kademelerin düşük yüklerde yeterince beslenememesi durumunda kanatlardan geçen buharın akış profili	31
Şekil 2.1.	Buhar türbini B tipi bakım çalışmaları	33
Şekil 2.2.	Buhar türbini C tipi bakım çalışmaları-1	33
Şekil 2.3.	Buhar türbini C tipi bakım çalışmaları-2	34
Şekil 2.4.	Thrust yatak klerens gösterimi.....	35
Şekil 2.5.	Yatak ile hamil arası klerens ölçümü.....	37
Şekil 2.6.	Türbin yatağı dye-penetrant uygulaması	38
Şekil 2.7.	Thrust aynası run out ölçümü	39
Şekil 2.8.	Yağ labirenti	39
Şekil 2.9.	Labirent demontajı	40
Şekil 2.10.	Boğaz labirenti klerans ölçümü	40
Şekil 2.11.	Yeni montajı yapılmış olan labirentler	41
Şekil 2.12.	Boğaz labirenti klerans kontrolü.....	41
Şekil 2.13.	Üst gövde kapağının demontajı	42
Şekil 2.14.	Diyaframların demontajı.....	44
Şekil 2.15.	Diyaframın gövdeye göre pozisyonunun ölçülmesi	44
Şekil 2.16.	Blade carrier.....	46
Şekil 2.17.	Rotorun demontajı	46
Şekil 2.18.	Rotorun desteklere montajı.....	47
Şekil 2.19.	Rotorun kumlama öncesi görünümü.....	47
Şekil 2.20.	Rotorun kumlama çalışmaları	48
Şekil 2.21.	Rotor montaj çalışmaları.....	49
Şekil 2.22.	Rotor kleransları	49
Şekil 2.23.	U kleransın ölçülmesi	50
Şekil 2.24.	Nozul ile 1. kademe döner kanat arası klerans ve 1. kademe u ölçüsü.....	50
Şekil 2.25.	Radyal yatak ve yağ labirent kleranslarının ölçümü.....	51
Şekil 2.26.	Balans dram seal kleransları	51
Şekil 2.27.	Orta buhar sızdırmazlık ring klerans ölçümü	52
Şekil 2.28.	Trip vanası demontajı	52
Şekil 2.29.	Stem run-out ölçümü	53
Şekil 2.30.	Hidrolik trip vanası kontrol noktaları	53

Şekil 2.31.	Popet tipi kontrol vanası referans kontrol noktaları.....	54
Şekil 2.32.	Kontrol vanası demontajı.....	55
Şekil 2.33.	Dye check (Penetrant test)	55
Şekil 3.1.	Bakımı yapılan buhar türbininin genel görünümü	57
Şekil 3.2.	(1) nolu ve (4) nolu yatakların demontajı	59
Şekil 3.3.	(4) nolu yatakta tespit edilen çatlaklar ve 1 nolu yatağın üst keş PT uygulaması	59
Şekil 3.4.	(1) nolu yatağa ait alt keş PT uygulaması	59
Şekil 3.5.	(2) nolu ve (3) nolu yatağa ait üst keşlere PT uygulaması	59
Şekil 3.6.	1 nolu ve 4 nolu yatakların montajı ve alıştırmaya işlemleri	60
Şekil 3.7.	Trip vanalarının demontajı ve sızdırmazlık elemanlarının değişimi.....	60
Şekil 3.8.	Trip vanalarının yerine montajı ve kontrollerinin yapılması	60
Şekil 3.9.	Kondenser temizliğinin su jeti yardımıyla yapılması	61
Şekil 3.10.	Vakum sistemine ait pompaların bakımları	61
Şekil 3.11.	Türbin yağlama sisteminin bakım çalışmaları	62
Şekil 3.12.	Virör sisteminin bakımı	62
Şekil 3.13.	Generatör soğutma sisteminin bakımı	62
Şekil 3.14.	İkaz trafosu ve fırçaların bakımı.....	62
Şekil 3.15.	Generatör Megger testlerinin yapılması	63
Şekil 3.16.	(4) nolu yatağın demontajı ve yağ film boşluklarının açılması	63
Şekil 3.17.	Türbin ve generatör yataklarının demontajı.....	65
Şekil 3.18.	Türbin ve generatör yataklarının PT uygulaması	66
Şekil 3.19.	Thrust ped yataklarının montajı	66
Şekil 3.20.	Trip (ESV) vanasının demontajı	67
Şekil 3.21.	Trip (ESV) vanası PT uygulamaları	67
Şekil 3.22.	Trip (ESV) vanasının baskı yüzeylerinin testi ve montajı.....	67
Şekil 3.23.	Vakum sisteminin bakımı	70
Şekil 3.24.	Kondenser sisteminin bakımı.....	70
Şekil 3.25.	Generatör soğutucularının bakımı	70
Şekil 3.26.	Yağlama sisteminin bakımı	70
Şekil 3.27.	Virör sisteminin bakımı	71
Şekil 3.28.	Buhar türbini devreye alma çalışmaları	71
Şekil 3.29.	(4) nolu yatağın demontajı.....	73
Şekil 3.30.	Türbin yataklarında PT uygulamaları-1	73
Şekil 3.31.	Türbin yataklarında PT uygulamaları-2.....	74
Şekil 3.32.	Türbin yataklarının montaj çalışmaları.....	74
Şekil 3.33.	Kontrol vanası bakım çalışmaları	75
Şekil 3.34.	Generatör soğutma sistemi bakımı	77
Şekil 3.35.	Türbin yağlama sistemi bakımı.....	77
Şekil 3.36.	Generatör ikaz sistemi bakımı	77
Şekil 3.37.	Soğutma kulesi havuz temizliği	77
Şekil 3.38.	Virör sistemi bakımı	78
Şekil 3.39.	Kondenser temizliği.....	78
Şekil 3.40.	Türbin devreye alma çalışmaları.....	79
Şekil 3.41.	Basit ideal rankine çevrim şeması	79
Şekil 3.42.	İdeal rankine çevriminin T-s diyagramı.....	80
Şekil 3.43.	Türbine giren – çıkan buharın ve üretilen mil işinin gösterimi	81

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	Buhar türbinin teknik özellikleri.....	57
Tablo 3.2.	Amaç ve zaman - 15.000 çalışma saati.....	58
Tablo 3.3.	Amaç ve zaman - 30.000 çalışma saati.....	64
Tablo 3.4.	Amaç ve zaman - 55.000 çalışma saati.....	72
Tablo 4.1.	Türbine giren buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım öncesinde	84
Tablo 4.2.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım öncesinde	84
Tablo 4.3.	Türbine giren buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım sonrasında	85
Tablo 4.4.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım sonrasında	85
Tablo 4.5.	Türbine giren buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım öncesinde	86
Tablo 4.6.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım öncesinde	86
Tablo 4.7.	Türbine giren buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım sonrasında	87
Tablo 4.8.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım sonrasında	87
Tablo 4.9.	Türbine giren buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım öncesinde	88
Tablo 4.10.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım öncesinde	88
Tablo 4.11.	Türbine giren buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım sonrasında	88
Tablo 4.12.	Türbinden çıkan buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım sonrasında	89
Tablo 5.1.	Türbin verimi – 15.000 çalışma saati bakımı	90
Tablo 5.2.	Türbin verimi – 30.000 çalışma saati bakımı	90
Tablo 5.3.	Türbin verimi – 55.000 çalışma saati bakımı	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B tipi	: Buhar türbini minör bakımı
C tipi	: Buhar türbini major bakımı
F	: Kuvvet, (N)
g	: Yerçekimi, (m/s ²)
h	: Entalpi, (kJ/kg)
m	: Kütle, (kg)
n	: Motor devri, (dev/dk)
Oil whirl	: Yağ filmi
Overspeed	: Aşırı hız
P	: Basınç, (MPa)
Q	: Isı geçişi, (kJ/kg)
s	: Entropi, (mm)
Shroud	: Türbin kanadının ucundaki bandaj
T	: Sıcaklık, (°C)
t	: Zaman, (sn)
Thrust	: Buhar türbini sabit kabul edilen taraf
W _T	: Türbinden üretilen mekanik (teknik) iş, (kW)
η _T	: Türbin izantropik verimi

Kısaltmalar

API	: American Petroleum Institute (Amerikan Petrol Enstitüsü)
ASME	: The American Society of Mechanical Engineers (Amerikan Makine Mühendisleri Topluluğu)
ESV	: Emergency Shut-Off Valve (Acil Kapama Vanası)
HP	: Steam Turbine High Pressure Stage (Buhar Türbini Yüksek Basınç Kademesi)
IP	: Steam Turbine Intermediate Pressure Stage (Buhar Türbini Orta Basınç Kademesi)
LP	: Steam Turbine Low Pressure Stage (Buhar Türbini Düşük Basınç Kademesi)
NDT	: Non-Destructive Testing (Tahribatsız Muayene)
OH	: Turbine Operation Hour (Türbin Çalışma Saati)
PT	: Penetrant Test
RPM	: Revolution Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)

15 MW BİR BUHAR TÜRBİNİ İÇİN PERİYODİK BAKIMLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı geri kazanım tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbini ele alınmış olup buhar türbinlerinde uygulanan periyodik bakımların B tipi ve C tipi olmak üzere mekanik bakım kapsamları detaylı olarak anlatılmıştır. Periyodik bakımların öncesinde ve sonrasındaki buhar türbini verimlilik hesapları yapılarak periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi incelenmiştir. Yaklaşık olarak 6 yıllık bir süreyi içeren buhar türbinleri üzerindeki mesleki tecrübe ve teknik kaynakların yardımı ile buhar türbinlerinin mekanik bakım kapsamları detaylı olarak anlatılmış ve verimlilik analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile buhar türbinlerinin kanatlarının dahi üretilmediği ülkemizde bu alandaki farkındalığı arttırmak ve var olan buhar türbinlerinin periyodik bakımlarının aksatılmadan yapılması ve bunun sonucunda işletme ömürlerinin mümkün olduğunca artırılması amacıyla mühendislere ve teknik personellere rehberlik ederek ülkemizin bu alandaki gelişimine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelime: B Tipi (Minör) Bakım, Buhar Türbini, C Tipi (Major) Bakım, Verimlilik.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PERIODICAL MAINTENANCE ON EFFICIENCY FOR 15 MW STEAM TURBINE

ABSTRACT

In this study, the 15 MW steam turbine at a waste heat power plant in a cement plant is discussed and the mechanical maintenance scopes of type B and C type of periodic maintenance applied in steam turbines are described in detail. Steam turbine efficiency calculations were made before and after periodical maintenance and the effect of periodic maintenance on efficiency was investigated. With the help of technical experience and technical resources on steam turbines, which have a period of approximately 6 years, the mechanical maintenance scope of steam turbines has been explained in detail and efficiency analysis has been done. With this study, it is aimed to increase the awareness of this area in our country where the steam turbines are not produced and to help the engineers and technical personnel to contribute to the development of our country in this field in order to increase the service life of the existing steam turbines without any hassle and consequently increase the operational life of the steam turbines.

Keyword: B-Inspection (Minor), Steam Turbine, C-Inspection (Major), Efficiency.

GİRİŞ

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı geri kazanım tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbini ele alınmış olup buhar türbinlerinde uygulanan periyodik bakımların B tipi ve C tipi olmak üzere mekanik bakım kapsamı detaylı olarak anlatılmıştır. Periyodik bakımların öncesinde ve sonrasındaki buhar türbini verimlilik hesapları yapılarak periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi incelenmiştir. Bu alanda yapılan benzer çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Çağdaş F., çalışmasında Kardemir A.Ş.'de bulunan, yakıt olarak demir çelik üretimi sırasında açığa çıkan atık gazlardan kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının yakıldığı gaz yakıtlı bir buhar kazanında enerji ve ekserji analizi yapılarak kazanın performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca buhar kazanı, ekserji maliyet hesabı ve eksergoekonomik açıdan ekonomik olarak analiz edilmiştir. Kazan açık sistem olarak tek bir ünite halinde ele alınmış ve buna göre enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Kazanın enerji ve ekserji analizi sonucunda, enerji veriminin % 91, ekserji veriminin ise %46 olduğu bulunmuştur. Enerji kaybının 6445,5 kW, ekserji yıkımının ise 21185,81 kW olduğu belirlenmiştir. Kazanın 11440,33 kW'lık iyileştirme potansiyeline sahip olduğu, kazandaki ekserji yıkımının kazanda kullanılan yakıt oranının ise 0,54 olduğu tespit edilmiştir. Kazanda üretilen buharın ekserji maliyeti 7,33 \$/h, eksergoekonomik faktörü ise 0,992 olarak bulunmuştur [1].

Bayram K., çalışmasında ülkemizde doğalgaz kombine çevrim santrallerine öncülük eden santrallerden olan Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin tarihi ve kuruluş süreçleri ve kullanılan gaz türbinlerinin teknik verileri gibi konulardan bahsedilmiştir. Hamitabat Termik Santrali 1200 MW Kurulu gücü sayesinde ülkemizin enerji arzında önemli bir yer tutmaktadır. Sağladığı istihdam ve yetiştirdiği personel ile yurt içinde çeşitli bakım faaliyetlerinde yer alarak bu sektörde öncü kurumların başında gelmektedir. Bu çalışmada kombine çevrim santralindeki gaz türbini elemanları tanıtılacaktır. Yapılan bakım işlemlerinde ana amacı oluşturan parçaların durumunu tespit etmeye yönelik çalışmalara değinilmiştir. Son yıllarda artan enerji talebiyle birlikte güç santrallerinde verimin yanı sıra bu verimin

kullanılabilirliği yani emre amadelik ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada ülkemizin enerji arzının büyük payını oluşturan doğalgaz kombine çevrim santrallerinde yapılan C Tipi Bakım çalışması incelenmiştir. Yapılan de-montaj ve montaj çalışmaları, incelenerek Hamitabat Kombine Çevrim Santralinde bulunan ALSTOM GT13D2 gaz türbinlerinde C Tipi Bakım çalışması süreci takip edilmiştir [2].

Serkan D., çalışmasında Bursa'da kurulu BOSEN enerji santrali üzerinde atık ısı kazanım tesisinden alınan gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Santralde her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak kayıp enerji ve ekserji değerleri belirlenmiştir. Ekserji kayıpları akış, yanma ve baca gazlarından olduğu düşünülmüştür. Her bir ünitenin enerji ve ekserji kayıpları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tesisteki toplam enerji kaybı 2538,84 kW ve toplam ekserji kaybı 17075,91 kW'tır. Tesis üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda en büyük enerji kaybı buhar türbininde (2781,4 kW), ekserji kaybı ise yine buhar türbininde (9034,87 kW) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre iyileştirme çalışmalarının türbinde yapılması gerekmektedir [3].

Andaç Y., çalışmasında Teknolojinin gelişmesiyle dünyada enerji ihtiyacının artması ve buna bağlı olarak sınırlı yakıt kaynaklarının her geçen gün azalması, enerjiyi daha verimli kullanan sistemler üzerinde çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. Bu çalışma enerjiyi yoğun olarak kullanan, kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisinin enerji, ekserji ve termoekonomik analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kâğıt üretim tesisinde enerji tüketimi bakımından yapılabilecek iyileştirme çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir [4].

Emin A., çalışmasında geleneksel ekserji analizi temelli yaklaşımlar, ısı sistemlerinin ve enerji dönüşüm sistemlerinin çözümlenmesi ve geliştirme olanaklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ancak, geleneksel ekserji analizi sonucu yapılan değerlendirmeler sistem bileşenleri arasındaki etkileşimleri dikkate almaz ve optimizasyon stratejilerini yanlış yönlendirebilir. Bu eksiklikleri ortadan kaldırmak için, ileri ekserji temelli analizler geliştirilmiştir. Bu tezde, Eskişehir'de kurulu olan bir doğal gaz yakıtlı elektrik üretim tesisi ve bir gaz-dizel motorlu trijenerasyon tesisi için ileri ekserji ve ileri eksergoekonomik analizler yapılmıştır. Elektrik üretim

tesisinin ekserji verimi 0,402, eksergoekonomik faktörü 0,279, toplam ekserji yok oluşu 78,242 MW dır. Elektrik üretim tesisi için ileri ekserji temel alınarak incelendiğinde, sistemin bileşenlerinin geliştirme potansiyelini düşük olduğu, ancak elektrik üretim sistemi için geliştirme önceliğinin öncelikle gaz türbinine ve yanma odasına verilmesi gerektiği görülmektedir. Geleneksel temelli ekserji analizine göre yapılan değerlendirmede ise önceliğin yanma odasından sonra hava kompresörüne sonrasında düşük basınç buhar türbini ve atık ısı kazanlarına verilmesi gerektiği söylenebilirdi. Trijenerasyon tesisi için ekserji verimi 0,354, eksergoekonomik faktörü 0,069 ve toplam ekserji yok oluşu 16,695 MW'dır. Trijenerasyon tesisi için ileri ekserji analizi temelli incelemeler sonucunda, sistemle bileşenleri arasında arasındaki etkileşimlerin kuvvetli olduğu görülür. Bu sistem için geliştirme potansiyellerinin yüksek olduğu belirlenmiştir ve trijenerasyon sistemi için geliştirme önceliğinin öncelikle turbo hava kompresörüne ve motora verilmesi gerektiği açıkça gözükmemektedir. Oysaki geleneksel temelli ekserji analizine göre değerlendirme yapıldığı da önceliğin motora verilmesi gerektiği söylenebilirdi [5].

Çağlar G., çalışmasında elektrik enerjisi üretiminde kullanılan doğalgazın payı gün geçtikçe artmaktadır. Buda Türkiye'yi enerji bakımından dış ülkelere bağımlı hale getirmektedir. Enerji ithalatını azaltmak için yerli kaynaklarımızın enerji ihtiyacını karşılamada kullanım oranının artırılması gerekmektedir. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarından linyit büyük ve önemli bir yere sahiptir. Her bölgemizde az çok linyit yatakları bulunmaktadır. Bu enerji kaynağımızı daha fazla değerlendirerek enerjide dışa bağımlılık azaltılabilecektir. Sahip olduğumuz linyit rezervlerinin büyük çoğunluğu, kalori değeri düşük olmasından dolayı termik santral yakıtı olarak kullanılmaktadır. Termik santraller fosil yakıtların kimyasal enerjisinden elektrik enerjisi elde eden sistemlerdir. Mevcut termik santrallere rehabilitasyon programları uygulanarak verimleri artırılmalı ve enerjide dışa bağımlılık azaltılmaya çalışılmalıdır. Bu çalışmada Türkiye'de faaliyette olan bir termik santralin 2. ünitesine enerji, ekserji ve termoeekonomik analiz yapılmıştır. Termik santralin ünitesinde belirlenen 46 düğüm noktasının termodinamik özellikleri EES programı ile belirlenmiş, bu belirlemelere göre her bir düğümün enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Sistemi oluşturan her ekipmanın faydalı güç, tersinir güç ve tersinmezlik miktarları tespit edilmiş, sistemin genel verimleri hesaplanmış ve yok

olan ekserji oranı belirlenerek eksergoekonomik faktörler çıkartılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler doğrultusunda sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiş ve düzeltme yapılabilecek ekipmanlar belirlenerek çözüm önerileri sunulmuştur [6].

Asım S. K., çalışmasında günümüzde hem dünyanın her yanına yayılmış irili ufaklı sanayi tesislerinin hem de gündelik hayatta insanların elektriğe bağımlılığının artmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Artan ihtiyaçların karşılanabilmesi ise ya daha büyük kapasiteli güç tesisleri yapılarak ya da mevcut tesislerin daha verimli hale getirilmesiyle mümkün olmaktadır. Güç üretim tesislerinin daha verimli çalıştırılabilmesi ise çalışma koşullarının tam olarak bilinebilmesine ve bu koşullar göz önünde bulundurularak yapılacak optimizasyonlara bağlıdır. Güç üreten tesislerin en önemli elemanlarından birisi olan buhar türbinlerinin dizayn koşulları belirli parametreler (giriş basınç ve sıcaklığı, güç ve debi miktarı, çıkış basıncı vb.) esas alınarak oluşturulur ve türbinin geometrisi, ölçüleri ve performansı bu değerlere göre hesaplanır. Dizayn koşullarında türbindeki kayıplar ve tersinmezlikler minimum, hız değerleri ve üretilen güç maksimumdur. Ancak, bir buhar türbini gerek talep edilen güç miktarının değişkenliği gerek türbin kayıpları gerekse sistemin diğer elemanlarından kaynaklanan kayıplardan dolayı dizayn şartlarında çoğu zaman çalışamaz yani daha düşük verimlerde çalışmak zorunda kalır. Bu çalışmada farklı yük koşullarında işletilen ve dizayn değerlerine sahip olduğumuz Çan Termik Santraline ait verilerden yola çıkılarak EES programında modellediğimiz sistemimizin hem termik verimi hem de türbin verimleri incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde tesisin yükü azaldıkça hem türbini hem de tesisin performans değerlerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Tezin geliştirilmesine yönelik olarak kısmi yüklerde enerji maliyeti, emisyon değerleri ve ekserji analizleri gibi konularda çalışmaların yapılması planlanmaktadır [7].

Ahmet Salih E., çalışmasında bir sanayi kuruluşuna ait pompalarda “enerji verimliliği” çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, mevcut sistemdeki başlıca tasarruf imkânları araştırılmış, her bir tasarruf alanı tek tek ele alınıp incelenmiştir. Bu amaçla her bir pompa için farklı işletme koşullarında ve maksimum yükte; akışkan debisi, basıncı ve sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca elektrik tahrikli pompalarda elektrik motorunun çektiği elektrik gücü ile buhar türbini tahrikli

pompalarda buhar giriş çıkış basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçüm verileri kullanılarak mevcut pompa, elektrik motoru ve buhar türbini verimleri hesap edilmiştir. Hesap sonuçları göz önüne alınarak her bir pompa, elektrik motoru ve buhar türbini için potansiyel tasarruf imkânları araştırılmıştır. Bunun sonucunda her bir sistemde yapılabilecek iyileştirmeler ve bu iyileştirmeler için gerekli yatırım miktarı belirlenmiş, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [8].

Hilmi Y., çalışmasında basit bir buhar santralinin termoekonomik analizini yapmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında belirli kabuller yapıp (sıcaklık, basınç, akışkan debisi, soğutma suyu debisi, soğutma suyu hızı, türbin verimi... vs.), bütün sistem elemanları ayrı ayrı ele alınmış ve ekserji analizleri yapıldıktan sonra termoekonomik analizleri yapılmıştır. Analiz kazan besleme suyu pompasından başlanarak sırası ile kondensere kadar yapılmıştır. Bazı durumlar göz ardı edilerek (sürtünme kayıpları, basınç kayıpları, kinetik ve potansiyel enerji... vb.) hesaplamalar yapılmıştır. Termoekonomik analizin yapılması için sistem elemanlarına termodinamiğin I. Ve II. Kanunları uygulanmıştır. Birinci kanun analizi 500 MW güç üretebilmek için farklı kazan sıcaklıklarında gerekli olan buhar debisi, pompa gücü, türbin gücü ve kazana verilmesi gereken ısı miktarı hesaplanmış, sistemde dolaşan buharın yoğuşması için kondenserden atılan ısı miktarı hesaplanmıştır. İkinci kanun analizinde pompa hariç her bir sistem elemanının tersinmezliği bulunmuş ve sistemin toplam tersinmezliği hesaplanarak en fazla tersinmezlik üreten eleman belirlenmiştir. Hesaplanan ekserjiler ve tersinmezlik ile ürün maliyeti hesaplanmıştır. Tersinmezlikler, üretilen ekserji miktarları ve ürün maliyeti hesaplamak için Matlab programında bir model hazırlanmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır [9].

1. BUHAR TÜRİNLERİ

Buhar Türbinlerinin Sınıflandırılması Buhar türbinleri, buhara yüklenen ısı enerjisini önce kinetik enerjiye daha sonra mekanik enerji işe çeviren ekipmanlardır. İş yapma kabiliyetleri buharın türbin girişinden çıkışına kadar olan ısı düşümüne bağlıdır. Ne kadar çok ısı düşümü olursa iş yapma kabiliyeti o kadar fazla olacaktır.

Proses sahalarında pompa, kompresör ve fanların çeviricisi olarak görev yaparlar veya bir jeneratörü çevirerek elektrik üretilmesini sağlarlar. Buhar türbinlerinin gücü, türbine giren buhar miktarının kontrolü ile sağlanır [10].

1.1. Buhar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Buhar türbinleri yapıları itibari ile aksiyon(impuls) türbinleri ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki ayrı yapıda sınıflandırılırlar. Reaksiyon türbinleri ile aksiyon türbinleri hemen hemen aynı işi yaparlar ancak reaksiyon türbinleri bazı yapısal farklılıklardan dolayı verimleri daha yüksek türbinlerdir. Her buhar türbini, ister aksiyon türbini, isterse reaksiyon türbini olsun, en bir veya daha fazla kademedan oluşabilmektedir. Bir kademe, bir sabit kanat ile bir döner kanadı temsil eder. Adlarından da anlaşılacağı gibi sabit kanatlar gövdeye, döner kanatlar ise rotora bağlıdır. Her kademe, tasarım esnasında belirlenen ısı düşümünü mekanik enerjiye çevireceği düşünülerek tasarlanmıştır [10].

1.1.1. Aksiyon(impuls) türbinleri

Aksiyon türbinleri kademe veya kademelerden oluşurlar ve her bir kademe, bir döner ve bir sabit kanattan ibarettir. Türbin içerisine giren buhar ilk kademeye ulaştığında önce birinci kademe sabit kanattan(nozul) geçerek buharın kinetik enerjisi arttırılır. Kinetik enerjisi artan buhar döner kanada girerek mekanik iş elde edilir. Daha sonra buhar diğer kademeler varsa oralardan da geçer ve bu kademelerde de taşıdığı enerji mekanik işe dönüştürüldükten sonra türbin çıkışına gelir [10].

1.1.1.1. De-laval türbini

De-laval türbinleri, türbin girişinde buharın hızını arttıran ve 1. Kademe döner kanadı yönlendiren nozullar ile 1. Kademe döner kanattan oluşurlar. Döner kanattan çıkan buhar türbin çıkışına gelir. De-laval türbinlerinde basınç düşümü sadece nozullarda işlenmektedir. Bu yüzden De-laval türbinleri aynı zamanda tek kademeli bir curtis türbinidir. Yüksek güçler elde etmek için buhar yükünün arttırılması gereklidir. Ancak basıncın tek kademede işlenmesi sonucu çok yüksek hızlara ulaşılması gerektiğinden aksiyon veya reaksiyon türbinleri ile entegre halinde tasarlanmıştır [10].

1.1.1.2. Curtis türbini

Curtis türbinleri bir çeşit aksiyon türbinleridir. 2, 3, 4 kademeli olabilirler ancak ikinci kademedden sonra verimlerinin çok düşmesi sebebiyle genellikle 2 kademe olarak tasarlanırlar. Proses sahalarında pompa çevirici olarak kullanılan türbinler iki kademeli curtis tekerleğinden oluşur. Bu türbinlerde basınç düşümü sadece nozulda gerçekleşir. Döner kanatlarda ve varsa diğer kademelerin sabit kanatlarında basınç düşümü olmaz. Diğer kademelerdeki sabit kanatların görevi sadece buharın döner kanada yönlendirilmesinin sağlanmasıdır. Nozuldan geçen buharın basıncı düşer ve türbin çıkışına kadar sabit kalır. Hız ise nozulda artar, döner kanatta düşer, sabit kanatta ise sabit kalır. Bu türbinlere hız basamaklı aksiyon türbinleri denmektedir. De-laval türbinlerinde yüksek hızlara ulaşarak güç elde etmektense curtis türbinlerinde bu gücü iki veya daha fazla döner kanada dağıtarak daha düşük hızlarda aynı gücü elde etmek mümkündür [10].

Bazı buhar türbinlerinde kademeler sadece curtis tekerleğinden oluşur, bazılarında curtis tekerleğinden sonra aksiyon veya reaksiyon kademeleri bulunabilir, bazılarında ise curtis tekerleği hiç bulunmaz. Curtis için seçilen tekerlek çapı eğer kendisinden sonra aksiyon veya reaksiyon kademeleri varsa bunların kademelerinde minimum kanat boyunu elde etmek için tasarlanmıştır. Curtis tekerleği büyük türbinlerde ısı düşümünün %30 kadarını işler. Bu sayede curtis türbininden sonra aksiyon ve reaksiyon kademelerinin sayısı azaltılmış olur. Bu durum rotorun ve kanat boylarının daha da kısılması anlamına gelir.

Başta curtis tekerleği olmak üzere tüm aksiyon türbinlerinde nozul-ring üzerinden kısmi üfleme mevcuttur. Curtis için seçilen tekerlek çapı ile minimum kanat boyu, kısmi üfleme ile rahatlıkla ayarlanır. Aksi halde özgül hacim büyümesinden kaynaklı türbin son kademelerinde, disk çapları ve kanat boyları fazla büyür [10].

Curtis türbinlerinde 1. Kademeden sonraki kademelerde bulunan sabit kanatta hız ve basınç sabit kalmakta, sadece buhara yön verilmekteydi. Aksiyon türbinlerinde ise 1. Kademeden sonraki kademelerde bulunan sabit kanatlarda da buharın basıncı düşürülmekte ve hızı arttırılmaktadır. Bu türbinlere de basınç basamaklı aksiyon türbinleri denilmektedir.

Aksiyon türbinlerinde mekanik enerji elde edilirken kademeler arasında basınç farkı oluşmaktadır. Yani sabit kanat girişindeki basınç ile döner kanat çıkışındaki basınç birbirinden farklıdır. Bu farkı oluşturan etmen sabit kanatlardır.

Bu türbinlerin döner kanatlarında basınç düşümü olmaz. Basınç düşümü sadece sabit kanatta gerçekleşmekte, ısı düşümü de sadece sabit kanatta işlenmektedir. Basınç düşümünün döner kanatta oluşmamasının sebebi döner kanadın ön tarafı ile arka tarafı arasında sızdırmazlığı sağlayan bir sızdırmazlık sisteminin (labirent) bulunmamasından kaynaklanır. Bu nedenle aksiyon türbinlerinde döner kanatta aralık kaybindan (kademeler arasındaki labirentlerde oluşan buhar kaçakları) da bahsedemeyiz. Sadece sabit kanatların rotor üzerindeki karşılıklarında sızdırmazlık sistemi vardır. Aksiyon türbinlerinin döner kanatlarını taşıyan disklerde yine basıncın her iki tarafta eşitlenmesi için balans delikleri bulunmaktadır.

Aksiyon türbinlerinin verimleri reaksiyon türbinlerine nazaran daha düşüktür ancak güvenilirlikleri ise tam tersine daha yüksektir [10].

1.1.2. Reaksiyon türbinleri

Reaksiyon türbinlerinde de kademeler arası basınç farkı oluşur ancak aksiyon türbinlerinden farklı olarak hem sabit kanatta hem de döner kanatta basınç farkı vardır. Yani buharın taşıdığı ısı her iki kanatta da işlenir. Reaksiyon türbinlerini aksiyon türbinlerinden ayıran en önemli özellik budur. Hem sabit kanatların rotor

üzerindeki karşılığında hem de döner kanatların gövde üzerindeki karşılığında kaçakları önleyici sızdırmazlık sistemi bulunmaktadır.

Isı düşümünün sabit ve döner kanatlarda işleme oranına reaksiyon oranı denilmektedir ve bu oran genellikle 0,5 olarak tasarlanır. Bu türbinlerde döner kanadı taşıyan disk üzerinde balans delikleri bulunmaz. Reaksiyon türbinlerinde kısmi üfleme yoktur. Buhar nozullara tüm çevreden (360 derece) girer ve üflenir. Buharın nozullara giriş açısı 20 derecedir ve bu açı son kademelere doğru 35-40 dereceye kadar çıkabilir [10].

Reaksiyon türbinlerinde ısı düşümlerinin hem sabit kanat hem de döner kanatta olması, kademeler ve kanatlar arası sızdırmazlık sistemlerinin olması ve tam üfleme nedenleri ile aksiyon türbinlerine nazaran verimleri daha yüksektir. Ancak sızdırmazlık sisteminden gelen düşük kleranslardan dolayı çalışma koşullarının değişimlerine hassaslardır [10].

Türbin kanadının ucuna bakıldığında bir bandaj (shroud) vardır. Kanatlar operasyon esnasında dönme yönüne doğru eğilir ve tek başına kaldığı zaman dipten kopabilirler. Bu hareketin kanat üzerindeki olumsuz etkisini gidermek için türbin ilk kademelerinden itibaren kanat uçlarında bandaj (shroud) uygulaması yapılır. Kanatlar bu bandaja perçinlenmişlerdir [10].

Döner kanadın karşısındaki labirentler türbin kanadı üzerinde bulunan shroud bandajı kesilebilir, aşındırılabilir. Bu da güvenilirliklerinin aksiyon türbinlerinden düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu bandaj aynı zamanda reaksiyon türbinlerinde sızdırmazlık labirentlerinin çalışacağı karşı yüzeyi oluşturur. Reaksiyon türbinlerindeki bandajların yüzeyleri, sızdırmazlık labirentleri çalışması için tornalanmıştır. Aksiyon türbinlerinde ise bandajlar kanatlara perçinlenmiş olup bandaj yüzeylerinin tornalanmasına gerek yoktur. Burada seal labirenti çalışmayacaktır [10].

Aksiyon türbini ile reaksiyon türbinlerinin çalışma prensipleri birbirinden farklıdır. Termodinamik açıdan rüzgar enerjisi ile çalışan türbinler aksiyon türbinleridir. Rüzgar kanada vurur ve dönmesini sağlar veya buhar kanada vurur ve dönmesini sağlar. Bu mantıkla çalışan türbinler aksiyon türbinleridir [10].

Reaksiyon türbinlerinde ise çalışma mantığı bahçe sulamalarında kullanılan fiskiyele benzer. Su bir hortumla diske girer ve disk etrafındaki kanallardan dışarı çıkarken oluşturduğu tepki ile reaksiyon enerjisi üretilir ve diskin dönmesini sağlar. Bu tip türbinlere de reaksiyon türbinleri denmektedir [10].

Aksiyon türbininde nozuldan çıkan yüksek hızlı buhar döner kanada vurur dönmesini sağlar. Döner kanattan geçen buharın basıncı sabit kalırken hızı azalır. Reaksiyon türbininde ise nozuldan döner kanada gelen buharın, döner kanattan geçerken basıncı azalmaya devam eder. Buharın yapısındaki ısı hem döner kanatta hem de sabit kanatta işlenir. Türbinlerde son kademe hareketli kanatları operasyon esnasında dönme yönüne doğru eğilirler. Bütün kanatlardaki eğilmenin eşit derecede olmasını sağlamak amacıyla, kanatlar aralarında gruplanarak ortasına açılan deliklerin içinden geçen teller ile birbirine sabitlenir. Bu delikler yüzeylerde gerilmelere neden olup daha ileri durumlarda kırılmalarına yol açarlar. Bu yüzden bakım esnasında, kanat yüzeyleri temizlendikten sonra, kanatlara dye-penetrant testi yapılır. Bu teste kanatlarda mikro çatlak veya çatlakların bulunması durumunda kanatların değiştirilmesi gerekmektedir. Dye-penetrant olmadığı durumlarda, çatlak testi tebeşir tozu yardımıyla gerçekleştirilebilir [10].

Gelişen teknoloji paralelinde malzeme ve imal usullerinde de gelişmeler olmuştur. Son kademe kanatları özgül hacim büyümesi nedeni ile çok fazla büyüseler dahi gergi tellerinin geçtiği deliklerde meydana gelebilecek yüksek çatlama riskinden dolayı son kademe kanatları olduğu gibi gergi telsiz de imal edilebilmektedir. Kondensasyon türbinleri son kademe kanatları, diskleri veya gövdeleri sürekli olarak yaş buhar fazında kalmalarından zamanla erozyona uğrarlar. Türbin giriş sıcaklığındaki düşüklükler burada meydana gelen erozyonu artırma yönünde etki eder. Bu erozyon miktarı orijinal kanat genişliğinin 1/3'üne ulaştığında kanatlar değiştirilmelidir. Kanatlarda oluşan erozyon türbin verimini olumsuz yönde etkiler. Daha önceleri kanat üzerindeki pittingler düzeltilerek yüzey pürüzlülüğü giderilmesine karşın bugün kanat üzerindeki erozyon nedeni ile oluşan pittinglerin düzeltme işleri yapılmamaktadır [10].

1.1.3. Buhar türbini elemanları

1.1.3.1. Rotor

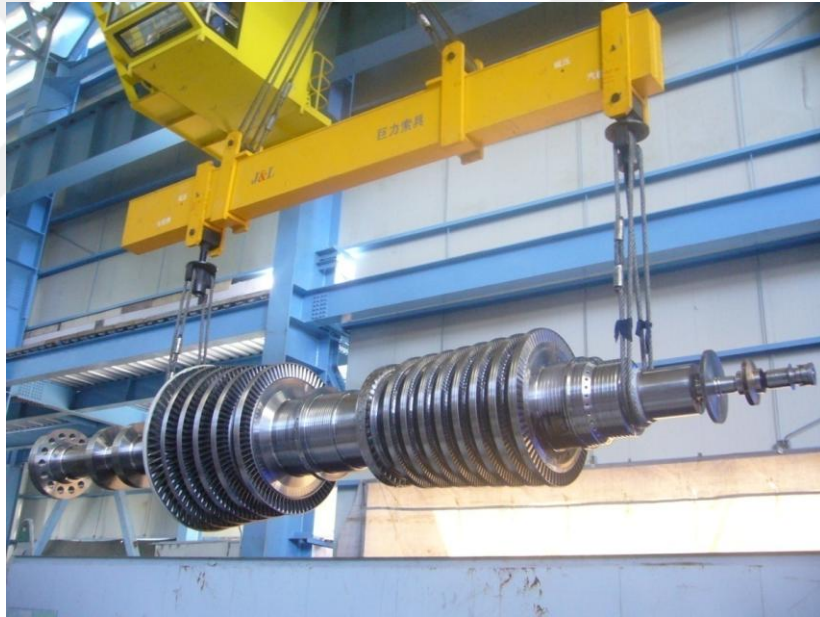
Rotorlar (Disk+Şaft) dövme yöntemi ile çelik alaşımdan imal edilirler. Görevi dönen kanatçıkları taşımak ve kanatçıklarda oluşan dönme momentini şafta iletmektir. Tüm dönen kısımlar rotoru oluşturur. Rotorlar bazı tasarımlarda üzerinde kanatçıklar bulunan disk bir şafta sıkı geçme olarak bazı tasarımlarda ise şaft ile disk yekpare imal edilir. Bazı tasarımlarda ise ikisinin kombinasyonu olacak şekilde bazı diskler sıkı geçme bazı diskler ise şafta yekpare imal edilirler. Bunu belirleyen faktörler; rotor çapı, maksimum çalışma devri, buhar sıcaklığıdır [15].

Kademedeki buhar sıcaklığı 400°C, kanat ucu hızı 250 m/s değerlerini geçtiğinde disk şaftla yekpare imal edilir, aksi durumda sıkı geçme olarak yapılırlar. Buna imalatçı karar verir. Yüksek güçlü türbinler yüksek basınç, orta ve alçak basınç kademelerini içeren rotolardan oluşmuşlardır. Türbine giren buharın türbin çıkışına kadar özgül hacmi artacağından rotor üzerindeki kanatların boyları da en son kademeye doğru gittikçe büyür [15].

Düşük basınç ve sıcaklıkta çalışan LP-Türbin rotorunda Şekil 1.1'de görüldüğü gibi özgül hacim büyümesi, buharın rahat geçişini sağlamak amacıyla kanat boylarının büyütülmesini gerektirmiştir. Özellikle yüksek güçlü türbinlerin LP kısımlarında türbine giren buhar debisinin özgül hacim değişiminden kaynaklı olarak negatif yönde etkilenmemesi için buhar türbinine ortadan girer ve rotorun her iki tarafına doğru genişletirilir. Bu tasarım ile türbin son kademe kanat boyları aşırı büyümemiş olur. Şekil 1.1'deki türbinin son kademe kanat boyları yaklaşık olarak 120 cm dir. Bu tasarım sayesinde rotor üzerindeki yüklerde dengelenmiş olur ve thrust yatağının üzerine gelen yükler azalır. Thrust yüklerinin çok fazla olduğu türbinlerde kompresörlerde olduğu gibi balans pistonu kullanılır (genellikle reaksiyon türbinlerinde). Ayrıca örnek olarak buhar türbini yüksek basınç ve orta basınç kademelerini içeren rotor Şekil 1.2'de gösterilmiştir [15].



Şekil 1.1. Düşük basınç(LP) türbin rotoru [14]



Şekil 1.2. Yüksek basınç (HP) ve orta basınç (IP) türbin rotorları [14]

1.1.3.2. Gövde

Türbin gövdeleri genellikle karbon molibden çeliğinden imal edilirler alt ve üst gövde olmak üzere Şekil 1.3'te görüldüğü üzere iki ana parçadan oluşurlar. Bu iki gövde oturma yüzeyi metal-metale kontak halinde olup arasında yüksek sıcaklığa dayanıklı sıvı conta vardır ve bağlantıdan dışarıya buhar kaçağına asla izin verilmez. Sızdırmazlık labirentleri, türbin yatakları, kontrol ve trip valfleri türbin gövdesi

üzerine monte edilmişler. İç gövde ve diyaframlar da Şekil 1.4'te görülen türbin gövdesine bağlıdır [15].

Her gövdede yüksek basınçlı buharın girdiği buhar kasası bulunur. Buhar kasasına gelen buharın hızı nozullar geçerken artar ve 1. Kademe kanatçıklara yönlendirilir. Curtis türbinlerinde, türbin gövdesi, nozullardan sonra çıkış basıncının etkisi altında olur. İhtiyaçlara bağlı olarak ara kademe çekişleri de gövde üzerinde bulunur. Ara kademe çekişleri büyük bir çoğunlukla kazan besleme suyunu ısıtarak veya buharı kızdırarak ısı verimi yüksek tutmak için tasarlanmışlardır [15].

Türbinlerin çıkışları hiçbir şekilde bloke edilemez veya çıkışlarına yüksek dirençli fitting malzemeler tesis edilmez. Türbin devredeyken, türbin çıkışı bloke edilirse türbin gövde basıncı yükselecek ısı düşümü olmayacağından türbin güç kaybedecektir. Herhangi bir şekilde türbin çıkışı kısmi olarak bloke edilirse türbin gövdesini yüksek basınçtan koruyacak bir sistem yoktur. Yüksek basınç oluştuğunda sadece operatörü ikaza eden bir ikaz valfi (sentinel valve) mevcuttur. İkaz valfi normal emniyet valfleri gibi çalışan bir valf olup herhangi bir nedenle açığında oluşturduğu ses dalgası sadece operatörü ikaz eder fakat türbin gövdesini yüksek basınçtan koruyamaz [15].



Şekil 1.3. Türbin gövdesi [12]



Şekil 1.4. Türbin üst gövdesi [14]

1.1.3.3. Sabit kanat taşıyıcıları

Türbinlerde rotor diskleri arasında, sabit kanatları üzerinde taşıyan diyaframlar veya iç gövde vardır bunların görevi buharı yönlendiren sabit kanatları taşımaktır. İç gövde ve diyaframlar gövdeye bağlıdır [15].

1.1.3.4. İç gövde (Blade carrier)

Sabit kanatlar direkt olarak bu gövde içerisindeki slotlara ardışık olarak takılırlar. Reaksiyon türbinlerinde döner kanatların karşılığı olan labirent sealleri de bu yapı üzerinde bulunurlar. Çok yüksek basınçlı türbinlerde yüksek basınçlı buharın girdiği HP türbininde alt ve üst iç gövdeyi birbirine bağlayan cıvataların gevşeme riskini ortadan kaldırmak için iç gövdeleri bağlayan ringler sıkılığı sağlamak için ısıtılarak iç gövdeye geçirilirler [15].

Sabit kanatları taşıyan Şekil 1.5'te görülen iç gövdenin türbin yatakları ile aynı ekseninde olması gerekmektedir. Diyaframlı dizayn edilen türbinlerde de diyafram eksenlerinin yatak ekseninde olması gereklidir. Aksi halde rotor iç gövdeye sürter ve işletilmeyecek kadar yüksek vibrasyon üretir. Diyaframlı dizaynlarda diyaframlar, özellikle alt gövdeye 90°, 180°, 270°'de bulunan pabuçlar ile bağlanırlar. Rotor

gövdeye yerleştirilmeden önce orijinal yataklarla yataklanan bir geçici şaft kullanılır. Bu geçici şaftın eksenini aynı zamanda yatak eksenidir varsayımdan yola çıkılarak alt diyaframlar alt gövdeye ayarlanır. Bu ayar için diyafram ve gövde üzerine 90°, 270° bulunan pabuçlar kullanılır. Diyafram ve gövde üzerinde 180° bulunan kama yeri ile kama arasında belirli bir boşluk vardır ve sağ-sol ayar için bu boşluktan faydalanır. Diyaframlar alt gövdeye ayarlandıktan sonra alt-üst gövdenin oturma yüzeyi ile diyafram yüzeyi arasındaki mesafe üst gövdeye taşınarak diyaframların üst gövdeye montajı tamamlanır [15].



Şekil 1.5. İç gövde [14]

1.1.3.5. Diyaframlar

Diyaframlar tek bir sıra sabit kanadı üzerinde taşınır ve Şekil 1.6'da görüldüğü gibi disk şeklindedirler. Diyaframlar sabit kanatlar ile hareketli kanatlar arasında sızdırmazlığı sağlayan seal'leri üzerlerinde taşıyarak kademeler arası sızdırmazlığı da sağlamış olurlar. Kazan suyu kalitesine bağlı olarak buharla birlikte sürüklenen tuz ve silisyum partikülleri zamanla buhar geçişi alanını daraltır ve türbin verim kaybına neden olur. Bu partiküllerin diyaframlardan ve türbinin buharla temas eden diğer parçalarından temizlenmesi zor bir iştir. Bu temizlik işlemi için büyük bakımlarda türbin sökülerek rotor ve diyaframlar/iç gövde özellikle imalatçı firmanın belirlediği prosedürlere uygun bir şekilde kumlanır [10].



Şekil 1.6. Diyaframlar [14]

1.1.3.6. Sızdırmazlık sistemi

Türbinler şaft ile gövde arasında atmosfere olabilecek buhar kaçaklarını, kondenserli türbinlerde ise atmosferden türbin içerisine girebilecek olan hava geçişini ve türbin kademeleri arasında sızdırmazlığı sağlamak amacıyla, sızdırmazlık sistemi vardır. Kademeler arası kaçaklar için labirent seal'ler kullanılır ancak şaft boğazlarından atmosfere oluşabilecek kaçakları engellemek amacıyla boğaz karbonları veya labirent sızdırmazlık sistemi kullanılabilir. Her iki tasarımda da buhar, bu boşluklar arasından geçerken basıncı kırılır, buhar basıncı düştükçe buharın özgül hacminin artması sayesinde sızdırmazlık sağlanmış olur [10].

1.1.3.7. Boğaz karbonları

Boğaz karbonları daha küçük türbinlerde kullanılırlar. Türbin şaftının gövdeden çıktığı yerde türbinin her iki tarafında sayıları türbin basıncına veya dizaynına bağlı olarak belirlenen sayıda olurlar. Basıncın yüksek türbinlerde sayıları daha fazladır çünkü standart gereği her bir boğaz karbonu maksimum 170 kPa basınç farkına kadar çalışmalıdır [10].

Boğaz karbonları yüksek sıcaklıklara da dayanıklı değildir. Bu yüzden çıkış sıcaklığının yüksek olduğu türbinlerde kullanılmazlar. Kondenserli türbinlerde

kullanılabilmesi için seal steam hat bağlantısının yapılması gerekiyor. Karşı basınçlı türbinlerde seal steam hat bağlantısı kullanılmayabilir [10].

Her bir boğaz karbonu 2, 3 veya 4 parçadan oluşur ve çevrelerindeki yay ile bir arada tutulurlar. Bu yay bağlı kilit mandalı sayesinde şaft ile beraber dönmeleri engellenir. Boğaz karbonları bir hamil içerisindeki ayrı ayrı açılmış yuvalara yerleştirilirler ve sızdırmazlığı iki yüzeyde sağlarlar. Birincisi şaft ile boğaz karbonu arasından ulaşılacak kaçaklar, diğeri ise boğaz karbonunun atmosfere bakan yüzeyi ile hamilin türbine bakan yüzeyi arasında olur. Yüksek basınçtaki buhar eğer şaft ile boğaz karbonu arasından geçmezse boğaz karbonunun üst tarafından dolaşarak kaçmak isteyecektir. Bu yüzden boğaz karbonu hamilin özellikle türbine bakan yüzeyleri çok temiz ve pürüzsüz olmalıdır [10].

Türbin içerisindeki buhar basıncı düşürülerek en son boğaz karbonuna kadar gelir bu boğaz karbonundan hemen önce bir dreyn vardır. Bu dreynin görevi boğaz karbonlarından kaçacak olan buharın yatak hamiline gelmesini önlemek, yani buharı başka bir yere yönlendirmektir. Aksi takdirde şaft boyunca kaçacak olan buhar yatak hamiline girerek yatakların bozulmasına ve türbin şaftının hasarlanmasına neden olacaktır [10].

Bazı türbinlerde dreyn hattından sonra iki adet dreyn bulunur, bunun amacı yatağı korumaktır. Bu tasarımda yatak hamili tarafına daha az buhar kaçağı olur. Türbinlerin çıkış sıcaklıkları birbirinden farklı olabileceğinden dolayı şaftların genleşmeleri de birbirinden farklı olacaktır. Bu durum boğaz karbonu ile şaft arasındaki klerensin aynı şaft çapında olmalarına rağmen türbinlerde farklı yol olmasına yol açabilir. Bu durumu engellemek için boğaz karbonlarının, türbin çıkış sıcaklığına uygun seçilmeleri gerekmektedir. Eğer yanlış seçilirse kaçak miktarı da fazla olacaktır [10].

Boğaz karbonlarının sürtünme katsayıları çok düşük olduğundan şaft yüzeyi ile temas halinde veya çok az bir klerenste çalışırlar. Bu yüzden oluşacak sürtünme ısısını ortamdaki uzaklaştırmak ve yüzeyler arasında film tabakası oluşturmak için bir miktar kaçağa izin verilmelidir. Doğru seçilmiş ve doğru montajlanmış bir boğaz karbonu labirent sistemine göre uzun ömürlüdür [10].

1.1.3.8. Labirentler

Sıcaklığın ve basıncın yüksek olduğu türbinlerde sızdırmazlık labirentler ile sağlanır. Labirent ile shaft arasında çok az bir klerens vardır ve buradan kaçacak buharın labirent dizaynı sayesinde basıncı düşülerek az miktarda kaçağa izin verilir. Labirentler rotorun hasarlanmaması için yumuşak malzemeden seçilirler [10].

Nozullardan yüksek hızla geçerek döner kanada giren buhar da faydalı iş yaparken milin çevresinden sızan buhar hiçbir iş yapmayacağı için enerji kaybına neden olur. Bu nedenle kademeler arası buhar kaçaklarını engellemek için de sızdırmazlık labirentleri kullanılır [10].

1.1.3.9. Gland sistemi

Kondenserli türbinlerde giriş ve çıkışlardaki labirent konfigürasyonları da birbirinden farklıdır. Türbin girişinde basınç yüksek olacağı için türbin girişi tarafındaki labirentlerin sayısı fazladır. Türbin çıkışındaki ise türbin içerisine vakumu bozan hava girişini engellemek amacıyla atmosfer tarafındaki labirentlerin sayıları fazladır. Ancak prensipte çalışma mantığı tamamen aynıdır [15].

Kondenserli türbinlerde türbin içerisine ve buradan da kondensere hava girişi olması durumunda, hava faz değişimine uğramayacağından kondenserdeki vakumu bozacak ve verim düşecektir. Bu yüzden kondenserli türbinlerde sızdırmazlık sisteminden içeri hava girişini engellemek çok önemlidir. Karşı basınçlı türbinlerde de buhar içeriden dışarı kaçmak isteyeceğinden kayıp olarak değerlendirilecektir. Her iki durumda da verim kaybı söz konusudur. Bu kaçakları engellemek için türbin boğazları labirentlerde donatılmış ve seal steam beslemesi ve gland steam ejektörüne açılan port vasıtası ile sızdırmazlık sağlanmıştır [15].

Bu besleme buharının bir kısmı türbin içerisine giderken bir kısmı da atmosfer tarafına ilerler. Böylece türbinden dışarı buhar kaçağı engellenmiş olur. 1 numaralı kanal seal kondenserine bağlanmıştır ve bu kondensere gönderilen soğutma suyu ile buraya gelen buharın yoğunlaştırılması sağlanmıştır. Böylece seal kondenserinde özgül hacim değişiminden dolayı vakum oluşacak ve basınç atmosfer basıncının altına düşecektir. Atmosfer tarafına gelen seal buharı 1 numaralı kanaldan seal kondenserine

gidecektir. Ancak seal kondenserindeki basınç atmosfer basıncından düşük olacağından labirentler içine sızmak isteyen hava da dışarıdan gelip seal kondenserine girecektir. Buradaki havanın atılması için seal kondenser içerisine ejektör yerleştirilmiştir. Ejektöre de buhar gönderilerek seal kondenseri içindeki hava atılır [11].

Türbinin çıkış tarafındaki basınç kondenser basıncına ve sıcaklığı da o basınçtaki suyun kaynama sıcaklığına eşittir. Buradaki basınç ve sıcaklık daha düşük olduğundan labirentlerle shaft arasındaki klerens farklı olacaktır. Türbin çıkış tarafına gönderilen buhar sıcaklığı da farklıdır. Çıkış tarafındaki labirent klerensi daha düşük sıcaklıklarda çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Bu nedenle çıkış tarafına gönderilen buhar sıcaklığı 170°-190°C civarına, basıncı da 40 mbar seviyesine düşürülür. Gönderilen steam labirentler üzerinden bir yandan atmosfere diğer yandan türbine doğru hareket edecektir. Atmosfer tarafına yönelen seal buharı ise seal kondenserindeki vakumdan ötürü, seal kondenserine gider. Havada buraya gelir ve aynı işlemler tekrar eder [11].

1.1.3.10. Türbin kontrolü

Türbinler devreye alındıktan sonra, ünite ihtiyacını karşılayacak şekilde farklı kapasitelerde çalıştırılabilirler. Bunun için türbin girişinde Şekil 1.7’de görüldüğü gibi iki tane vana bulunur. Bunlardan bir tanesi kontrol vanası (governer valf) diğeri ise trip (acil stop vanası) vanasıdır. Kontrol vanasının kontrolü kullanıcı tarafından yapılır, trip vanasının ise set değerleri sabittir, kullanıcıya bağlı değildir ve acil durumlarda türbine giren buhar akışını kesmeye yarar. Bu vanalar aynı gövde üzerinde bulunabildikleri gibi ayrı gövdelerde de bulunabilirler [15].

Trip Sistemi; Türbin duruyorken trip vanası kapalı konumdadır. Türbinin devreye alınabilmesi için öncelikle trip sistemini kurup vananın %100 açık pozisyona getirilmesi gerekir. Trip vanası trip kolu ile veya kontrol yağ sistemi devreye alınarak yağ basıncı ile kurulur. Bir başka deyişle vananın pozisyonda kalması yağ basıncı ile hidrolik olarak veya trip kolu ile mekanik olarak sağlanabilmektedir. Trip ve kontrol vanaları aynı gövde üzerine bağlanmış ise buhar, sisteme bir taraftan girer ve ilk önce trip vanasına gelir. Burada vana mili üzerinde görülen bir yay vardır ve bu yay çok kuvvetli olup her zaman vanayı kapatma yönünde hareket ettirmeye çalışır. Trip

vanasının kapalı olduğu durumda hattaki buhar basıncıda vanaya kapatma yönünde etki edecektir. Vana açılırken trip kolu sırasında esnasında ise ilk önce valfin içinde bulunan küçük bir valf açılır ve buhar basıncı vananın her iki tarafında eşitlenir. Daha sonra trip kolu kurulur. Aksi takdirde buhar basıncını yenerek kolu kurmak çok zor olacaktır.



Şekil 1.7. Kontrol ve trip vanaları [15]

Aşırı hız koruması (overspeed trip), trip vanasına herhangi bir nedenden dolayı trip sinyali gelirse, trip vanasını açık tutan yağ basıncı aniden dreyn olacak (mekanik trip sistemi var ise trip kolu düşecek) ve türbine giren buhar akışı kesilerek türbin hızı azalacaktır. Trip sisteminin türbin hızını algılaması ve trip vanasına sinyal göndermesi için birkaç değişik yöntem vardır. Bunlardan biri yeni teknolojilerde kullanılan ve türbin hızını ölçüp referans alan elektronik sistemlerdir. Bu sistemde şaft üzerine sıkı geçen veya şaft ile birlikte imal edilen bir ayna üzerinden devri algılayan sensörler ile hız ölçülür. Ölçülen hız, set edilen değere ulaştığında türbini trip ettiren mekanizma ile donatılmışlardır. Bir diğeri ise merkezkaç kuvvetin etkisiyle çalışmaktadır. Bu sistem de kendi içerisinde ikiye ayrılır. Bir trip pimi, diğeri ise trip diskidir. Aslında ikisinin de çalışma mantığı santrifüj kuvveti kullanmak olsa da yüksek devirli türbinlerde trip diski, daha düşük devirli olanlarda ise trip pimi kullanılmaktadır [15].

Overspeed trip testi, ekipmanın ilk devreye alınmasında veya bakımlardan sonra trip sisteminin sağlıklı çalıştığından emin olmak için trip testi yapılması gerekir. Bu test, iş sağlığı ve güvenliği gereğince her yıl yapılmalıdır. Bunun için önce türbin kaplini ayrılır, türbin devreye alınarak minimum governor devrine getirilir ve sonra da yavaş yavaş hız arttırılır. Türbin hızı trip devrine geldiğinde trip sisteminin çalıştığı ve trip vanasının kapatarak türbinin durduğu görülür. Overspeed trip testi yapılmadan önce sistem üzerindeki cihazların çalıştığı simüle edilerek görülür. Ancak trip vanasının sızdırmazlığı daha önce kontrol edilmelidir. Trip vanasının kaçırması durumunda, türbin trip hızına yükselirse, hız artmaya devam eder ve kritik devir bandına girer. Flexible bir rotora sahip türbin, trip vanası kaçırıyorsa, tam yükte çalışırken, hızın artması neticesinde ikinci kritik hız bandına girer ve türbin parçalanabilir. Bunun için overspeed testi yapmadan önce trip vanasının sızdırmazlığından emin olmayı sağlayacak tightness testi yapılması gereklidir [15].

Tightness testi, kontrol(regülatör) vanası sürekli çalışan bir vanadır ancak trip vanası ya tam kapalı ya da tam açık konumda olur, sürekli bir hareketi yoktur. Bu yüzden kontrol vanasının sızdırmazlığı beklenmez ve trip vanası kadar iyi olamayabilir. Trip esnasında her iki vana kapatsa da kontrol vanasından sızdırmazlık beklenmediği için trip vanasının sızdırmazlığından emin olmak gerekir. Vananın bütün bakımları yapılmış olabilir ancak trip vanası hala sızdırmaya devam ediyorsa türbin overspeed testi yapılmadan önce trip vanasının sızdırmazlık testi olan tightness testin yapılması gereklidir. Öncelikle trip sistemi cihazlarına özel sinyaller gönderilir, başka bir deyişle sistem simüle edilerek cihazların çalıştığı görülür. Daha sonra eğer türbinde torna çark sistemi varsa torna çark ile yoksa blok vanası hafif açılarak türbin düşük hızda çalıştırılır. Bu devrin 500 dev/dk'yı geçmemesi önemlidir. Türbin dönerken kontrol sistemi aldatılıp yalancı bir sinyal gönderilerek, trip vanası tam kapalı konumdayken kontrol vanası tam açık pozisyona alınır. Eğer türbin hızı azalmayı sürdürüyorsa vana sızdırmıyor demektir. Ancak trip vanası kaçırıyorsa, kaçak miktarı kadar buhar türbine gelecek ve türbin hızı artacaktır. Türbin hızı %10-15 kadar artıyorsa yine kabul edilebilir ancak daha fazla artıyorsa trip vana bakımını tekrarlamak gerekir. Bu durumda overspeed trip test asla yapılmamalıdır [15].

Regülatör Sistemi (Governor Valf/Kontrol Vanası); Trip sistemi kurulduktan sonra türbine giren buhar girişinin sağlanabilmesi için kontrol vanasının açması

gerekmektedir. Trip vanası çalışma esnasında %100 açık olsa da bu vananın açıklık miktarı kullanıcıya aittir. Türbine giren buharın miktarı, dolayısıyla türbin hızı ve gücü kontrol vanası ile kontrol edilebilmektedir. Kontrol vanası açılırsa türbin hızı ve gücü artar, kapatılırsa hız ve güç azalır. Türbin gücünü düşürmek için kontrol vanası kısıldığında amaç buhar debisini azaltmak olsa da vana sonrasındaki basınç da değişecektir. Bu durumda türbin gücüyle, türbine giren buhar debisini oranlamak doğru olmayacaktır [15].

Regülatörler mekanik ve hidrolik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Mekanik regülatörler, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle çalışan ağırlık yay kuvvetiyle bir arada tutulurlar. Türbin devri arttığında ağırlıklar birbirinden uzaklaşır ve regülatör vanasını kapatmaya başlar. Türbin normal işletme devrine ulaştığında ağırlıklar ve yay baskısı dengesi oluşur ve regülatör vanası normal pozisyonunu alır ilk yol verme anına göre daha az buhar sevk eder ve türbin hızının yükselmesi durur. İlave yük artışından dolayı türbin devrinin düşmesi, regülatör vanasının açmasına neden olur. Buhar giriş basıncının düşmesi de hızı azaltacağından regülatör vanasının açmasına neden olur. Türbinin çevirdiği ekipmandan yük atıldığında ise bunun tam tersi, regülatör vanası kapatmaya başlar. Yük atılması aniden yapılırsa regülatör sistemi buna geç cevap verebilir. Bu durumda türbini ikinci kritik devir bandına girmekten overspeed trip sistemi korur [15].

Hidrolik regülatörler, türbin miline bağlı bir yağ pompası tarafından oluşturulan yağ basıncının yardımıyla hareket ettirilen diyafram veya plunger regülatör vanasını ayarlar. Servo motoru veya kontrol vana milini tahrik eden hidrolik regülatöre hidrolik governer denilmektedir. Governer türbin miline bağlıdır ve türbin devrine bağlı olarak hızı istenilen devirde tutmaya yarar. Governer bir kaplin vasıtası ile türbin miline bağlıdır ve arada bir dişli mevcuttur. Bu dişli, governer içerisindeki dönen parçaların hızını yaklaşık olarak 800 dev/dk civarında tutar. Bu dişlinin mili governer içerisindeki dişli pompayı, pilot plunger'i, ağırlıkları ve devir set sistemini döndürür. Dişli pompa governer içerisindeki yağ basıncını sağlar. Ancak türbin devri değiştiği zaman pompa çıkış basıncı da değişeceğinden pompa çıkışına iki adet akümülatör yerleştirilir. Bu bazı governerler de bir adette olabilir. Türbin devri arttığı zaman pompa çıkış basıncı artar, akümülatör içerisindeki yay, basıncın etkisiyle sıkışır ve içerisindeki pistonu yukarı çeker. Akümülatör içerisindeki yağ dreynine

kadar gelindiğinde ise yağ basıncı boşalır ve sistemde o an ki yay basıncı kadar yağ basıncı dolaşır. Aynı zamanda, akümülatör yağ pompası pozitif deplasmanlı bir pompa olduğu için sistemi ve pompayı yüksek karşı basınca karşı korumaktadır [15].

1.1.3.11.Yataklar

Rotor iki adet yatak tarafından taşınır. Yataklar kayıcı tipte olabileceği gibi farklı tiplerde de olabilirler. Yatak tipinin seçimi de klerensi de imalatçı firma tarafından belirlenir, ancak standartların belirlediği bazı “olmazsa olmaz” şartlar vardır. Yatak klerensinin, labirent klerensinden büyük olmaması gereklidir. Yataklar, rotoru taşıyan ve minimum sürtünme ile dönmesini sağlayan elemanlardır. Rotorun ekstenel ve radyal hareketlerini de belirli sınırlar içinde tutarlar. Yataklar ile mil arasında yağ film tabakası sayesinde sürtünme minimum düzeye indirilir [10].

Radyal Yataklar; Radyal yataklar, rotorun radyal hareketini sınırlandırmaya ve rotorun yükünü taşımaya yararlar. Metal(kayıcı) yataklar, tilting pad yataklar, limon yataklar, pressure dam yataklar, rulman gibi birçok çeşidi bulunmaktadır [10].

Metal (Kayıcı) Yatak; Metal yataklarda yağ filmi oluşumu çok önemlidir. Aksi takdirde kısa sürede mile sararlar. Rotor yüzeyinde ve yatak yüzeyindeki pürüzlülükler, bu iki yüzey arasında oluşturulan yağ film tabakasının kalınlığından daha az olmalıdır. Yağ film tabakasının kalınlığı teorik olarak 1 mikrom kadardır. Küçük türbinlerde metal yataklar bir yağ halkası ile büyük türbinler ise yağ pompası vasıtasıyla yağlanırlar. Yağ pompasının, yağ hatlarında ve yataklarda sirküle ettiği yağ, belirli bir basınçta ve debide yatağa gönderilerek yağlanması sağlanır [15].

Yağ halkası ile yağlama yapılan küçük türbinlerde, türbinin dönmeye başlaması ile beraber yağ halkası da dönmeye başlar ve yatak hamilindeki yağı çırparak yataklara ulaşmasını sağlar. Halka bronz malzemededen imal edilebileceği gibi white metal kaplı paslanmaz çelik malzemededen de imal edilebilir. Yağ halkaları düşük devirlerde yağın çırpılmasını sağlayamayacağı için yatağı yağlayamazlar. Bu yüzden yağ halkası ile yağlanan türbinleri düşük devirde döndürmek yatak hasarına neden olabilir. Çok yüksek devirlerde de yağ halkası yağlamayı sağlayamayabilir [15].

Tilting Pad Yatak; Tilting pad yatak sisteminde rotor, padlar tarafından taşınır. Yatak içerisinde tasarıma bağlı olarak 3, 4, 5, 6 veya 7 adet pad bulunur ancak genellikle 4 veya 5 pad'den oluşurlar. Rotorun dönmesi esnasında pad'ler, yatak içerisinde sabit noktalar üzerinde hareket eder. Bazı yataklarda pad'lerin yatak gövdesine teması çizgisel olabilmektedir. Yağ yine metal yataklarda olduğu gibi dönüş hızının 0,42 – 0,48 katında yatak içerisinde sirküle eder ancak bu yataklarda yağ filmi oluşmaz. Her pad üzerinde ayrı ayrı yağ kaması oluşur ve pad'ler bu yağ kamasına bağlı olarak kendilerini ve rotoru eksene getirirler. Noktasal temaslı yataklarda hem radyal hem aksenel olarak, çizgisel temaslı yataklarda ise sadece radyal olarak eksene gelirler. Bu sayede yataklar arası kaçıklıkları belirli bir değere kadar karşılarlar. Ağır iş makinalarında bu tip yatakların kullanılması tavsiye edilmektedir [15].

Kritik devrin işletme devrinin 0,42 – 0,48 aralığında olması durumunda bu tür yatakların kullanılması artık standartlarla zorunlu kılınmaktadır. Metal yataklara göre yağ sıcaklığı daha düşük olur ancak yağ sirkülasyonu çok fazladır. Normal yataklarda kullanılan yağ debisinin 2 katı kadar yağ kullanılır. Bu tip yataklarda rotor ağırlığı statik olarak tek bir pad veya iki pad tarafından taşınabilir. Bu durum tasarıma bağlıdır ve aralarında kullanıcı açısından bir fark yoktur. Yalnız yatak klerensi verilirken yatağın kaç adet pad'den oluştuğu dikkate alınmalı ve hesabı ona göre yapılmalıdır. Bu yataklarda rotor her iki tarafa da dönebilir [10].

Limon Yataklar; Bu yataklarda rotor eliptik bir yatak içerisinde döner. Tasarımları gereği, rotor üzerine dik yönde kuvvet uygularlar çünkü rotorun alt ve üst kısmında klerens az olduğu için buralarda yağ filminin oluşturacağı basınç da fazla olacaktır. Genellikle yüksek hızlarda yağ filmi (oil whirl) oluşturmamaları sebebiyle kullanılmaktadırlar, kaymalı yataklara göre daha düşük yüklerde çalışabilirler. Limon yataklarda shaft üzerine gelen yağ baskısı nedeniyle klerensin düşük olduğu bölgelerde yağ sıcaklığı çok yükselse bile, yatak içerisinde yağ sirkülasyonu için yeterli alanın bulunması sebebiyle yatak sıcaklığı çok yükselmez [10].

Pressure Dam Yataklar; Bu yataklarda, shaftın dönüş yönüne bağlı olarak alt yatakta tırmandığı yerin, üst yataktaki karşılığında olacak şekilde tasarlanan genişlik ve derinlikte oyuk bulunur. Oyuk bir fatura ile sonlandırılır ve bu fatura yatağın yüksüz kısmı olan üst yatakta bulunur. Yağ, rotorun dönüşü esnasında yatak içerisinde

sirküle edilirken bu olukta oluşan yağ basıncı rotoru alt yatağa doğru iter ve rotor altında doğal olarak oluşan yağ basıncının rotoru yukarı kaldırmaması sağlar. Bu oluşan kuvvet sonucunda rotor daha stabil hale gelir ve yağ kaması engellenmiş olur. Pressure dam yataklar büyük yüklerde ve yüksek hızlarda çalışabildikleri için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak montajları sırasında rotorun dönüş yönü dikkate alınmalıdır. Kritik devrin işletme devrinin 0,42 – 0,48 aralığında olması durumunda bu tür yatakların kullanılması yağ kaması oluşumunu engelleyemez [15].

Eksenel Yataklar; Eksenel yataklar rotorun eksenel hareketini sınırlandırır ve rotoru sabit pozisyonda tutarlar. Küçük türbinlerde genellikle eğik bilyalı rulmanlar kullanılır. Büyük türbinlerde ise şaftla birlikte imal edilen veya şafta sıkı geçme olarak tasarlanan, thrust aynasının yüzeyine oturan, oynak pabuçlarla donatılmış yataklar kullanılır. Normalde radyal yatakların ihtiyaç duyduğu yağ miktarının iki katına ihtiyaç duyarlar. Eksenel yataklar; pabuçlar, dengeleme pabuçları ve dayama diskinden oluşur. Rotorun dönüşü esnasında sadece rotora sıkı geçme olan veya rotorla birlikte imal edilen thrust diski döner. Pabuçların (pad) arkası küre şeklinde olup dengeleme pabuçlarına tek noktadan temas ederler [10].

Pabuçların thrust diskinin bakan yüzeyinde rotorun ileri geri gitmesinden kaynaklı hasar oluşmaz. Bu yüzlerde hasar, yağın içerisindeki yabancı maddelerden veya yağdan kaynaklı daha farklı nedenlerden oluşabilir. Rotorun ileri geri gitmesinden kaynaklı olarak pabuçların arka tarafında hasar oluşabilir. Bu durumda pabuçların dengeleme pabuçlarına temas eden noktaları, dengeleme pabuçlarının da ön ve arka tarafı kontrol edilmelidir. Buralarda çok fazla leke veya oyuklar varsa eksenel yük çok büyümüş demektir. Türbinlerde devir sayısının veya steam yükünün sık değişmesi sonucu bu noktalarda hasar oluşabilir. Normal işletme koşullarında pabuçlar ile ayna arasındaki yağ filmi nedeniyle pabuçlar şaftın dönüş yönüne bağlı olarak şekil alırlar. Rotor dönerken pabuçlarda dayama diski arasındaki yük, yağ sayesinde taşınır. Eğer rotor bir tarafa yaslıyorsa yükün geldiği tarafta yağ filmi kalınlığı azalır ve basınç da artar. Bu esnada dayama diskinin diğer tarafında ise yağ kalınlığı artar. İki taraftan kurulan basınç dengesi ile rotorun eksenel hareketi sınırlandırılır [15].

1.2. Kritik Devir

Yataklar arası mesafenin küçük olduğu düşük güçteki türbinlerde, rotor hafif olup doğal sehimi de çok azdır. Bu türbinlerde, işletme devrine kadar herhangi bir kritik devir yoktur. İşletme devrinin altında kritik devir olmayan rotora rijit rotor denmektedir. Örneğin elektrik motor rotorları, curtis türbin rotorları vb. Yataklar arası mesafenin büyük olduğu yüksek güçlü türbinlerde rotor da ağır olup, doğal sehim fazladır. Bu türbinlerde operasyon devrinin altında bir veya bazı durumlarda iki kritik devir vardır [10].

Kritik devir yataklamalar dâhil rotorun doğal frekansının, o an ki dönüş hızıyla çakıştığı hızdır. Kritik hıza ulaşıldığında rotorun vibrasyonu ve genliği artar. Bu hızda uzun süre çalıştırılırsa, bulunduğu hız bandına göre şaft, salgılı dönmeye başlar, rotor kanatları gövdeye sürtebilir veya bu devir bandında uzun süre kaldığından bir yerden kopar. İki yatak arasında bir kütle düşünülürse, bu kütle için ağırlığından dolayı bir sehimi olacaktır. Sehime sahip bir rotorun düz bir ekseninde dönmesi asla beklenmez [15].

Bu sehim miktarı; rotorun ağırlığına, yataklar arası mesafesine, kullanılan şaft malzemesinin elastik modülüne ve şaft çapına bağlıdır [10].

Sehim miktarını azaltmak kritik hız devrini arttıracak, sehimi arttırmak ise rotor daha çok sehim yapmış olacağından kritik hızı daha aşağılar çekecektir. Sehim miktarını belirleyen yukarıdaki etmenlerle oynanarak kritik hızın yeri değiştirilebilmektedir. İmalatçı firmalar rotorun kritik hızını dizayn aşamasında değiştirmek için aynı zamanda yatakların vibrasyonu sönümleme ve fleksibiliteye karşı koyma kabiliyetlerinden de faydalanmak amacı ile yatak tiplerinin de değişimine gidebilirler [10].

Kritik devrin açısal hız formülünde kritik devrin sehimi gibi rotorun ağırlığına, yataklar arası mesafeye, şaft malzemesinin elastikiyet modülüne ve şekline bağlı olduğu söylenebilir. Hem rijit rotolar hem de fleksible rotolar 1. Kritik devire gelene kadar bu sehim ekseninde dönerler. Kritik devir bandını mümkün olduğunca hızlı geçmek rotorun ömrü açısından önemlidir. Kritik devirde uzun süre çalıştırılırsa rotor hem kendi etrafında dönerken hem de sehim ekseninde çırpıma

başlayacak ve aşırı yüksek vibrasyonlar oluşacaktır. Bu durum çok kısa süre içinde olacağından vibrasyon probu durumu fark edemeyebilir. Rotor bu şekilde çalıştırılmaya devam ederse sehim artar, belirli süre sonra sonsuza çıkar ve rotor orta yerinden kopar [10].

Eğer rotor fleksible ise kritik devri geçtikten sonra dönme eksenini değiştirir ve düz bir ekseninde dönmeye başlar. Yani fleksible rotorlar çalışma devrinde iken ideal düz bir ekseninde dönmektedirler. Rijit rotorlarda ise durum biraz daha farklıdır. Rijit rotorlarda 1. Kritik devir çalışma devrinden büyük olduğu için bu rotorlar sürekli sehim ekseninde döneceklerdir. Bu esnada shaft molekülleri gerilmeye ve çekilmeye maruz kaldıklarından rotor üzerinde büyük stresler oluşacak ve zamanla malzeme yorulacaktır. Bu durum rotorda salgı oluşmasına neden olur. Bu nedenle rijit rotorların shaftları genellikle 10-12 yıl sonra değiştirilirler. Rijit rotorlarda stres yüküne bağlı olsa da en büyük stres sehim ekseninde dönmelerinden kaynaklanır [10].

Rotor dönmeye başladığı zaman vibrasyonlarda artmaya başlayacaktır. Kritik hızın altında ve üzerinde belirli bir bölgede vibrasyon yüksektir, bu bölgede tehlikeli bölge denir ve kaçınmak gerekir. Rotorun hızı daha da artırıldığında bu bölgeden çıkılır ve vibrasyonlar biraz düşer. Ancak yine de kritik hız öncesindeki vibrasyon değerlerine göre biraz yüksektir. Bu rotorun balansının sehim ekseninde dönüyorken yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Oysa bu bölgede rotor düz bir ekseninde dönmektedir [10].

İyi dizayn edilmiş bir rotorun emniyetli işletme aralığı dediğimiz bu bölgede vibrasyon genliği 5 mikron civarlarına düşürülebilir. Rotorun hızı daha da artırıldığında artık ikinci kritik hıza gelinir ve vibrasyonlar tekrar artar. 1. ve 2. kritik hızlarda vibrasyon değerleri artar ancak bu iki devrin arasında yukarıda bahsedildiği gibi emniyetli işletme aralığı denilen güvenli bir bölge bulunmaktadır ve fleksible rotorların bu bölgede çalıştırılması gerekmektedir. Standart gereği bu bölgenin başlangıç noktası 1. kritik devirin en az %25 fazlası ve bu bölgenin bitiş noktası 2. kritik devirin en az %25 altında olmalıdır. Bu noktalar minimum ve maksimum governor devri olarak belirlenmiştir. Hiçbir şekilde rotorun bu bölge dışında çalışması istenmemektedir. Ancak fleksible rotorlar ilk esnasında 1. kritik hızın bulunduğu bölgeden geçmek durumundadırlar. Eğer kritik hızda uzun süre

çalıştırılırlarsa sehim miktarı artacak ve rotor salgılı dönmeye başlayacaktır. Bu noktada rotorun hızı ile doğal frekansı çakışmıştır. Bu yüzden kalkış esnasında bu bölgenin hızlı bir şekilde geçilmesi gerekmektedir. Örneğin; rotor ilk kalkışta dakikada 100 devir hızlandırılıyorsa, kritik banda (tehlikeli bölge) gelindiğinde rotorun hızı belki dakika da 1000 devir (uygun değer imalatçı firmadan temin edilmelidir) arttırılmalıdır. Bu durum sadece fleksible rotorlar için geçerlidir. Rijit rotorlarda ise kritik hız bandına girilmeyeceğinden böyle bir kıstas yoktur ancak rijit rotorlarda da maksimum çalışma devri 1. kritik hızın en az %25 altı olacak şekilde belirlenmelidir [10].

İkinci kritik devrin hıza geldiğinde ise rotorun dönme eksenini daha farklı bir duruma gelmektedir. Bu bölgede ve 1. kritik devir bölgesinde uzun süre kalınması durumunda bu eğriler daha da büyür. Sonucunda da eğrilerin pik yaptığı noktalardan rotor kopar. Bu nedenle standartlar kritik devirlere yakın çalışmayı yasaklamışlardır. Fleksible rotorlar eğer iyi dizayn edilirlerse standartların tayin ettiği vibrasyon değerlerinin altında çalışırlar. Türbinler genellikle fleksible rotora sahip olduklarından çalışma devrindeyken sehim ekseninde dönmezler ve ömürleri çok uzun olur. Rijit rotorlar ise sehim ekseninde döndüklerinden daha kısa sürede değiştirilmeleri gerekir. İmalatçıdan alınan herhangi bir rotor kullanıcıya geldikten sonra yapılan kritik devir hesabında eğer kritik devri çalışma devrine çok yakın ise bu ekipman devreye alınmamalıdır. Örneğin; 3000 devirde çalışacak olan bir buhar türbinin kritik devri 2700 olarak hesaplanmışsa, türbinin devreye alınması doğru olmayacaktır. Kritik devrin 2250 devrin indirilmesi gerekmektedir. Bunun için rotorun shaft çapıyla oynanabilir veya rotor üzerinde çentikler atılabilir. Bazen rotor üzerinde herhangi bir yerde fatura bulunabilir veya rotorun üzerine ilave ağırlıklar konulabilir. Bunun sebebi sehimi ve buna bağlı olarak kritik devri değiştirmektir. Bu değişikliğin ne olacağına, kritik devrin çalışma devrinin %25 altında olacak şekilde imalatçı karar verir [15].

İkinci kritik devir bölgesine girilmesi sonucunda rotoru ve IP, LP, HP kademeleri parçalanmış pek çok termik santral vardır. Türbinler normal çalışma şartlarında çalışırken eğer çevirdiği ekipmanın yükü aniden kalkarsa kontrol sistemi buhar girişini kısma yönünde sinyal gönderecektir. Ancak yükün kalkması ile vananın kısılması arasındaki Δt süresinde buhar, türbine sanki önünde yük varmış gibi

girecektir. Bu durumda türbin hızı ani bir şekilde yükselir ve türbin rotoru ikinci kritik devir bölgesine girerse hasara neden olur. Bu durumun önlenmesi için türbinde standartların gerektirdiği ek kontroller vardır. Kontrol sistemi eğer türbini maksimum çalışma devri aşıldığında kontrol edemezse, bu devrin %8 üzerine set edilmiş olan overspeed trip sistemi türbini ikinci kritik devir bölgesine girmekten korur. Bu koruma sistemi herhangi bir nedenle çalışmazsa, maksimum çalışma devrinin %10 üzerinde set edilmiş olan ikinci bir trip sistemi türbini koruyacaktır [10].

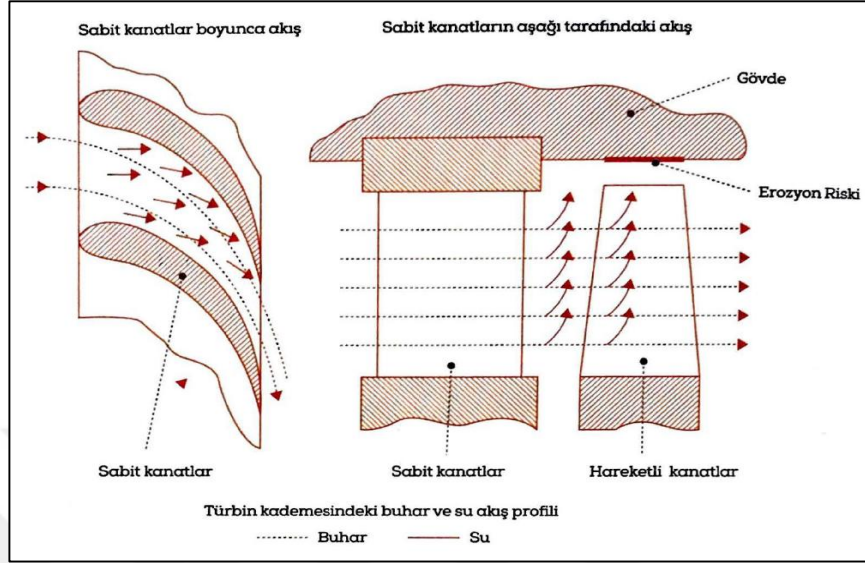
Türbinlerin devreye alınmaları ve durdurulmaları esnasında kritik devir bandının çok hızlı geçilmesi gerekmektedir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber devreye alınmaları ve durdurulmaları esnasında hız değişimleri ve bekleme süreleri otomatik olarak set edilmektedir. Kontrol sisteminde oluşturulan set değerleri kabul edilebilir limitlerin dışında veya limit değere yakın ise devreye alma veya shut-down esnasında rotorun uzun süreli olarak kritik devir bandı içerisinde çalışması söz konusu olacaktır [10].

1.3. Yükün Performansa Etkisi

Türbin kanatlarındaki tortu, buhardaki nem gibi birçok faktör türbin kademe performansını düşürür. Kondensasyon türbinlerinin son kademe kanatları ve diyafram gövdeleri yaş buhar fazında, buhar hızlarının yaklaşık 200 m/s olması nedeni ile erozyon problemiyle karşı karşıyadır. Türbine düşük sıcaklık ile buhar girmesi durumunda son kademedeki önceki kademelerde de yaş buhar oluşabilir. Bu bölgede hız daha yüksek olduğu için erozyonun etkisi de daha fazla olacaktır. Su damlacıkları buhar akışını bozar, bu sürtünme kayıplarının artmasına neden olur ve verimliliği azaltır. Su damlacıkları santrifüj kuvvetinin etkisiyle yön değiştirir ve döküm gövdede aşırı erozyon riski oluşturur [10].

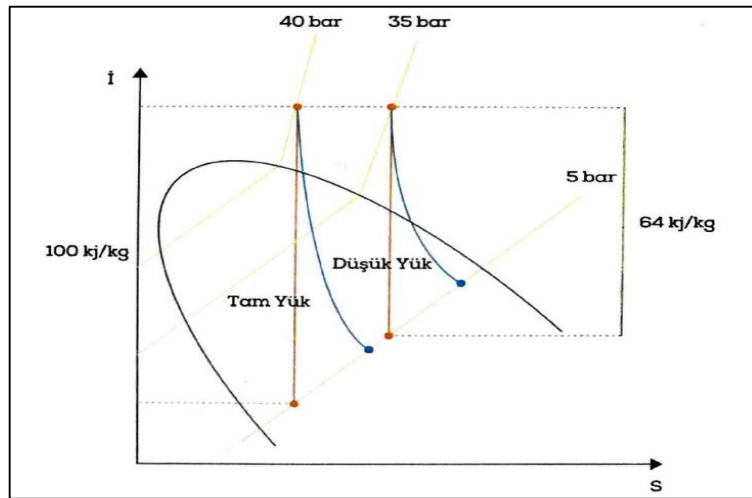
Su damlaları hareketli kanatlara çarpar ve bunun sonucu olarak hareket yavaşlar. Su damlaları kanatlardan daha yavaştır, bu yüzden çarpışma anında yavaşlatıcı rol oynar ve türbin çıkış gücünü azaltır. %1 nem artışı türbinde %1 verim kaybına neden olmaktadır. Kondensasyon türbinleri son kademe kanatları, diskleri veya gövdeleri sürekli olarak yaş buhar fazında kalmalarından dolayı zamanla erozyona uğrarlar. Türbin giriş sıcaklığında oluşan düşüklükler de burada meydana gelen erozyonu arttırma yönünde etki eder. Bunun yanı sıra yükte yapılacak değişiklikler de akış

biçimini değiştireceği için performansın düşmesine neden olabilir. Akış biçimi Şekil 1.8’de görüldüğü gibi buharın hızına, dolayısıyla kinetik enerjisine bağlıdır [10].



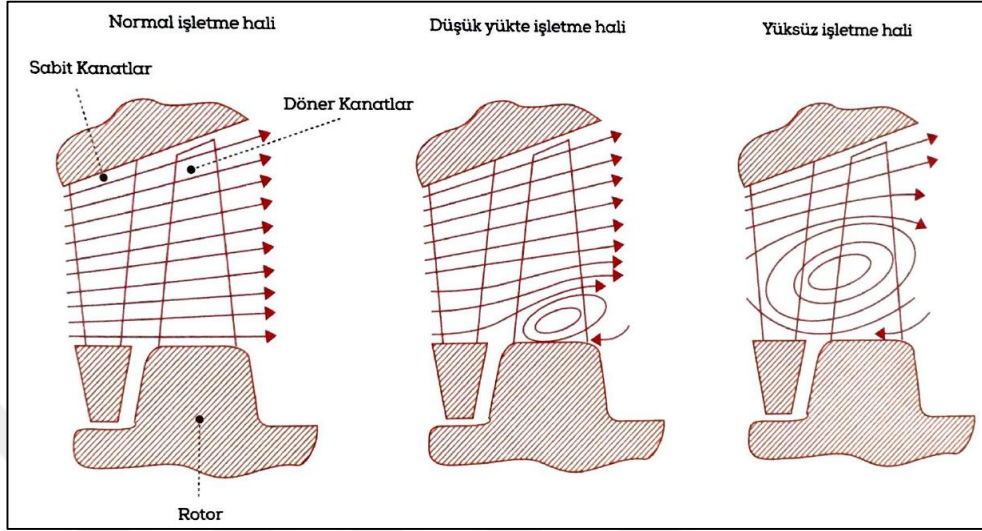
Şekil 1.8. Buharın türbin kademelerinden akış profili [10]

Büyük kanat boylarına sahip kademeler, yeterli buhar debisi ile beslenemez ise, bu kademelerde verim düşer. Böyle durumlar; hava sıcaklıklarının yüksek seyrettiği mevsimlerde yeterli miktarda buhar üretilmemesi sonucu, çok düşük yüklerde çalışma zorunluluğunun olduğu durumlarda ve ara çekişlerin çok fazla olduğu zamanlarda oluşur. Şekil 1.9’da mollier diyagramı yardımıyla türbin yüküne bağlı olarak türbin çıkışı ve hızın değişimi gösterilmiştir [10].



Şekil 1.9. Mollier diyagramı yardımıyla türbin yüküne bağlı olarak türbin çıkışı ve hızın değişimi [10]

Bu esnada buharın taşıdığı ısı enerjisinin düşmesi sonucu türbin son kademe kanatlarında buharın hızı azalacak ve akış profilleri de Şekil 1.10’da görüldüğü gibi değişecektir.



Şekil 1.10. Normal işletme ve kademelerin düşük yüklerde yeterince beslenememesi durumunda kanatlardan geçen buharın akış profili [10]

Buhardaki dalgalanma kanatlarda oluşan sürtünme ısısının artmasına sebep olur. Hava şartları nedeniyle kazanda yeterince buhar üretilmemesi durumunda da sürtünme kaybı artar. Türbin son kademe kanatlarında buharın taşıdığı ısı işlenip mekanik enerjiye dönüşürken aynı zamanda büyük yüzeye sahip bu kanatlardaki sürtünme, buhar sıcaklığını arttırır. Efektif bir operasyon için akış biçimi, kanatların yüzey pürüzlülüğü ve buharın hızıyla doğru orantılıdır [10].

Kondenserli türbinlerde son kademe basıncı kondenserdeki soğutma suyunun sıcaklığı ve debisiyle ilişkilidir. Kondenserli türbinlerde; türbin çıkışı, kondensere giren soğutma suyunun debisi ve sıcaklığı sağlanır. Burada ki basınç soğutma suyu girişine bağlı olan kontrol vanası ile sabit tutulur ve yük değişmesi durumunda kondenser basıncının da sabit kalması sağlanır. Ancak bu durumda türbin girişinin kısılması buhar sıcaklığını arttıracığı için kondenser kapasitesini olumsuz yönde etkileyecektir [10].

2. BUHAR TÜRİNİNDEKİ PERİYODİK BAKIM ÇALIŞMALARI

Özel amaçlı buhar türbinlerindeki günlük, haftalık, aylık yapılması gereken kontroller bulunmaktadır. Bu kontroller ekipmanın minör (B tipi) ve majör (C tipi) bakımlara kadar sağlıklı çalışacağını takip etmek açısından önemlidir. Ekipmanın en çabuk aşınması beklenen kısımları minör bakımda diğer kısımları ise majör bakımda kontrol edilirler. Özel amaçlı buhar türbinlerinde günlük olarak kontrol edilmesi gereken noktalar borulamalarda, yatak labirentlerinde, trip vanası sisteminde, kontrol vanasında, egsoz gövdesi ve kaidedeki yağ kaçaqlarıdır. Haftalık olarak ise trip valf yağ silindirinin hareket aldığı, yapışıklık olmadığı görülmelidir. Kaçaqların takibi için türbin etrafı temizlenmelidir. Aylık olarak da yağ numunesi alınıp yağ analizine gönderilmelidir. Özel amaçlı buhar türbini bakımlarında mümkün olduğu müddetçe orijinal imalatçı malzemeleri kullanılmalıdır. İmalat yaptırılması gerektiği durumlarda mutlaka malzeme analizi yaptırılmalı ve imalatçı malzemesi ile aynı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olması sağlanmalıdır. Malzemelerde onarım yapılması durumunda öncelikle imalatçının yönergelerine uyulmalıdır. İmalatçının herhangi bir yönergesi bulunamaması durumunda tamirat yapılacak malzeme ile ilgili standart (API 612, API 687, ASME SECTION 8 vb.) dikkate alınmalıdır. Minör bakımlar genellikle 15.000-20.000 çalışma saatinde bir, majör bakımlar ise genellikle 48.000 – 55.000 çalışma saatinde bir gerçekleştirilir. Ancak sık devreye girip çıkan türbinlerde imalatçının belirlediği devreye girme sayısından sonra yukarıda belirtilen çalışma saatleri beklenmeyip bakım gerçekleştirilmelidir [15].

2.1. Buhar Türbininde B Tipi Bakım (Minor Inspection)

Buhar türbin modüllerinin B tipi bakımları Şekil 2.1'de görüldüğü gibi (Minor Inspection) kısmi açılan ekipmanlar ve/veya boroskop muayenelerin erişebileceği noktalarda gerçekleştirilir. Bakım hizmetleri, adı geçen ekipmanın kısmi açılıp/kapatılması ve bakım işlerini kapsar. Genel olarak yataklar, sızdırmazlık elemanları, trip ve kontrol valfi, kontrol sistemi, torna çark, kaplin ayarları kontrol edilir. 15.000 Çalışma Saati – 20.000 Çalışma Saati çalışma saatinde B tipi (minör) bakımı yapılması gereklidir ve bakım süresi yaklaşık olarak 1-2 hafta sürebilir [14].



Şekil 2.1. Buhar türbini B tipi bakım çalışmaları [14]

2.2. Buhar Türbini C Tipi Bakım (Major Inspection/Overhaul)

Buhar türbini elemanlarının C tipi bakımları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de görüldüğü gibi (major maintenance/overhaul) ekipmanın tamamen açılmasıyla gerçekleştirilir. Majör bakımdaki kontroller minör bakımı da kapsamaktadır. 48.000 Çalışma Saati – 55.000 Çalışma Saati çalışma saatinde C tipi (majör) bakımı yapılması gerekmektedir. Türbinin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak 3-4 hafta sürebilir [14].



Şekil 2.2. Buhar türbini C tipi bakım çalışmaları-1 [14]



Şekil 2.3. Buhar türbini C tipi bakım çalışmaları-2 [14]

2.3. Buhar Türbininde Bakım Öncesi Yapılması Gereken Testler

Türbin Tam Yükte Çalışırken; türbin vibrasyonları, shaftın aksel pozisyonu, yatak metal sıcaklığı, yağlama yağ basıncı ve sıcaklığı, vakum düşme testi, buhar sızdırmazlık basınç ve sıcaklığı, türbin giriş buhar basınç ve sıcaklık değerleri kontrol edilmelidir [11]. Türbin 3000 Devirde Yüksüz Çalışırken; fonksiyon gruplarının emniyet testleri, vakum trip testi, kontrol yağı pompa testi yapılmalıdır [13]. Türbin torna çarkta iken; makinenin durdurulmasından sonra hız düşüş süresinin ve torna çark sırasında motor enerji sarfiyatının kayıt edilmesi, giriş buharı sızdırmazlık testi, bütün yataklardaki kaldırma yağı basınçlarının kaydedilmesi gerekmektedir [14].

2.4. Buhar Türbini B Tipi (Minor) ve C Tipi (Major) Bakım Kapsamları

2.4.1. Kaplin kontrolü

Özel amaçlı buhar türbinlerinde genellikle diyaframlı veya dişli kaplinler kullanılmaktadır. Dişli kaplinler torku iletmeye yararlar ve aksel yönde shaftların uzamalarına müsaade ederler. Diyaframlı kaplinlerde ise aksel hareket sınırlı kalmaktadır. Kaplin söküldükten sonra kaplinler arası mesafe ölçülerek kaydedilmelidir. Bu değer az veya fazla olması diyaframlı ve şimli kaplinlerde thrust yatak aşınmalarına sebep olabilmektedir. Dişli kaplinlerde de spacerın aksel gezinti miktarı ölçülerek kaydedilmelidir. Kaplin şimlerinin gözle kontrolü

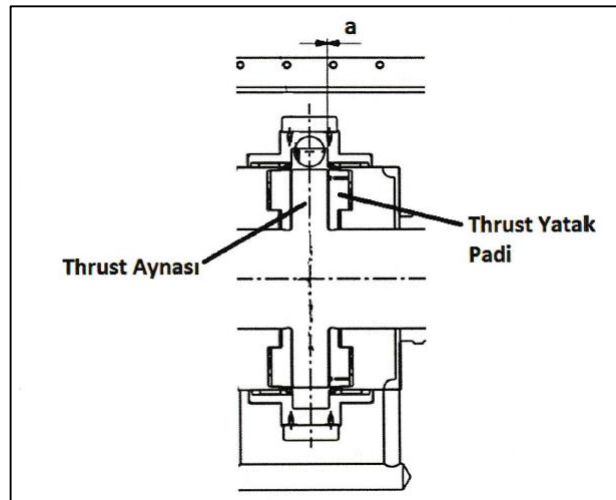
yapılmalıdır. Kaplin şimlerinde deformasyon, yırtık vb. görünüyorsa değiştirilmelidir. Kaplin tokuzu eğer konik geçme ise pull-up değeri ölçülerek kaydedilmelidir. Pull-up değeri ölçümü esnasında o-ringler çıkartılmış olmalıdır. Kaplin takozu sökümünden sonra takozun iç yüzeyi ve şaft konik yüzeyi çatlaklara ve çiziklere karşı kontrol edilmelidir, o-ringlerin basacağı yüzeyler temiz olmalıdır. Kaplin takozu iç yüzeyine prusyan mavisi sürülerek temas testi yapılacaktır. Minimum temas oranı %85 olmalıdır. Düşük olduğu durumlarda yeni kaplin var ise değiştirilmelidir. Kaplin montajı esnasında “pull-up” değeri ve “cold distance between shaft ends” değerleri dikkate alınacaktır. Şaftlar arası mesafe ölçülürken türbinin trans yatağına yaslanmış olmasına ve diğer ekipmanında çalışma pozisyonunda olduğundan emin olunmalıdır [11].

2.4.2. Aksel gezinti ve rotor aksel pozisyonun kontrolü

Aksel gezinti ve rotor aksel pozisyonu ölçülürken yatak hamilleri takılı olmalıdır. Bu iki değer ekipman sökülmeden önce ölçülerek kaydedilmelidir [11].

2.4.2.1. Aksel gezintinin ölçülmesi

Türbin bakıma alınırken rotor aksel gezintisinin Şekil 2.4’te gösterildiği gibi ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için thrust ve radyal yataklar ile yatak keplerinin takılı olması gerekmektedir. Yatak kepleri sökülü halde alınacak olan ölçümler hatalı olabilmektedir. Ölçüm esnasında komparatör saatinin ucu kaplin takozuna veya şaft ucuna dokundurulur. Şaft birkaç kez ileri geri itirilerek değer alınır [11].



Şekil 2.4. Thrust yatak klerens gösterimi [11]

Eğer aksel gezinti toleransların içinde değilse inaktif thrust yatağın arkasında bulunan şimlerle oynanarak toleranslar içine getirilmeye çalışılır. Kullanılan şimlerin malzemesinin korozyon dayanımı yüksek malzemelerden seçilmelidir. Şimleme hem üst yatak hem de alt yataktan aynı anda yapılmalıdır. İlk montajdan sonra eklenecek olan maximum şim miktarı konusunda imalatçının verdiği bilgilere göre hareket edilmeli, eşik değeri geçildiyse yataklar değiştirilmelidir. Fazla şimleme yatakların aşındığının belirtisidir. Şim eklemeleri her bir yatak için kaydedilip saklanmalıdır [12].

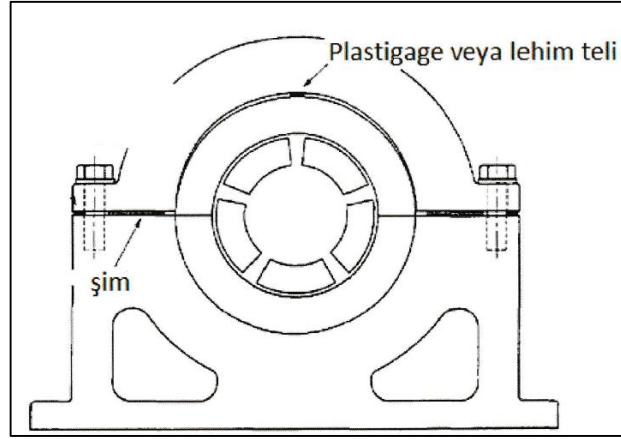
2.4.2.2. Rotor pozisyonu

Rotor pozisyonu rotorun gövdeye göre bulunduğu konumu ifade eder, Bu değer genellikle rotor ile stator arasındaki en yakın mesafe olan nozul ile birinci kademe döner kanatlar arasındaki mesafedir. Rotor aksel gezintisinde herhangi bir değişiklik, ayar yapmadan önce öncelikle rotorun aksel pozisyonu belirlenmelidir. Bu değer aktif thrust yatağın arkasına şim koyularak veya alınarak ayarlanır. Bir kere bu ayar yapıldıktan sonra aksel gezinti miktarı inaktif yataktan ayarlanmalıdır. Rotor aksel pozisyonu ölçülürken rotor aktif yatağa yaslanmış durumda olmalıdır [11].

2.4.3. Pinch ve radyal yatak klerans kontrolü

2.4.3.1. Pinch kontrolü

Radyal yataklar ile hamil arasındaki klerans ekipman devredeyken yatağın boşta kalmasını engellemektedir. Bu değer çok sıkı olursa yatak şekil değiştirebilir, çok düşük ise yuvada dönmeye başlayabilir. Bu yüzden Şekil 2.5'te gösterilen bu değer ölçülerek uygun toleranslara getirilmesi çok önemlidir. Genellikle 0,01-0,04 mm arası bir değer olmakla beraber imalatçı verileri dikkate alınmalıdır. Ölçümü için yatak kepleri öpüşme yüzeylerine 0,2-0,3 mm arası şim koyulur. Bu esnada yatak dış yüzeyine plastigage veya lehim koyularak yatak hamili sıkılır ve şim kalınlığından plastigage' de okunan değer çıkartılarak sıkılık bulunmuş olur. Eğer okunan değer toleranslar içinde değilse yatak hamilini işlemek veya değiştirmek gerekebilir [14].



Şekil 2.5. Yatak ile hamil arası klerens ölçümü [11]

2.4.3.2. Radyal yatak klerans kontrolü

Rotor sökülmeden önce radyal yatak kleranslarının ölçülmesi gereklidir. Tilting padli yataklarda radyal klerans ölçümünde en doğru sonucu veren iki yöntem bulunmaktadır. Component measurement metodu ve shaft lift metodudur. Component measurement metodunu uygulayabilmek için yatakların sökülmüş olması gerekmektedir. Şaft lift metodunda ise yatakların ve hamillerin sıkılı olması gereklidir. Doğruluk ve hata payını en aza indirmek için tercih edilecek olan ilk yöntem şaft lift metodu olmalıdır ancak yatak hasarı oluşabileceğinden uygulaması esnasında son derece dikkatli olunmalıdır. Ölçümlerin termal genleşmelerden etkilenmemesi için mümkün olduğunca oda sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta yapılmalıdır [16].

2.4.3.3. Yatakların kontrolü

Yataklar üzerindeki borulamalar ve kablo bağlantıları söküldükten sonra yatak kepi sökülür. Thrust pedlerinden her seferde bir tane olmak üzere sırayla yuvalarından alınır. Pedlerin tamamı söküldükten sonra retainerin her iki parçası yerlerinden alınır. Bu esnada ped yüzeylerine, thrust aynası yüzeyine ve diğer işlenmiş yüzeylere zarar gelmemesi için dikkatli olunmalıdır. Üst radyal yataklar yerlerinden sökülür. Alt yatak sökülmeden önce rotoru tahta veya benzeri yumuşak bir malzeme ile desteklemek gerekir. Rotorun labirentler üzerine oturtulmasına müsaade edilmemelidir. Yatak parçaları sökülürken kesinlikle etiketleme yapılmalıdır. Sökülen yatakların yüzeylerinde Şekil 2.6'da olduğu gibi gözle ve tahribatsız

muayene (dye penetrant) ile kontrol yapılmalıdır. Yüzeyinde hasar görülen yataklar tekrar kullanılmamalıdır. Eğer mümkünse yataklara ultrasonik test yapılarak babet malzeme ile ped malzemesi arasında en az %95 yapışıklık olduğu görülmelidir. Yatak kleransı üst toleransa yaklaşmış yataklar tekrar kullanılmamalıdır [11].

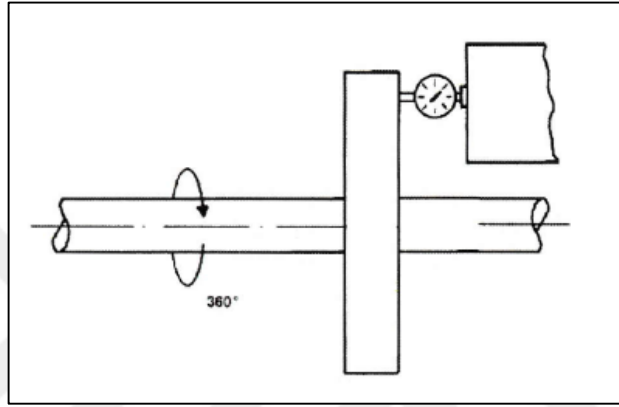


Şekil 2.6. Türbin yatağı dye-penetrant uygulaması [10]

Yatak montajı esnasında prusyan mavisi ile temas testi yapılmalıdır. Bu test hem yatakların eksen kontrolünde hem de yatak dış yüzeyi ile yatak kepi arasındaki baskı yüzeyini göstermek için kullanılır. Prusyan mavisi çok az miktarda kullanılmalıdır. Aşırı kullanımı hatalı sonuç vermesine neden olabilir. Yatağın dış çapına prusyan mavisi sürülür ve yatak yerine koyulup yatak hamili sıkılır. Bu test sonucunda iki yüzey arasında en az %95 temas olmalıdır. Eğer temas %95 ten az ise yatak kepi içindeki high spot temizlenmelidir. Babet yüzeye kesinlikle işlem yapılmamalıdır. Muyluya prusyan mavisi sürülerek yataklar sıkılır ve yatak yüzeyinde muylunun temas ettiği noktalar incelenir. Burada üçgen şeklinde bir yapı oluşuyorsa yataklar birbirini merkezlenmiyor demektir. Bu test eğer yatak aşınmalarında üçgen bir yapı görülürse yapılabilir. Aşınmalar normal ise bu testi yapmaya gerek yoktur. Yatak hamilleri söküldü ise ve sabitleme pimi yeri değiştirildiyse yine yapmak gereklidir. Eğer üçgen bir yapı görünüyorsa yatakların merkezlenmeleri sağlanmalıdır. Yatakların dış çapı ile yatak hamili iç çapı arasındaki sıkılık 0,05-0,01mm arasında bir değer olmalıdır [11].

Tilting pad yataklarda pivot noktası anormal aşınma ve baskıya karşı kontrol edilmeli. Eğer aşırı ezilme, aşınma var ise yatak tekrar kullanılmamalıdır. Dengeleme pabuçları kontrol edilmelidir. Backing ring yüzeyinde görsel kontrol yapılmalıdır.

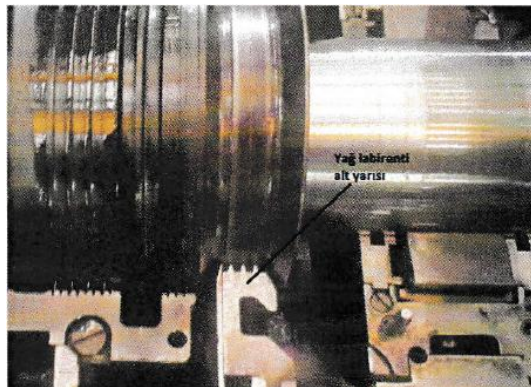
Thrust aynası yerine monte edildikten sonra komparatör saati ile Şekil 2.7’de olduğu gibi run-out değeri kontrol edilmelidir. Toplam run-out değeri (TIR) 0,01mm den fazla olmamalıdır. Bu ölçüm esnasında rotor tezgâha bağlı olmalıdır. Aksi takdirde rotor gezeceği için ölçüm sonucu doğru olmayacaktır. Eksenel gezintiyi ayarlamak için trust yatak arkasına koyulacak şimlerden olabildiğince az sayıda kullanmak gereklidir. Bir tane kalın şim ve bir tanede ince şim kabul edilebilir. Şimlerin düzgün yıpranmamış ve TIR değerinin 0,01mm olmasına dikkat edilmelidir [16].



Şekil 2.7. Thrust aynası run out ölçümü [10]

2.4.4. Yağ labirenti kontrolü

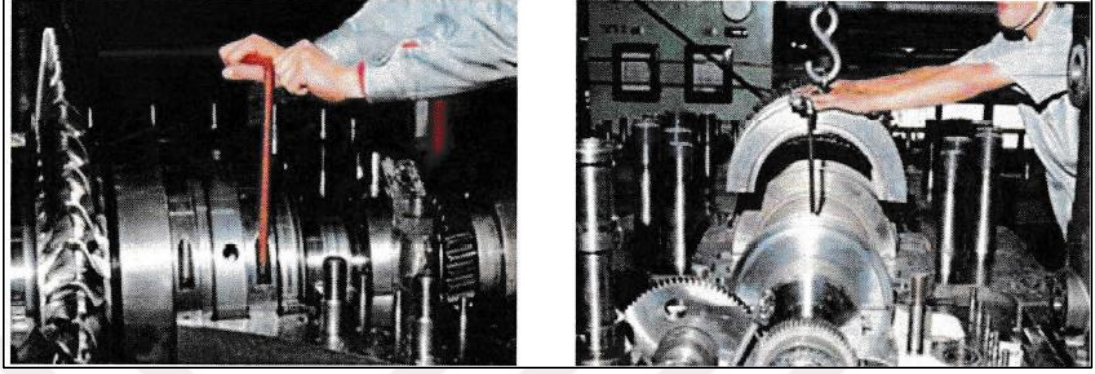
Yağ seallerinin kleransları demontaj esnasında ölçülüp kaydedilmelidir. Üretici verilerinin sınırları dışında kalan sealler tekrar kullanılmamalıdır. Seallerin yüzeylerinde eğilme, sürtme varsa kontrol edilip not edilmelidir. Ölçüm için seal üst kepi yerinden alındıktan sonra rotor ile alt seal arası şimlenerek yapılır. Şekil 2.8’deki gibi ölçümler rotorun her iki tarafından da yapılmalıdır [16].



Şekil 2.8. Yağ labirenti [10]

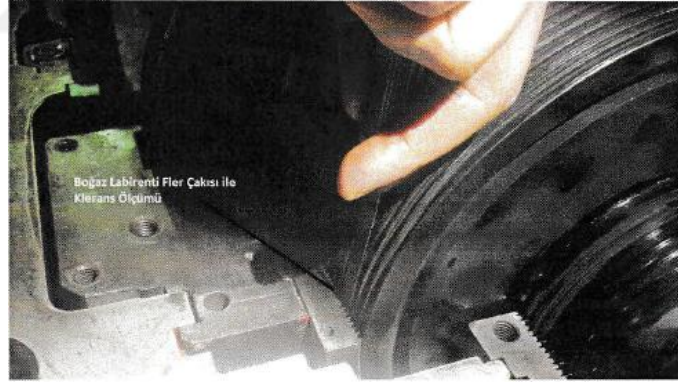
2.4.5. Labirentlerin kontrolü

Labirent üst kepleri Şekil 2.9’da gösterildiği gibi yerinden söküldükten sonra rotorun her iki tarafından şimleme ile klerans ölçümü yapılır [13].



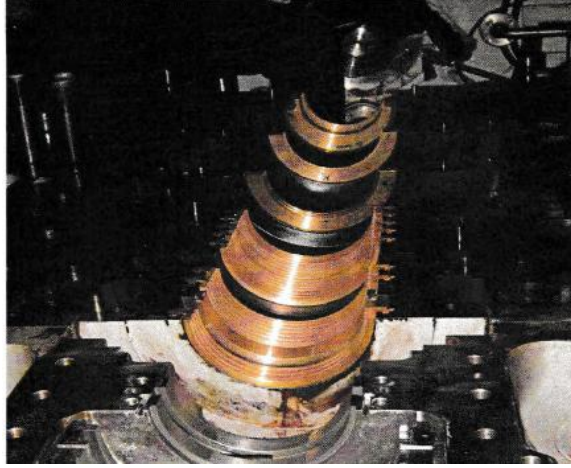
Şekil 2.9. Labirent demontajı [10]

Labirentler eğer yaylı tip ise labirentlerin yuvalarına itirilerek Şekil 2.10’da gösterildiği gibi klerans ölçümü sağlanmalıdır. Yaylı tip labirentlerde mümkün olduğunca yeni yay kullanılmasına dikkat edilecektir [13].



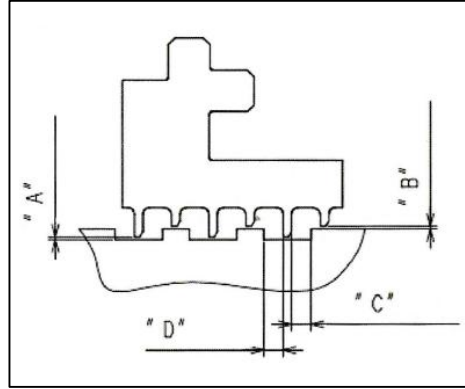
Şekil 2.10. Boğaz labirenti klerans ölçümü [10]

Labirentlerin uçlarında kırılma sürtme deformasyon vb. görülüyorsa tekrar kullanılmayacaktır. Labirentlerden sertlik ölçümü alınmalı eğer toleranslar içinde değilse tekrar kullanılmamalıdır ve Şekil 2.11’de olduğu gibi yeniden montajı yapılmalıdır [13].



Şekil 2.11. Yeni montajı yapılmış olan labirentler [14]

Labirent sökümü esnasında hasar vermemek için yukarı yönde dikkatli bir şekilde sökülmelidir. Diyafram labirentleri ve boğaz labirentleri kleransları Şekil 2.12’de gösterilen bölgelerden ölçülmelidir. Kleranslar, tolerans dışındaysa veya labirentlerde hasar görülmüşse değiştirilmelidir. Labirentler düzgün ve keskin olmalıdır [13].



Şekil 2.12. Boğaz labirenti klerans kontrolü [16]

2.4.6. Gövde ve diyafram / blade carrier kontrolü

2.4.6.1. Gövde kontrolü

Gövdeye bağlı bütün borulamalar ve kablolar sökülür. Gövde yerinden alınırken yataklardan birinin sağından diğerinin solundan iki tane kılavuz kullanılmalıdır. Gövde civataları ve kılavuz pimleri sökülerek gövde yerinden alınır. Gövde vinç ile kaldırılmaya başlanmadan önce üzeri hava ile temizlenmelidir ve ilk önce gövde

üzerinde bulunan civatalar (jack screw) vasıtası ile bir miktar kaldırılması sağlanır. Gövde sökülürken rotor çalışma pozisyonunda olmalıdır. Bu pozisyonda iken rotor ile stator arasındaki mesafe en fazla olacak şekilde olur ve kaldırma esnasında hasar oluşmasının minimuma indirilmesini sağlar. Gövde Şekil 2.13'te gösterildiği gibi yavaşça yerinden alındıktan sonra altına tahta vb. yumuşak bir malzeme koyularak yere indirilir. Gövde alt yüzeyi sızdırmazlık yüzeyi olduğundan çizilmemesine hassasiyet gösterilmelidir [16].



Şekil 2.13. Üst gövde kapağının demontajı [14]

Yere indirilen gövde üzerindeki bağlantılar söküldükten sonra gövde ters çevrilerek diyaframlar ve nozul ringi sökülür. Nozul ringi ekipmanın en kritik parçalarından birisi olup türbinin performansında kayıp var ise gövdeye birleşme yüzeyine temas testi yapılmalıdır. Diyaframlar söküldükten sonra kamalar, kama yerleri, diyaframlar, nozul ringi üzerinde hasar, steam kesmesi, çatlak olup olmadığı kontrol edilir. Korozyon, erozyon ve birikinti olup olmadığına bakılır. Gövde yüzeyi imalatçının belirttiği yöntem kullanılarak temizlenmelidir. Bu esnada probe yüzeylerine, muylulara ve diğer hassas yüzeylere zarar gelmemesine dikkat edilmelidir. Temizlik sonrası yüzeyler oksidasyona karşı yağlanmalıdır. Alt ile üst gövde arasında temas testi yapılmalıdır. Bunun için gövdelerden birinin yüzeyine prusyan mavisi sürülür ve diğerine de dye penetrant developer uygulanır. İki gövde birbirine tork değerinde sıkılır ve tekrar sökülerek temas kontrol edilir. Minimum kontak %85 olmalıdır. Temas genişliğinin en az olduğu yerde 6,35mm olmalı ve bu gövde saplamalarının iç tarafında olmalıdır. Bu kontrol eğer kaçak var ise yapılmalıdır. Amaç onarım yapılacak bölgeyi belirlemek olmalıdır. Türbin toplanırken bu yüzeye sıvı conta

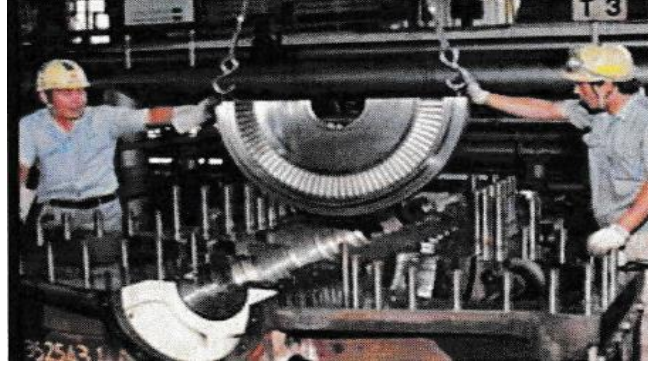
uygulanacaktır. Gövde üzerinde çatlak kontrolü için dye penetrant uygulanacaktır. Kondense türbinlerinde özellikle son kademelere dikkat edilmelidir. Gövdeyi yerine bağlarken sızdırmazlık contasının sıcaklık dayanımına dikkat edilmelidir. Contaların raf ömrü olduğundan dolayı imalat yılına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Yatak dış çapı ile yuva iç çapı arasındaki sıkılık 0,01 ile 0,05 mm arasında bir değer olmalıdır. Bu değerlerin dışında bir değer okunduğunda çalışma esnasında ekipmanın hasar görmesine neden olabilir. 0,01mm altında okunan değerler gevşeklik yapar, 0,05mm üzerindeki değerler ise yatağı aşırı sıkacağından dengesiz bir yük dağılımına neden olacaktır. Bu durumu gidermek için aşağıdaki yöntemlerden herhangi biri tercih edilebilir;

- Yatak değiştirilmelidir.
- Yatak splitline yüzeyinden 0,1mm den fazla olmamak kaydıyla malzeme kaldırılmalıdır. 0,1mm den fazla kaldırılırsa yuvanın da tekrar işlenmesi gerekecektir. (Yüzeydeki düzgünlük (flatness) toleransı +/- 0,01mm olmalıdır.
- Yatak hamili yüzeyi krom kaplama yapılarak tekrar işlenmelidir.
- Yatak ile yatak hamili arasına şim atılabilir.

Yatak yuvası ile yatak dış kısmına temas testi yapılmalıdır. Yatak dış kısmına prusyan mavisi sürülerek yerine bağlanacaktır. Kabul edilebilir minimum temas %85 olmalıdır. Eğer daha düşük bir temas elde edilirse yatak hamili içindeki tepecikler taşlanmalıdır. Temas testi esnasında az miktarda prusyan mavisi sürülmelidir. Aksi takdirde yanlış sonuç elde edilebilir. Gövde saplamalarında her defasında uygun sıcaklığa dayanıklı anti-seize sürülecektir. Gövde tekrar yerine koyulurken rotorun çalışma pozisyonunda olması gerekir. 4 tane kılavuz kullanılarak gövde oturtulur ve bu esnada yatak merkezleme (dowel) pimleri takılmalıdır. Gövde oturtulduktan sonra rotor döndürülerek sıkışma olmadığı görülmelidir. Gövde saplamaları sıkılırken ilgili imalatçının verdiği sıkma sırası ve tork prosedürü uygulanmalıdır [16].

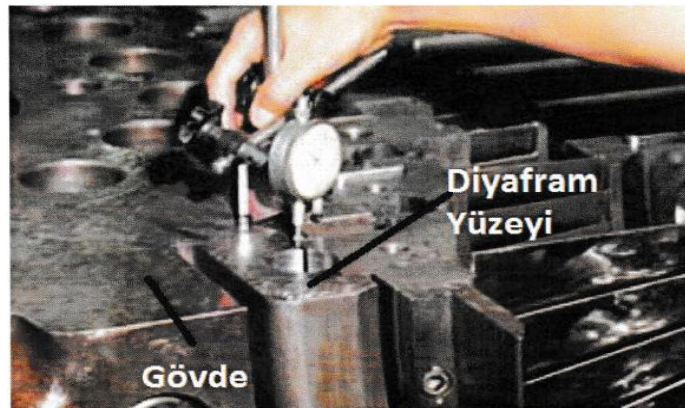
2.4.6.2. Diyafram kontrolü

Diyaframlar Şekil 2.14'te görüldüğü gibi bütün majör bakımlarda sökülerek kontrol edilmelidir. Söküm esnasında markalama yapılmalıdır [12].



Şekil 2.14. Diyaframların demontajı [11]

Rotor duruyorken ve çalışma esnasında sehim yaptığından dolayı diyaframlarda rotorun şekline göre montajlanırlar. Bu ölçüleri Şekil 2.15’te gösterildiği gibi demontaj esnasında kaydetmek montaj esnasında yardımcı olacaktır. Bunun için gövde sızdırmazlık yüzeyi ile diyafram yüzeyleri arasındaki yükselti farkı her bir diyafram için ölçülerek kaydedilmelidir. Diyaframlar söküldükten sonra kir, pas ve diğer yabancı maddelerden arındırılmak için temizlenmelidir. Bunun için 200 mesh grit veya daha küçük alüminyum oksit, kum veya cam kullanılabilir. Temizlik sonrası NDT yapılacak olup sonrasında koruyucu yağ ile yağlanmalıdır. Kumlama sırasında diyafram üzerindeki steam akış kanallarına dikkat edilmelidir. Bu yüzeylerde pürüzlülük oluşması sürtünme kayıplarını arttırıp verim kaybına neden olabilir. Diyaframların öpüşme yüzeyleri görsel olarak kontrol edilmelidir. Kademeler arası steam kaçağı olmadığına emin olmak için yüzey düzgünlüğü kontrolü yapılmalıdır. Buradan oluşacak kaçaklar performans azalmasına neden olabilir. Gövde yüzeylerinde kullanılan sızdırmazlık ürünlerinin diyaframlar arasında sızdırmazlık sağlamak amacıyla kullanılmamalıdır [12].



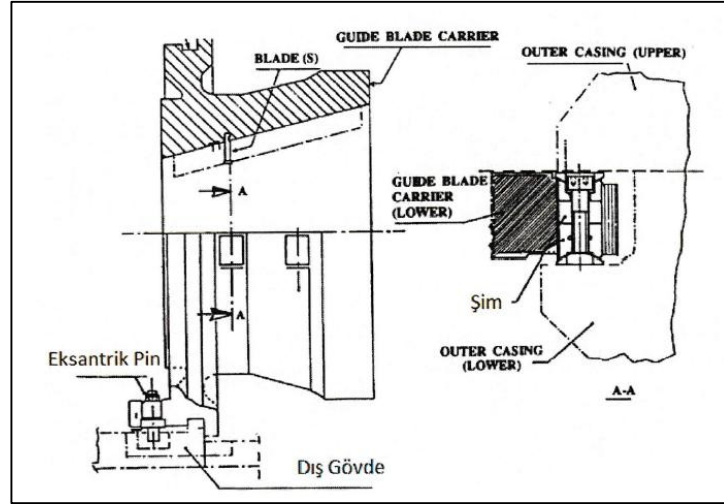
Şekil 2.15. Diyaframın gövdeye göre pozisyonunun ölçülmesi [10]

Diyaframlar türbin devreye girdiğinde kanatçıklardaki sürtünmenin de etkisiyle en hızlı genişecek parçalardan birisidir ve gövdeden daha erken genişir. Genleşmenin önemli bir kısmı radyal yönde olup aksel yöndeki genişme diyaframların et kalınlığı az olduğundan düşük olur. Diyaframlar genelde merkezde (Alt-üst gövde birleşme çizgisinde) sabitlenmiş olup radyal yönde gövde iç yüzeyine doğru uzamalarına izin verilir. Türbin gövdesi alt ve üst yarısında genellikle diyaframın içine doğru uzanan düz bir kama bulunur. Diyaframın içinden geçen bir cıvata bu kamaya temas eder ve cıvata ile oynanarak diyaframın gövdeye göre konumu belirlenmiş olur. Alt diyaframlar genellikle alt kısımlarından gövdeye kama ile geçme olurlar. Kama gövdeye sıkı geçme olup diyaframla arasında 0,25mm klerans bulunur. Kamanın ucu ile diyafram arasında olması gereken klerans için imalatçı verilerine bakmak gerekir. Bu klerans sayesinde kama diyaframın radyal yönde uzamasını kısıtlamayacak, sadece diyaframa uzama esnasında kılavuzluk yapacaktır [16].

Bazı durumlarda da diyaframın alt kısmı ile gövde arasında şim bulunur. Şimler vasıtası ile diyaframın dikey konumdaki pozisyonu ayarlanır, gövde sızdırmazlık yüzeyinin olduğu bölgede ise yanıl olarak (lateral) yeri sabitlenir. Üst kapaktaki diyaframlarda aynı şekilde montajlanırlar. Bu durumda da bir mandrel kullanılarak rotorun sehimi dikkate alınarak diyaframların altındaki şim miktarları belirlenir. Rotor duruyorken veya çalışıyorken bir sehimi yapacaktır ve diyaframları da bu sehimi hesaba katarak montajlarını yapmak gerekir. Eğer bütün diyaframlar aynı eksende monte edilirlerse rotorun diyaframlara sürtme ihtimali çok yüksek olacaktır. Bunun için yöntem ne olursa olsun rotorun sehimi hesap edilerek diyaframların montajı gerçekleştirilmelidir [11].

2.4.6.3. Blade carrier kontrolleri

Blade carrier'larda yapılacak olan kontroller ile diyaframlara yapılacak olan kontroller hemen hemen birbirinin aynıdır. Aralarındaki fark montaj esnasında blade carrier'lerin altlarında eksantrik pimler bulunur. Bu pimler carrier'i radyal yönde ayarlamayı sağlar ve ekipman çalışıyorken radyal yönde sabitler. Yükseklikleri Şekil 2.16'da A-A detayında görülen şimler vasıtası ile ayarlanır [13].



Şekil 2.16. Blade carrier [10]

2.4.7. Rotor kontrolü

Üst kapak söküldükten sonra rotorda görsel kontrol yapılır. Herhangi bir birikinti, kirlilik görülürse kaydedilmelidir. Şekil 2.17’de görüldüğü gibi rotor yerinden alınırken sabit parçalara sürmemesine dikkat edilmelidir [17].



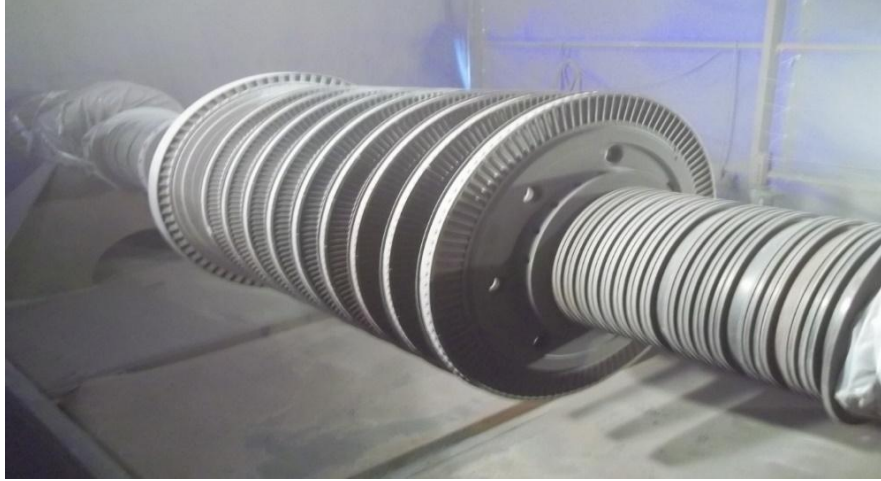
Şekil 2.17. Rotorun demontajı [14]

Yerinden alındıktan sonra yatak yerleri teflon veya tahta malzemeye temas edecek şekilde Şekil 2.18’de görüldüğü gibi oturtulur [17].



Şekil 2.18. Rotorun desteklere montajı [14]

Rotor desteğe oturtulduktan sonra görsel olarak erozyon veya korozyon kontrolü yapılır. Sonrasında Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de görüldüğü gibi üreticinin belirlemiş olduğu teknik özelliklere sahip alüminyum oksit, kum veya cam ile temizlenir. Temizlik esnasında prob yüzeyleri ve varsa diğer hassas yüzeyler korunacaktır. Eğer kaplamalı yüzey var ise yüzeyin durumuna göre karar verilecektir. Shroud bandı, kanatlar ve diğer stres noktaları sıvı penetrasyonla kontrol edilir. Sonrasında rotor yüzeyleri ince bir yağ ile kaplanır ve korumaya alınır [17].



Şekil 2.19. Rotorun kumlama öncesi görünümü [14]

Rotor üzerindeki hassas yerler (yatak bölgeleri, prob yüzeyleri ve thrust diski) kontrol edilir. Rotorda kumlama yapıldıysa veya çalışma esnasında vibrasyon varsa yüzeyleri kontrol mutlaka balans yaptırmak gereklidir [17].



Şekil 2.20. Rotorun kumlama çalışmaları [14]

Bazı rotorların prob yüzeyleri renksiz ve lekelenmiş gibi görünebilir. Bunun sebebi yüzeyde elektriksel run-out'u engellemek olduğundan bu yüzeyleri aynı şekilde korumaya özen gösterilmelidir. Rotor tezgâha kaldırılarak her kademedeki run-out değeri ölçülerek kaydedilir. Eğer türbine bakım esnasında yedek rotor koyulacaksa montajdan önce mutlaka balans kontrolü yapılmalıdır. Rotor yerine koyulurken konumu nozul ringi ile 1. kademe döner kanatlar arasındaki kleransa göre ayarlanır. Rotor konumu ayarlandıktan sonra aksel gezinti ayarlanmalıdır. Rotorda sıkı geçme parçalar(thrust diski, labirentler, diskler vb.) söküldüyse sıklıkları ölçülüp kaydedilmelidir. Ölçüm alınacak noktalar yatak bölgeleri, prob yüzeyleri, sızdırmazlık yüzeyleri, her bir diskin ön ve arka tarafı. Problemlerin gösterdiği değerler shaft yüzeyinde taşlama, polisaj veya diğer bir işlem yapıldıysa hatalı sonuç verebilir. Bu yüzden probe yüzeylerine herhangi bir kaplama veya tamir yapılmamalıdır. Yapılması durumunda elektriksel ve mekanik runout değerlerinin korunduğu kontrol edilmelidir.

Rotor Montajı Şekil 2.21'de görüldüğü gibi aşağıdaki sıralama ile yapılmalıdır;

- Alt gövdeden kontrol için sökülen stim labirentleri, yağ labirentleri, balans drumı, alt yataklar ve varsa diğer parçalar takıldıktan sonra rotor yerine yerleştirilir.
- Rotor ile gövde üzerinde bulunan parçaların çalışma kleransları bu aşamadayken alınır. Eğer düzeltilmesi gereken bir durum var ise bu aşamadayken yapılmalıdır.



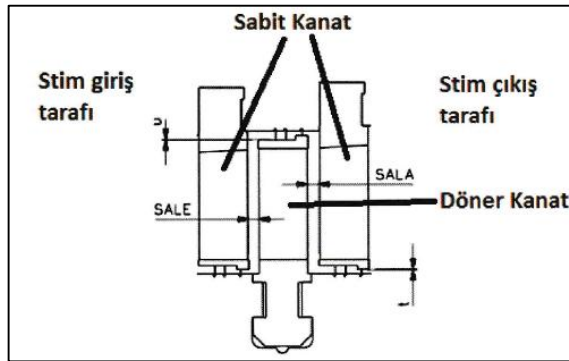
Şekil 2.21. Rotor montaj çalışmaları [14]

2.4.7.1. Rotor klerans ölçülmesi

Rotor ile gövde arasındaki kleranslar okunurken rotorun her iki tarafından ölçüm yapmak gereklidir. Eğer steam labirentleri yaylı tip ise yaylar sıkıştırılmalıdır ölçüm esnasında. Eksenel ölçümler alınırken rotorun aktif yatağa yaslı olması gerekmektedir. Ölçümlerin yazıldığı kâğıda hangi yatağın aktif yatak olduğu yani rotorun ne tarafa itildiği yazılmalıdır [17].

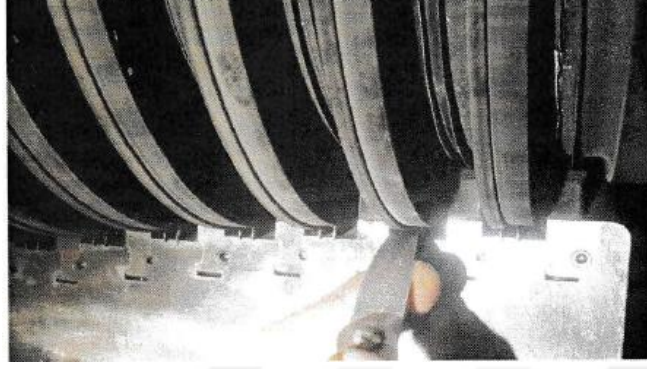
2.4.7.2. Döner kanatlar ile sabit kanatlar arası klerans ölçümü

Rotor yerine koyulduktan sonra döner kanatlar ile diyaframlar arasındaki Şekil 2.22’de gösterildiği gibi klerans ölçülür. Döner kanadın çıkış tarafındaki ölçü 'sala', giriş tarafındaki ise 'sale' olarak verilmiştir, yine döner kanat ucu ile gövde üzerindeki labirentlerin arasındaki klerans (u) ve diyaframların ucu ile rotor üzerindeki labirentler arasındaki klerans (t) ölçülerek imalatçı verilerinin içinde olduğu kontrol edilmelidir [16].



Şekil 2.22. Rotor kleransları [16]

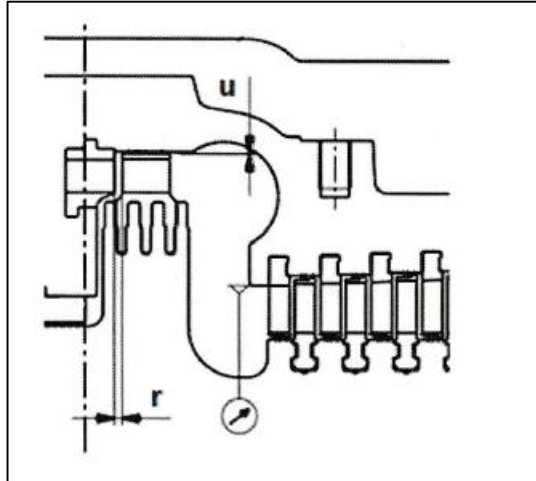
Bu ölçümler rotorun her iki tarafından yapılmalıdır. Şekil 2.23'te döner kanat ucu ile gövde üzerindeki labirentler arasındaki 'u' kleransının filer çakısı ile ölçümü gösterilmiştir [11].



Şekil 2.23. U kleransın ölçülmesi [11]

2.4.7.3. Nozul ile 1. kademe döner kanatlar arası klerans ölçümü

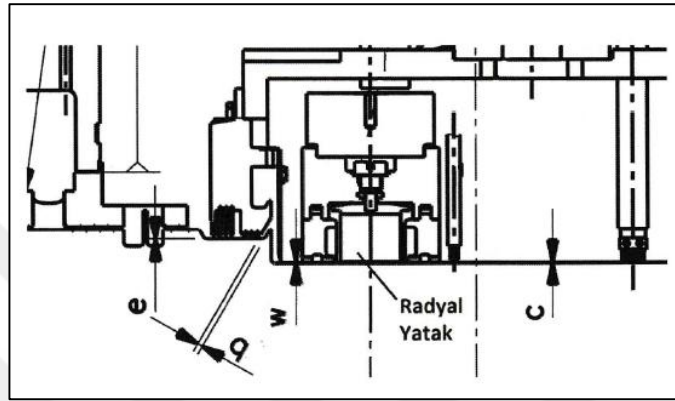
Nozul öncesinde yüksek basınç ve düşük hıza sahip kızgın buhar nozullardan geçerken basıncı düşürülür ve hızı artar. Buharın en yüksek hıza sahip olduğu yer bu bölgedir. Nozullar ile 1. Kademe döner kanatları arasındaki 'r' kleransının verime olan etkisi de yüksektir. Bu klerans ve 1. Döner kanat ile gövde üzerindeki labirentler arasındaki klerans filer çakısı ile rotorun her iki tarafından Şekil 2.24'te gösterildiği gibi ölçülür [12].



Şekil 2.24. Nozul ile 1. kademe döner kanat arası klerans ve 1. kademe u ölçüsü

2.4.7.4. Radyal yatak ve yağ labirent kleranslarının ölçümü

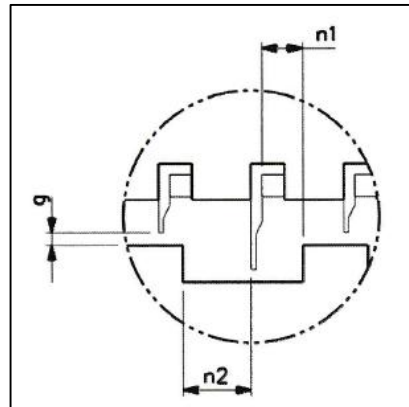
Radyal yatak ve yatak hamili etrafındaki yağ labirentlerinin kleransları Şekil 2.25'te gösterildiği gibi ölçülür ve imalatçı verileri ile karşılaştırılır. Labirent kleransları ölçülürken rotor yerinde olmalı ölçümler her iki taraftan alınmalıdır. Yatak kleransı ise yukarıda radyal yatak klerans ölçümü bölümünde anlatıldığı gibi yapılmalıdır [16].



Şekil 2.25. Radyal yatak ve yağ labirent kleranslarının ölçümü [11]

2.4.7.5. Balans dramı labirent kleranslarının ölçümü

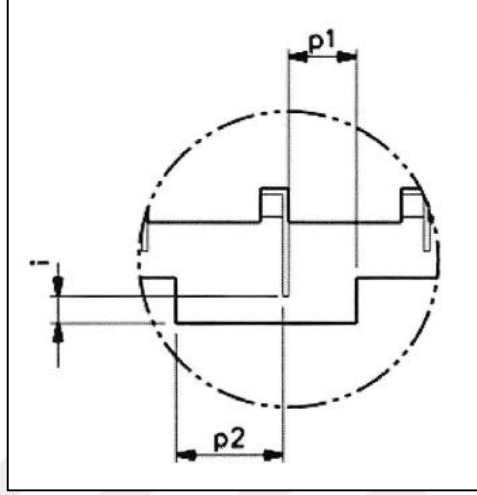
Balans dramı kademeler arasındaki basınç farkını korur ve rotorun aksel yükünü hafifletir. Şekil 2.26'da gösterilen ölçümler filer çakısı ile rotorun her iki tarafından aşağıda gösterilen bölgelerden yapılacaktır [12].



Şekil 2.26. Balans dramı labirent kleranslarının ölçümü [12]

2.4.7.6. Kademeler arası steam labirenti klerans ölçümü

Rotorun HP bölümü ile LP bölümünü ayıran labirentlerden Şekil 2.2.7’de belirtilen klerans değerleri filer çakısı ile alınır [16].



Şekil 2.27. Orta buhar sızdırmazlık ring klerans ölçümü [16]

2.4.8. Trip vanası kontrolü

Trip vanaları ekipmanın herhangi bir olumsuz durum karşısında durmasını sağlayacak emniyet ekipmanı olduğundan bakımlarına hassasiyet gösterilmelidir. Trip vanaları mekanik ve hidrolik olmak üzere iki tipte olurlar. Şekil 2.28’de gösterildiği gibi demontajı yapılmalıdır. Valf mili, siliv, silindir, piston ve valf görsel olarak kontrol edilmelidir. Valf siti ve plug sıvı penetrant ile kontrol edilmelidir. Valf milinin (spindle) dış çapı ve silivin iç çapı ölçülerek aradaki klerans kaydedilir [13].



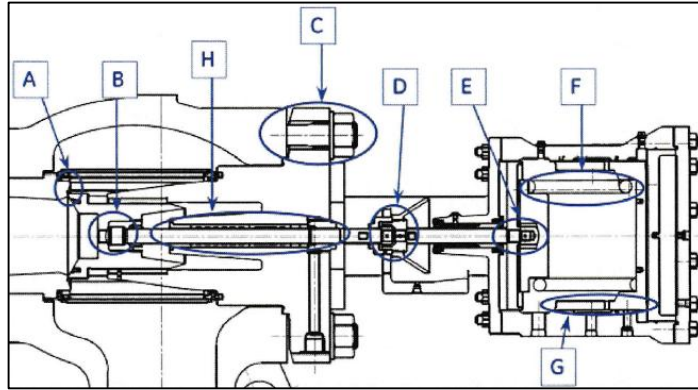
Şekil 2.28. Trip vanası demontajı [14]

Valf milinin Şekil 2.29’da gösterildiği gibi run-out ölçümü yapılır. Trip yayı görsel olarak kontrol edilir. Eğer yedek yay varsa bakım esnasında değiştirilmelidir. Trip vanası öncesindeki filtre (strainer) kontrol edilmelidir. Yırtık var ise onarılmalıdır [13].



Şekil 2.29. Stem run-out ölçümü [14]

Hidrolik bir trip vanası üzerinde kontrol edilmesi gereken bölgeler referans olarak Şekil 2.30’da gösterilmiştir. Bunlara ilave olarak imalatçının bakım prosedüründe belirttiği ölçümler ve diğer kontroller yapılmalıdır [12].



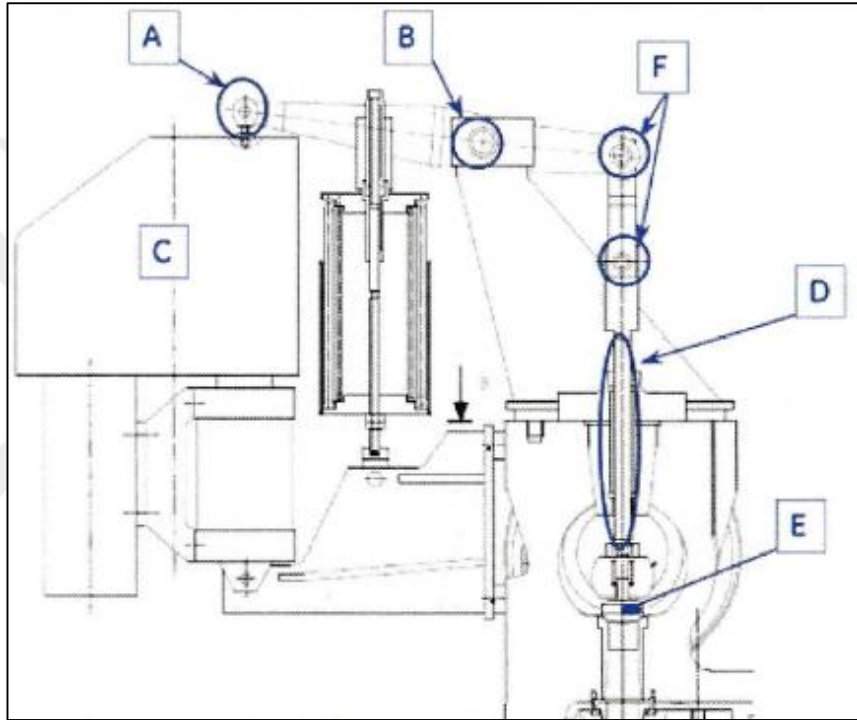
Şekil 2.30. Hidrolik trip vanası kontrol noktaları [12]

- A- Dış plug ve difüzör oturma yüzeyleri çatlak ve aşınmalara karşı kontrol edilmelidir.
- B- İç plug oturma yüzeyi çatlak ve aşınmalara karşı kontrol edilmelidir.
- C- Vana gövde saplamaları çatlaklara ve uzamaya karşı kontrol edilmelidir.
- D- Vana mili kaplini çatlak ve boşluk kontrolü yapılmalıdır.
- E- Silindir pistonu kaplini aksenal boşluğu kontrol edilmelidir.

- F- Yay üzerine çatlak kontrolü yapılmalıdır.
- G- Hidrolik pistonda aşınmalara bakılmalıdır.
- H- Vana milinde aşınma kontrolü yapılmalıdır [12].

2.4.9. Kontrol vanası kontrolü

Poppet tipi bir kontrol vanasındaki tipik kontrol noktaları Şekil 2.31’de belirtilmiş olup ölçümler için imalatçı bilgilerine bakılmalıdır [16].



Şekil 2.31. Poppet tipi kontrol vanası referans kontrol noktaları [16]

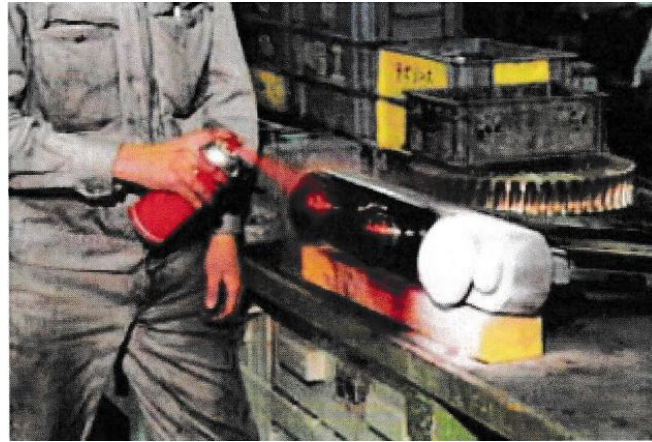
- A- Pivot noktası
- B- Pivot noktası
- C- Silindir
- D- Valf mili
- E- Vana siti ve plug
- F- Pivot noktaları [16].

Kontrol vanası Şekil 2.32’de gösterildiği gibi demonte edilmelidir [16].



Şekil 2.32. Kontrol vanası demontajı [14]

Kontrol vanasının bağlantı noktaları boşluk veya sıkışıklık durumları için kontrol edilmelidir. Valf mili yüzeyinde çizik veya başka bir hasar durumu kontrol edilir. Valf siti ve diskine sıvı penetrant uygulaması yapılır [16].



Şekil 2.33. Dye check (Penetrant test) [16]

2.4.10. Yağlama sistemi kontrolleri

Yağlama sistemi onarım için ekipman durdurulmadan önce kontrol edilip kaçak olan noktalar belirlenmelidir. Yağlama sistemi üzerinde bulunan RV'ler, kontrol vanaları ve ölçü aletleri kontrol edilmelidir. RV'lerin testleri minör ve majör bakımlarda gerçekleştirilmelidir. Yağ soğutucu, soğutma suyu hatları ve filtreler kontrol edilmelidir. Ana ve yardımcı yağlama pompaları ilgili ekipman imalatçısı yönergelerine göre kontrol edilmelidir. Yağ numunesi alınıp analize gönderilmelidir. Jacking oil sistemi var ise borulamaları kontrol edilmeli, eskime yırtık vb. var ise değiştirilmelidir [16].

2.4.11. Balans

Rotor bakıma alındığında eğer üzerinde parça değişikliği veya başka bir işlem yapılırsa balans kontrolünün yapılması gereklidir. Eğer eski rotor kullanılmayıp yedek rotor kullanılacaksa bakım öncesi bu rotorun balansını yaparak hazır bekletilmelidir. Yedek rotorları yüksek hız balansı yapmaya gerek olmayıp düşük hız balansı yapılacaktır. Daha sonra imalatçının düşük hız balans değeri ile karşılaştırılacak, eğer aynıysa yüksek hız balansı yapmadan yerine koyulacaktır. Bu standartta yer alan türbinlerin rotorlarının balansında rotor balans standardı dikkate alınmalıdır [17].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Buhar Türbini

Akçansa Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde bulunan Şekil 3.1’de gösterilen 15 MW gücünde Hangzhou marka buhar türbini, generatörü ve yardımcı sistemlerinin 15.000, 30.000 ve 55.000 çalışma saatindeki minör bakım çalışmalarını kapsamaktadır. Minör bakım kapsamında yapılan bakım çalışmaları; radyal ve aksel yatakların bakımları, trip ve kontrol vanaları bakımları, vakum sisteminin bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, generatör soğutma eşanjör temizliği, generatör sargılarının kontrolü, ikaz sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıkılık kontrolü ve kondenser bakımının ve temizliğinin yapılması işleri içermektedir. Buhar türbinine ait teknik özellikler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bakımı yapılan buhar türbininin genel görünümü [19]

Tablo 3.1. Buhar türbinin teknik özellikleri [13]

Model	BN16-1,25/0,2
Type	Condensing Turbine
Rated Power	16000 kW
Turbine rated speed	3000 r/min
Turbine first stage critical speed	~1850 r/min

Tablo 3.1. (Devam) Buhar türbinin teknik özellikleri [13]

Generator rated speed	3000 r/min
Inlet pressure	1,25 (0,7 ~ 1,5) MPa
Inlet Temperature	335 (270 ~ 390) °C
Condensing pressure	0,01 MPa
Second steam inlet pressure	0,2 MPa
Second steam inlet temperature	121 °C
Circulation cooling water temperature	Normal: 27 °C, Max.: 33 °C

3.1.1. B tipi (minör) 15.000 çalışma saati bakım çalışmaları

Buhar türbini ve generatör yataklarının kontrolü ve bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, vakum sisteminin bakımı, kondenser temizliği, generatör eşanjör sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıkılık kontrolü, generatör sargılarının kontrolü, megger testlerinin yapılması gibi çalışmalar yapılmıştır. Tablo 3.2’de on beş bin çalışma saatindeki B tipi bakım çalışmalarına ait amaç ve zaman tablosu gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Amaç ve zaman - 15.000 çalışma saati [19]

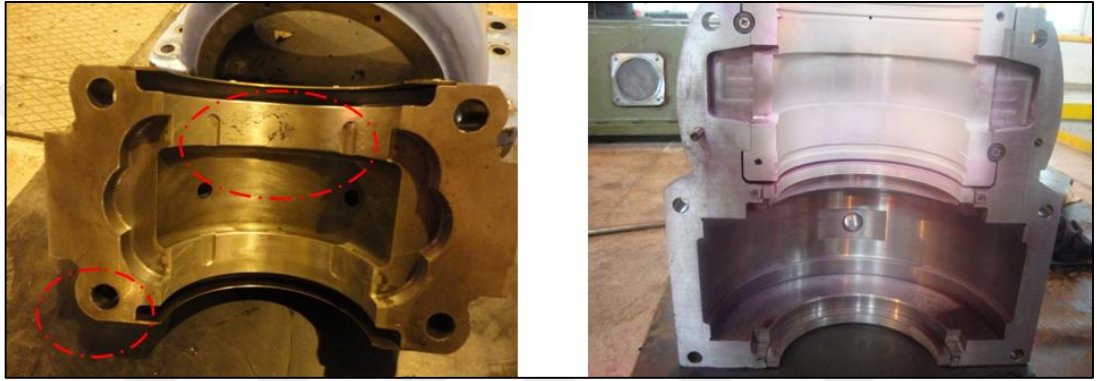
Amaç ve Zaman	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
Hangzhou Buhar Türbini 15.000 Saatlik (B tipi) Minör Bakımı	17.04.2013	23.04.2013

3.1.1.1. Yatakların kontrolü ve bakımı

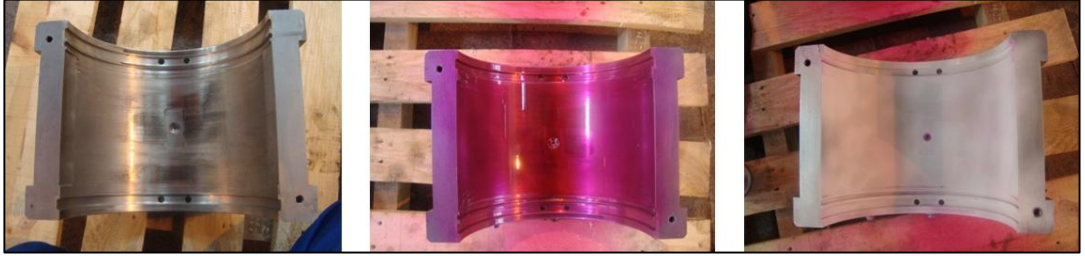
- 1, 2, 3 ve 4 nolu yatakların demontajı Şekil 3.2’de gösterildiği gibi yapıldı,
- Axial gezi değeri ölçüldü,
- Rotor ile yatağın pedestala pozisyonu ölçüldü,
- Yatak yağ labirent boşlukları ölçüldü,
- Rotor ile yatak arası boşluk ölçüldü,
- Yatakların iç yüzeylerine Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te gösterildiği gibi penetrant testi yapıldı,
- 1,2 ve 3 nolu yatakta herhangi bir problem tespit edilmedi, 4 nolu yatakta Şekil 3.3’de gösterildiği gibi tespit edilen çatlaklar sebebiyle yatak değişimi yapıldı,
- Montaj değerleri ölçülüp, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi yatakların montajı tamamlandı.



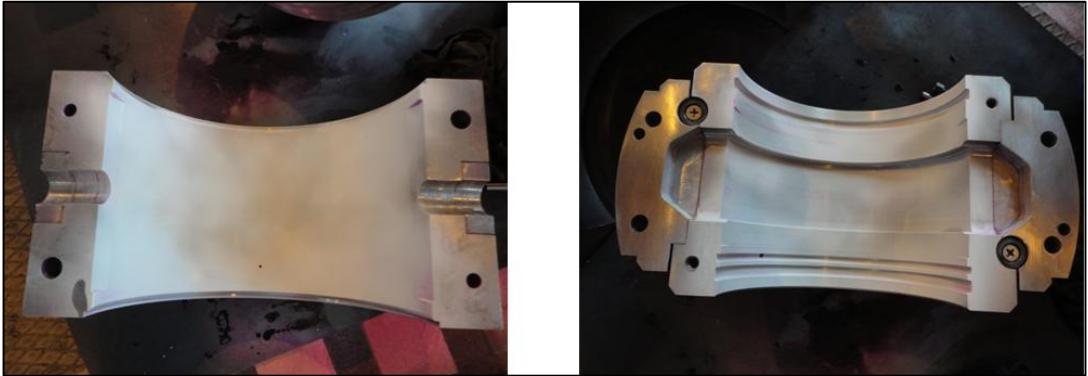
Şekil 3.2. (1) nolu ve (4) nolu yatakların demontajı [19]



Şekil 3.3. (4) nolu yatakta tespit edilen çatlaklar ve 1 nolu yatağın üst kep PT uygulaması [19]



Şekil 3.4. (1) nolu yatağa ait alt kep PT uygulaması [19]



Şekil 3.5. (2) nolu ve (3) nolu yatağa ait üst keplere PT uygulaması [19]



Şekil 3.6. 1 nolu ve 4 nolu yatakların montajı ve alıştırma işlemleri [19]

3.1.1.2. Trip (ESV) ve kontrol (Governer) vanalarının kontrolü ve bakımı

- Sağ ve Sol trip (ESV) vanalarının demontajı yapıldı,
- Kontrol(Governer) vanası genel olarak kontrol edildi ve fonksiyon testleri yapıldı,
- Demonte edilen vana parçalarının temizliği yapıldı,
- Vanalardaki sızdırmazlık elemanları (sealing ve o-ringler) Şekil 3.7’de gösterildiği gibi değiştirildi,
- Vanaları kontrolü ve bakımı tamamlandıktan sonra Şekil 3.8’de gösterildiği gibi yerlerine montajı yapıldı.



Şekil 3.7. Trip vanalarının demontajı ve sızdırmazlık elemanlarının değişimi [19]



Şekil 3.8. Trip vanalarının yerine montajı ve kontrollerinin yapılması [19]

3.1.1.3. Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları

- Hangzhou marka buhar türbini 15.000 saatlik minör bakımı kapsamında, yağlama sisteminin Şekil 3.11’de gösterildiği gibi bakımı, virör sisteminin Şekil 3.12’de gösterildiği gibi bakımı, vakum sisteminin Şekil 3.10’da gösterildiği gibi bakımı ve Şekil 3.9’da gösterildiği şekilde kondenser temizliği gibi çalışmalar yapıldı,
- Generatör soğutma sistemi, eşanjör temizliği su jeti yardımıyla Şekil 3.13’de gösterildiği gibi yapıldı,
- Generatör elektrik bağlantı noktalarının, ikaz trafosunun, yıldız bağlantı noktalarının, klemenslerin sıkılık kontrolü ve genel temizliği Şekil 3.14’de gösterildiği gibi yapıldı,
- Generatör sargıların göz ile kontrolü ve temizliği yapıldı,
- Megger testleri Şekil 3.15’de gösterildiği gibi yapıldı.



Şekil 3.9. Kondenser temizliğinin su jeti yardımıyla yapılması [19]



Şekil 3.10. Vakum sistemine ait pompaların bakımları [19]



Şekil 3.11. Türbin yağlama sisteminin bakım çalışmaları [19]



Şekil 3.12. Virör sisteminin bakımı [19]



Şekil 3.13. Generatör soğutma sisteminin bakımı [19]



Şekil 3.14. İkaz trafosu ve fırçaların bakımı [19]



Şekil 3.15. Generatör Megger testlerinin yapılması [19]

3.1.1.4. Devreye alma çalışmaları

Şartname kapsamındaki buhar türbini, generatörü ve yardımcı sistemlerin bakımı tamamlandıktan ve genel çevre temizliği yapıldıktan sonra türbin devreye alma çalışmalarına, 23.04.2013 tarihinde, saat 09:09'da soğuk start prosedürüne uygun olarak, Akçansa personeli tarafından başlandı. 23.04.2013 tarihinde, saat 11:23'te türbin devreye alındı. Vibrasyon değerlerinde herhangi bir problem tespit edilmedi ancak 4 nolu yatak sıcaklığının maksimum değere yakın bir değerde seyrettiği ve herhangi bir sıcaklık düşüşünün olmadığı belirlenince türbin, saat 11:57'de devre dışı bırakıldı ve 4 nolu yatak demonte edilip incelendi. Yapılan inceleme sonucunda, 4 nolu yatak ile rotor arasındaki yağ film boşluğunun yeterli olmadığı tespit edildi. Ayrıca devreye alma esnasında yeterli yağ film boşluğu sağlanamadığı için rotorun alt yatağı aşındırdığı görülmüştür. Yağ film boşluğu tekrar raspa yardımıyla Şekil 3.16'da gösterildiği gibi açıldı, alt ve üst kep arasına 0,30 mm kalınlığında şim yerleştirilip, demontaj protokolünde alınan ölçüler doğrultusunda tekrar montajı tamamlandı. Türbin devreye alma çalışmalarına tekrar başlandı ve türbin saat 16:46'da sorunsuz bir şekilde devreye alındı.



Şekil 3.16. (4) nolu yatağın demontajı ve yağ film boşluklarının açılması [19]

Akçansa Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde bulunan 15 MW gücünde Hangzhou marka buhar türbini-generatörü ve yardımcı sistemlerinin 15.000 saatlik minör bakımı şartnamesi doğrultusunda yapılmıştır. Yatak bakımlarının yapılması, vakum sisteminin bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, generatör soğutma eşanjör temizliği, generatör sargılarının kontrolü, ikaz sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıklık kontrolü ve kondenser bakımının ve temizliği gibi bakım işleri başarıyla tamamlanmıştır. Buhar türbini, 23.04.2013 tarihinde, 16:46 saatinde sorunsuz bir şekilde devreye alınmıştır.

3.1.2. B tipi (minör) 30.000 çalışma saati bakım çalışmaları

Uzun vadeli bakım sözleşmesi gereğince AkçanSA Çimento Fabrikası, Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde kurulu olan 15 MW gücünde Hangzhou marka buhar türbin-generatörü ve yardımcı ekipmanlarının minör bakımı işlerinin yapılması amacıyla gerekli İSG eğitimleri alınıp 23.12.2014 tarihinde sahaya mobilize olunarak işe başlanmıştır. Buhar türbini ve generatör yataklarının gerekli tüm ölçüleri alınarak demontajı tamamlandıktan sonra radyal ve thrust türbin yataklarına tahribatsız muayene testleri yapılmıştır. Rotorun aksiyal kayma oranı tespit edilerek üreticinin belirlemiş olduğu değer aralığına getirilmiştir. Kondenser, generatör soğutucu eşanjörü ve yağlama yağı soğutucu eşanjörünün temizlik, bakım ve kontrol işlemleri yapılmıştır. Trip(ESV) ve Kontrol(Governer) Vanalarının demontajı, çatlak kontrolü ve temizliği yapılarak montajı gerçekleştirilmiştir. Generatör rotor ve statorunda megger testi ile yalıtkanlık dirençleri ölçülmüştür. Bu işlemlerden sonra türbin pasaport değerleri doğrultusunda montaj işleri tamamlanarak devreye alma için hazır hale getirilmiştir. Tablo 3.3'de otuz bin çalışma saatindeki B tipi bakım çalışmalarına ait amaç ve zaman tablosu gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Amaç ve zaman - 30.000 çalışma saati [20]

Amaç ve Zaman	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
Hangzhou Buhar Türbini 30.000 Saatlik (B tipi) Minör Bakımı	23.12.2014	31.12.2014

3.1.2.1. Yatakların kontrolü ve bakımı

- Pedestal üst muhafazası demontajı yapıldı.

- Generatör yataklarının yağ labirent ölçüleri alındı.
- Generatör arka yatak yağ labirentleri ve üst kapağı demontajı Şekil 3.17’de gösterildiği gibi yapıldı.
- Generatör ikaz fırçalarının demontajı yapıldı.
- Generatör ikaz tarafı sağ ve sol sızdırmazlık kapaklarının demontajı yapıldı.
- Thrust yatak pad’lerin içindeki metal sıcaklık sensörleri sökölüp uzunluk: 30mm, çap: 3mm olarak ölçölendirilmiştir.
- Türbin pedestal tarafı yatağının alt kısımdaki metal sıcaklık sensörü uzunluk: 35 mm, çap: 6,50mm olarak ölçölendirilmiştir.
- Türbin pedestal tarafı üst ve alt yatak demontajı yapıldı.
- Thrust (aksiyal) yatak üst keplerinin sağ ve sol olarak demontajı yapıldı.
- Generatör arka üst yatak demontajı yapıldı.
- Generatör türbin tarafı üst yatak kapağı demontajı yapıldı.
- Türbin generatör tarafı üst kap demontajı yapıldı.
- Generatör alt arka yatak (ikaz tarafı) demontajı yapılarak alt ve üst yatak birleştirilip ölçüsü alındı.
- Türbin generatör tarafındaki yatağın sensör testi yapıldı ve ölçölendirildi.
- Türbin 2 nolu yatak (generatör tarafı) ve generatör ön yatak (türbin tarafı) kurşun testi yapıldı.
- Türbin ve generatör yataklarının Şekil 3.18’de gösterildiği gibi PT uygulaması yapıldı.
- Generatör arka yatak (ikaz tarafı), yağ labirentlerinin ve thrust ped yataklarının Şekil 3.19’da gösterildiği gibi montajı yapıldı.
- Generatör sızdırmazlık yataklarının montajı yapıldı ve ölçöleri alındı.



Şekil 3.17. Türbin ve generatör yataklarının demontajı [20]



Şekil 3.18. Türbin ve generatör yataklarının PT uygulaması [20]



Şekil 3.19. Thrust ped yataklarının montajı [20]

3.1.2.2. Trip (ESV) ve kontrol (Governer) vanalarının kontrolü ve bakımı

- ESV sağ tarafı aktüatörü demontajı Şekil 3.20’de gösterildiği gibi yapıldı.
- ESV vanası demontajı ve temizliği yapıldı.
- ESV valfinin çatlak kontrolü yapıldı.
- ESV valfinin boya testi Şekil 3.21’de gösterildiği gibi yapıldı ve yağ keçeleri değiştirilerek montajı tamamlandı.
- Kontrol(Governer) vanası genel olarak Şekil 3.22’de gösterildiği gibi kontrol edildi ve fonksiyon testleri yapıldı.



Şekil 3.20. Trip (ESV) vanasının demontajı [20]



Şekil 3.21. Trip (ESV) vanası PT uygulamaları [20]



Şekil 3.22. Trip (ESV) vanasının baskı yüzeylerinin testi ve montajı [20]

3.1.2.3. Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları

- Turning gear (virör) kapağı demontajı yapıldı.
- Generatör soğutucuları boru bağlantılarının ve kapaklarının demontajına başlandı.
- Generatör soğutma eşanjörünün su jeti ile temizliği yapıldı. Tıkalı boruların harbi ile açılma işlemi yapıldı.
- Kondenser manhole kapakları açıldı.
- Türbin generatör tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.

- Türbin pedestal tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.
- Türbin virör motor kapağının, yağ labirentlerinin ve pedestal kapağının temizlikleri yapıldı.
- Rotorun aksiyal kayma oranı tespit edildi ve üreticinin belirlemiş olduğu değer aralığına getirildi.
- Vakum pompasının demontajı, bakımı ve temizliği yapıldıktan sonra mekanik salmastrası takılıp Şekil 3.23’de gösterildiği gibi montajı yapıldı.
- Generatör soğutma sistemine ait tıkalı borular açıldı ve temizlikleri yapıldı.
- Kondenser üst bölmenin temizliği yapıldı.
- Generatör ve ikaz slip ringlerinin temizlikleri yapıldı.
- 012OGN01EL01 (ikaz panosu), 02AEL01(türbin kontrol panosu), 062EEL11 (kontrol panel), 062EEL12 (kontrol panel), 062EEL31 (senkronizasyon panel), 062EEL41 (elektrik sayaç panel) temizlik, bakım ve klemens kontrolleri yapıldı.
- Generatör soğutma sistemi eşanjör kapakları kapatıldı.
- Generatör soğutucularının ön (giriş) kapaklarının aralarına silikon sıkılarak montajı yapıldı.
- Kondenser temizliği tamamlandı ve tıkanmış olan drenaj boruları sökülüp Şekil 3.24’de gösterildiği gibi temizlendi.
- Generatör kesici bakımı ve temizliği yapılarak kontaklarına vazelin sürüldü.
- Generatör yıldız noktası ve generatör çıkış uçları sökülerek statorun megger testi yapıldı.
- Generatör rotorunun megger testi yapıldı.
- Generatör ön ve arka yatakları, türbin ön ve arka yatakları ve thrust yatakların PT ve NDT testleri yapıldı.
- Generatör soğutucu eşanjörü boru montajları Şekil 3.25’de gösterildiği gibi tamamlandı.
- Türbin thrust yatak pedlerinin montajı yapıldı, yatak sıcaklık sensörlerinin bağlantı ve testleri yapıldı.
- Türbin pedestal tarafındaki alt yatağın montajı ve yağ labirentlerinin önüne sıcaklık koruması için izolasyon montajı yapıldı.
- Yağlama yağı soğutucu eşanjör kapaklarının demontajı yapıldı.

- Generatör yıldız bağlantı ve çıkış uçları bağlanıp torklandı ve oda temizliği yapıldı.
- Generatör stator kapaklarının montajı yapıldı.
- Yağlama yağı soğutucu eşanjörlerinin ve civataların temizliği yapıldı, contaları kesildi.
- Turning gear kapağının ön ve arka yağ labirentleri ile turning gear montajı Şekil 3.27'de gösterildiği gibi yapıldı.
- Vakum pompası elektrik motoru rotorunun demontajı yapıldı ve rulmanları değiştirildi.
- İkaz fırça tutucuları gövde bağlantılarının izolasyon testleri ve montajı yapıldı.
- Rotor toprak fırçalarının montajı yapıldı.
- Vakum pompası fanı takıldı ve montajı yapıldı.
- Yağ eşanjörü devreye alındı ve giriş kapaklarındaki kaçak yeni conta takılarak giderildi.
- Yağ eşanjörü soğutma suyu giriş filtreleri Şekil 3.26'da gösterildiği gibi söküldü, temizliği ve montajı yapıldı.
- Pedestal kapağının test amaçlı geçici olarak montajı yapıldı.
- Ana yağ pompası borularının montajı yapıldı, yağlama ve virör devreye alındı.
- Türbin pedestal kapağının contaları takılıp montajı yapıldı.
- Vakum pompasındaki su kaçağı oringi değiştirilerek giderildi ve elektrik motorunun kablo bağlantıları yapıldı.
- Ana buhar hattı, spiral sarımlı conta gelmediği için telli grafit conta kesilerek arifisin montajı yapıldı.
- Ana buhar hattında oluşan buhar kaçağı spiral sarımlı conta ile değiştirilerek buhar kaçağı giderildi.
- Generatör ikaz tarafı labirentlerinde sürtme ayarlandı.
- Montaj sonrası genel saha temizliği yapıldı.



Şekil 3.23. Vakum sisteminin bakımı [20]



Şekil 3.24. Kondenser sisteminin bakımı [20]



Şekil 3.25. Generatör soğutucularının bakımı [20]



Şekil 3.26. Yağlama sisteminin bakımı [20]



Şekil 3.27. Virör sisteminin bakımı [20]

3.1.2.4. Devreye alma çalışmaları

Buhar türbini ve generatöründe aşağıdaki işlemler başarıyla tamamlanmıştır. Türbin ve generatör yataklarının demonte edilmiştir. Demontaj ölçüleri alınmıştır. Demonte edilen tüm türbin ve generatör parçalarının temizliğinin yapılmıştır. Türbin & generatör thrust ve radyal yataklarına tahribatsız muayene testlerinin uygulanmıştır. ESV Vanasının demontaj, çatlak kontrolü ve temizlikleri yapılmıştır. Kondenser, generatör soğutucu eşanjörü ve yağlama yağı soğutucu eşanjöründe temizlik ve kontrolün yapılmıştır. Vakum pompasının demontajı, bakımı ve temizliğinin yapılması, rotor aksiyal gezintisinin ayarlanması, görsel test ve tahribatsız muayene sonuçlarına göre bakım ve onarım işleri yapılmıştır. Generatör rotor ve statorunda megger testinin yapılmıştır. Pasaport değerleri doğrultusunda montaj işleri tamamlanmıştır. Yapılan bakım işleri neticesinde vibrasyonunun türbinin sorunsuz bir şekilde çalışmasına engel olmadığı, generator rotor ve statorunda uygulanan megger testi sonuçlarının çalışma şartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Akçansa personeli eşliğinde ünite Şekil 3.28'de gösterildiği gibi sorunsuz bir şekilde devreye alınmıştır.



Şekil 3.28. Buhar türbini devreye alma çalışmaları [20]

3.1.3. B tipi (minör) 55.000 çalışma saati bakım çalışmaları

İşletme ve bakım manelleri doğrultusunda 55.000 çalışma saatinde buhar türbininde C tipi (major) bakım yapılması gerekmektedir. Ancak türbinin kullanıcısı olan Akçansa firması major bakım yapılmasını istemeyerek B tipi(minör) bakım yapılmasını talep etmiştir. Buhar türbini ve generatör sistemine ait thrust ve radyal yataklarının kontrolü ve bakımı, virör sisteminin bakımı, yağlama sisteminin bakımı, vakum sisteminin bakımı, kondenser temizliği, generatör eşanjör sisteminin bakımı, elektrik bağlantı noktalarının sıkılık kontrolü, generatör soğutma sisteminin bakımı, generatör sargılarının kontrolü gibi çalışmalar yapılmıştır. Tablo 3.4'te elli beş bin çalışma saatindeki B tipi bakım çalışmalarına ait amaç ve zaman tablosu gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Amaç ve zaman - 55.000 çalışma saati [21]

Amaç ve Zaman	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
Hangzhou Buhar Türbini 55.000 Saatlik (B tipi) Minör Bakımı	12.02.2018	20.02.2018

3.1.3.1. Yatakların kontrolü ve bakımı

- 1,2,3 ve 4 nolu yatakların üzerindeki transmitterler ve vibrasyon sensörleri demonte edildi.
- 1,2,3 ve 4 nolu yatak üst kapak de montajı yapıldı.
- 4 nolu yatak kepi Şekil 3.29'da gösterildiği gibi demontaj edildi. Yatakta deformasyon tespit edildi.
- 4 numaralı yatak de montajı yapıldı. Tamir edilmiş olan yedek yatakta yapılan NDT testi sonucunda döküm hataları gözlemlendi. Generatör üzerindeki mevcut 4 numaralı yatak bakım için gönderildi.
- 3 numaralı yatak kontrolleri yapıldı. Yatakta yapılan Şekil 3.30'da gösterildiği gibi NDT testi sonucu çatlaklara rastlanmadı. Tekrardan yerine montaj edildi.
- 2 numaralı yatak kontrolleri yapıldı. Yatak da yapılan Şekil 3.31'de gösterildiği gibi NDT testi sonucu çatlaklara rastlanmadı. Tekrardan yerine montaj edildi.
- 1 nolu yatak üst pedestal de montaj edilerek yüzeyleri temizlendi.
- 1 nolu yatak açılarak bakımına başlandı. Üst yatak sökülerek NDT testi yapıldı.

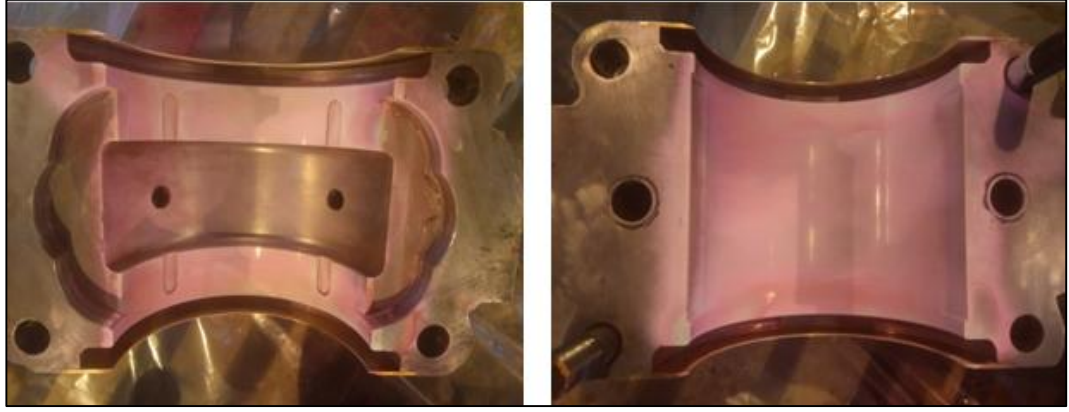
- Türbin thrust yatakları demontaj edildi. Yüzeyleyler NDT testi yapılarak kontrol edildi.
- 1 numaralı yatağın alt padi demontaj edilerek kontrolleri yapıldı. NDT testleri yapıldı.
- 1 numaralı yatak bakımı tamamlandı ve yerine montajı yapıldı.
- 1 numaralı yatak alt pedestal temizliği yapıldıktan sonra üst pedestal Şekil 3.32’de gösterildiği gibi montajı yapıldı.
- Generatör kapakların montaj işlemleri tamamlandı. Labirent ölçü kontrolleri yapıldı.
- 4 Numaralı yatak arızalı beyaz metali yenilendi. Bakımdan gelen yatak montajı yapıldı.
- Yatak üst baskıları kontrol edildi.



Şekil 3.29. (4) nolu yatağın demontajı [21]



Şekil 3.30. Türbin yataklarında PT uygulamaları-1 [21]



Şekil 3.31. Türbin yataklarında PT uygulamaları-2 [21]



Şekil 3.32. Türbin yataklarının montaj çalışmaları [21]

3.1.3.2. Trip (ESV) ve kontrol (Governer) vanalarının kontrolü ve bakımı

- Kontrol valfinde bulunan grafitli salmastraların demontajı tamamlandı. Salmastra baskı somunu üzerinde oluşan korozyonlar ve çapaklar temizlenmesi için tornaya gönderildi.
- Kontrol vanası için grafitli salmastra siparişi verildi.
- Kontrol vanası sızdırmazlık salmastraları yenilendi, vananın strok kol mekanizması montajı Şekil 3.33’de gösterildiği gibi tamamlandı.
- Kontrol vanası izolasyon montajı tamamlandı.
- Trip(ESV) vanalarının genel olarak kontrolleri ve fonksiyon testleri yapıldı.



Şekil 3.33. Kontrol vanası bakım çalışmaları [21]

3.1.3.3. Diğer sistemlerin mekanik bakım çalışmaları

- Kondenser soğutma suyu manhole kapakları açıldı. Su jeti ile temizlik yapmak için hazırlandı.
- Generatör soğutma suyu eşanjör kapakları açıldı ve temizliği yapıldı.
- Generatör soğutucu eşanjörü temizliği yapıldı. Tıkalı olan borular su jeti ile temizlendi.
- Generatör kapaklarının demontajı yapıldı.
- Kondenser temizliği için iskele kurulumu yapıldı.
- Kondenser temizliği yapıldı. Birinci manhole su jeti ile temizlendi. Tıkalı olan boruların temizliği yapıldı.
- Generatör temizliği yapıldı. Basınçlı hava ile generatör iç kısımlarına iç kısımlarına giren toz temizlendi.
- Generatör hava soğutucu eşanjörünün kapak montajları tamamlandı. Boruların montajı yapıldı.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinin bakımı yapıldı.
- Kondenser temizliği sırasında birinci ve ikinci manhole su jeti ile temizlendi. Tıkalı olan borular kılavuz çekilerek açıldı.
- Generatör temizliği ve rotor üzerinde izolasyon boyası aşınan yerler yeniden boyanarak bakımı tamamlandı.
- Generatör hava soğutucu eşanjörünün kapakları üzerindeki soğutma hatları montajı Şekil 3.34’de gösterildiği gibi tamamlandı.

- Generatör baralarının cıvata sıkılık kontrolleri yapıldı. Gevşek olan cıvatalar uygun tork değerinde sıkılarak bakımı tamamlandı. İzolatörler temizlenerek kontrol edildi.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinden ikinci sıradaki eşanjörün tıkalı olan boruları temizlendi ve Şekil 3.35’de gösterildiği gibi bakımı tamamlandı.
- Generatör rotor ikaz sargıları temizlenerek kontrolleri yapıldı.
- Kondenser temizliği tamamlandı. Son kontrolleri yapılarak kapatıldı.
- Generatör kapakların montaj işlemleri tamamlandı. Labirent ölçü kontrolleri yapıldı.
- 2 numaralı yağ soğutucu eşanjörünün temizliğine devam edildi. Dönüş hatlarının hepsinin tıkalı olduğu görüldü.
- Generatör sargıları megger cihazı ile izolasyon kontrolleri yapıldı.
- Kondenser kontrolleri yapıldı, manhole kapakları montajı Şekil 3.39’da gösterildiği gibi tamamlandı.
- Virör dişlisi üst pedestal montajı yapıldı.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinin temizliği ve montajı tamamlandı.
- Generatör rotorunun ikaz kömürleri ve topraklama hatlarının montajı Şekil 3.36’da gösterildiği gibi tamamlandı.
- Generatör ve türbin üzerindeki enstrüman sensörlerinin montajı tamamlandı.
- Generatör ve türbin üzerindeki enstrüman sensörlerinin klemens bağlantıları kontrol edildi.
- Türbin ve generatör MCC kontrol odası temizliği yapıldı.
- Virör dişlisi elektrik motoru rulmanları değiştirildi ve yerine montaj Şekil 3.38’de gösterildiği gibi yapıldı.
- Kumanda kontrol panelleri temizliği yapıldı.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinin ve çevresinin temizliği yapıldı.
- Flowmeter transmitter çıkış hattındaki buhar kaçağı giderildi.
- Soğutma kulesi havuz taban temizliği Şekil 3.37’de gösterildiği gibi yapıldı.



Şekil 3.34. Generatör soğutma sistemi bakımı [21]



Şekil 3.35. Türbin yağlama sistemi bakımı [21]



Şekil 3.36. Generatör ikaz sistemi bakımı [21]



Şekil 3.37. Soğutma kulesi havuz temizliği [21]



Şekil 3.38. Virör sistemi bakımı [21]



Şekil 3.39. Kondenser temizliği [21]

3.1.3.4. Devreye alma çalışmaları

Atık ısı geri kazanım tesisinde bulunan 15 MW gücünde buhar türbini, generatörü ve yardımcı ekipmanlarının minör bakım işleri 12.02.2018 - 19.02.2018 tarihleri arasında tamamlanmıştır. Demontaj sonrası 4 numaralı yatakta beyaz metalin zarar gördüğü tespit edilmiştir. Yedek yatakta yapılan NDT testi sonucu beyaz metalin yapışmamış olduğu görülmüştür. Yatak tekrardan işlenmek üzere Joule Enerji tarafından bakıma gönderildi. Aksiyal gezintiyi dengeleyen thrust yatakların aşındığı gözlemlendi. Pedlerinin majör bakımda kontrol edildikten sonra değişmesi gerekebileceği belirtildi. Bunun için de gerekli yedeklerin sağlanması önem arz etmektedir. Kontrol vanası hidrolik sisteminde yağ kaçağı mevcut salmastralarının yedekleri olmadığı için gerekli bakım yapılamadı. Yedek parça temini sağlandıktan sonra yağ kaçağı durumuna göre bakım yapılacaktır. Türbin major bakım çalışmalarının daha doğru ve sorunsuz yapılabilmesi için rotorun kaldırılması esnasında kullanılacak “special tool”ların tedarik edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Tahribatsız muayenelerde de görüldüğü üzere türbin & generatör yataklarında yapışmama ve / veya çatlak bulunmaktadır. Bu nedenle, stoklarda bulunan yedek

yatakların gerekli tamir işlemleri yapılarak yedeklerde bekletilmesi gerektiği bildirildi. Buhar Türbini soğuk start prosedürü doğrultusunda devreye alma çalışmaları 20.02.2018 tarihinde Akçansa işletme yetkilileri tarafından yapılmış ve türbin sorunsuz olarak Şekil 3.40'da gösterildiği gibi devreye alınmıştır.

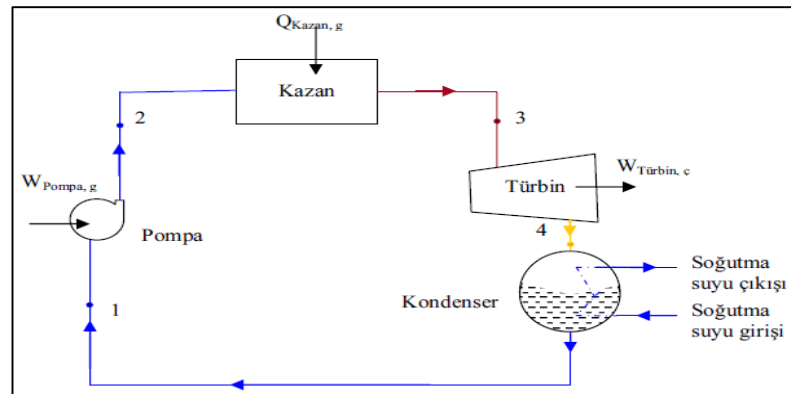


Şekil 3.40. Türbin devreye alma çalışmaları [21]

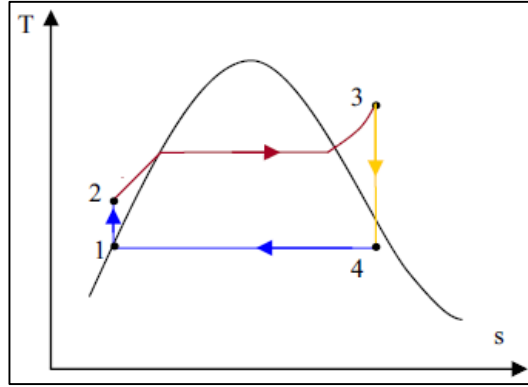
3.2. İdeal Rankine Çevrimi

Carnot çevriminin uygulanmasında karşılaşılan zorlukların birçoğu, kazanda suyu kızgın buhar haline ısıtılarak ve yoğuşturucuda doymuş sıvı haline yoğuşturarak yok edilebilir. Bu düzenlemeler Şekil 3.41'de üzerinde gösterilmiştir. Bu çevrim, Rankine çevrimi diye adlandırılır ve buharlı güç santralleri için ideal çevrimdir. Şekil 3.42'de ise ideal rankine çevriminin T-s diyagramı gösterilmiştir. İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı 4 hal değişimi vardır [22];

- 1-2 Pompayla izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda, sisteme sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı geçişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucuda, sistemden sabit basınçta ($P=\text{sabit}$) ısı atılması



Şekil 3.41. Basit ideal rankine çevrim şeması [22]



Şekil 3.42. İdeal rankine çevriminin T-s diyagramı [22]

Su pompaya 1 halinde doymuş sıvı olarak girer ve izantropik bir hal değişimiyle kazan basıncına sıkıştırılır. Su sıcaklığı, izantropik sıkıştırma işlemi sırasında suyun özgül hacminin biraz azalmasından dolayı bir miktar artar. T-s (sıcaklık – entropi) diyagramında 1 ve 2 halleri arasındaki dikey aralık, diyagramın rahat anlaşılabilmesi için büyük gösterilmiştir [22].

Su, kazana 2 halinde sıkıştırılmış sıvı olarak girer ve 3 halinde kızgın buhar olarak çıkar. Kazan temelde büyük bir ısı değiştiricisidir. Yanma sonucu oluşan gazlardan, nükleer reaktörden veya diğer kaynaklardan sağlanan ısı, burada hemen hemen sabit basınçta suya geçer. Kazan buharın kızgın hale geldiği kızdırıcıyla birlikte genellikle buhar üreticisi diye adlandırılır [22]

3 halindeki kızgın buhar türbinde izantropik olarak genişler ve bir mili döndürerek iş yapar. Mil genellikle elektrik üretimi için bir jeneratöre bağlanmıştır. Bu hal değişimi sırasında buharın basıncı ve sıcaklığı azalarak 4 halindeki değere ulaşır. Buhar türbinden çıktıktan sonra kondensere girer. Kondensere giren buhar genellikle yüksek kuruluk derecesinde doymuş sıvı – buhar karışımı halindedir. Kondenser büyük bir ısı değiştiricidir. Buhar burada göl, akarsu ve atmosfere ısı vererek sabit basınçta yoğuşur. Su, kondenserden doymuş sıvı halinde çıkar ve pompaya girerek çevrimini tamamlar. Suyun az olduğu bölgelerde, güç santrallerinde soğutma su yerine havayla yapılır [22].

T-s diyagramında hal değişimi altında kalan alanın içten tersinir hal değişimleri ısı geçişini gösterir, 2-3 eğrisi altında kalan alan suya kazanda verilen ısıya, 4-1 eğrisi

altında kalan alanın da yoğuşturucuda çevreye verilen ısıyı simgelediği söylenebilir. Bu ikisi arasındaki fark çevrimin net işi veya net ısı alış verişidir [22].

3.3. Buhar Türbini Birinci Kanun Analizi

Buhar türbininin çalışması esnasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

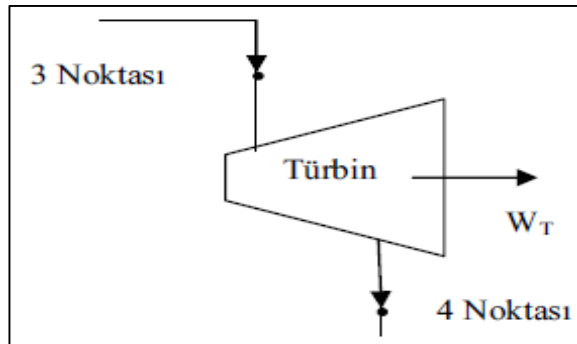
- Buhar hatlarındaki ve vanalardaki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- Sistemde dolaşan güç akışkanının debisi sabittir.
- Türbinden dış ortama ısı transferi yoktur.
- Türbindeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- Türbindeki hal değişimi izantropiktir (adyabatik genişleme).

İdeal Rankine çevriminin birinci kanun analizinin yapılmasındaki amaç, yukarıda ifade edilen kabuller doğrultusunda izantropik türbin verimini hesaplayarak periyodik bakımların öncesindeki ve sonrasındaki değişim durumlarını incelemektir.

Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin bir şekilden diğerine dönüşebileceğini, bir sistemden diğer sisteme transfer edilebileceği fakat bu dönüşümler ve transferler sırasında toplamın sabit kalacağını ifade eder, Enerjinin dönüştürebileceğini ama yok olmayacağını belirten bu kanun deneysel gözlemlere dayanır ve enerjinin korunumu diye adlandırılır. En genel haliyle ‘‘sistemle çevrenin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevre tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır’’ şeklinde tanımlanır [22].

3.3.1. Türbin birinci kanun analizi

Şekil 3.43’te türbine giren - çıkan buharın ve mil işinin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.43. Türbine giren – çıkan buharın ve üretilen mil işinin gösterimi

3.3.1.1. Kütlenin korunumu

Kütlenin korunumu kanunu yardımıyla buhar türbinine giren ve çıkan kütlenin eşit olduğu Denklem (3.1)'deki gibi ifade edilmiştir;

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_s \quad (3.1)$$

\dot{m}_3 ; Türbin girişindeki buharın debisini ifade etmektedir.

\dot{m}_4 ; Türbin çıkışındaki buharın debisini ifade etmektedir.

3.3.1.2. Enerjinin korunumu

Enerjinin korunumu kanunu yardımıyla buhar türbinine giren - çıkan buharın entalpi değerlerinin kütleleriyle çarpılması sonucunda elde edilen teknik iş Denklem (3.2)'deki gibi ifade edilmiş ve Denklem (3.3)'de gösterildiği gibi izantropik verim denklem içerisinde sadeleştirilmiştir;

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + W_T \quad (3.2)$$

$$\eta_T = [W_T] / [\dot{m}_s (h_3 - h_4)] \quad (3.3)$$

η_T ; Türbinin izantropik verimini ifade etmektedir.

W_T ; Türbinden üretilen mekanik(teknik) işi ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Buhar Türbininde Kullanılan Akışkanın Termodinamik Denklemleri

Buhar türbininde ısı aktarımı ve güç üretimi için kullanılan akışkan su ve su buharıdır. Su farklı sıcaklıklarda farklı hallerde ve özelliklerde bulunur. Buhar türbininde kullanılan su, doymuş buhar ve doymuş sıvı-doymuş buhar hallerinde bulunur. Belli basınç ve sıcaklık altında doymuş sıvı ve doymuş buharın termodinamik özellik değerleri daha önceki çalışmalarda tablolar getirilmiştir, fakat doymuş sıvı-doymuş buhar karışımının termodinamik özelliklerini bulmak için doymuş buharın ve doymuş sıvının değerlerinden faydalanılmaktadır.

Çalışmada kullandığım belirli basınç ve sıcaklık altındaki entalpi değerleri aşağıda ifade edildiği şekliyle bulunmuştur.

h_3 ; kazan ile buhar türbini arasında bulunan doymuş buharın entalpi değeridir. Önceki çalışmalarda su için doymuş buhar entalpi değerleri, belli sıcaklık ve basınç altında tablolar halinde düzenlenmiştir. Bu bölgede su kızgın buhar halindedir ve türbine kızgın buhar girer bu sebeple Çengel kitabında Tablo A-6'nın yardımıyla bulunmuştur [22].

h_4 ; kondenser ile pompa arasındaki suyun entalpisidir. Bu bölgede akışkan doymuş buhar-doymuş sıvı halinde bulunur. Bu değer Denklem (4.1)'de görüldüğü gibi [22];

$$h_4 = h_1 + xh_{fg} \quad (4.1)$$

olarak hesaplanır. Burada x doymuş buhar-doymuş sıvı karışımının kuruluk derecesini, h_{fg} ise doymuş buhar entalpi değeri ile doymuş sıvı entalpi değeri arasındaki farkı göstermektedir [22].

4.2. Buhar Türbininin Termodinamiğin Birinci Kanunu Analizi

Rankine çevriminin termodinamiğin I. kanun analizi, akışkan olarak su ve değişken sistem parametreleri için türbinin izantropik verimi hesaplanmıştır. Buradaki çalışma buhar türbinin periyodik bakımlarının verimlilik üzerine etkilerini I. kanun yaklaşımı

ile daha net ve anlaşılır bir şekilde gösterilmeye çalışılarak bir buhar türbini için periyodik bakımların önemi vurgulanmıştır.

4.2.1. B tipi (Minör) 15.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında WT = 14.735 kW enerji üretmektedir.

Tablo 4.1. Türbine giren buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	74
	Sıcaklığı	°C	350
	Basıncı	MPa	1,03
	Entalpisi	kJ / kg	3158,2

Tablo 4.2. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	74
	Sıcaklığı	°C	41
	Basıncı	MPa	0,094
	Entalpisi	kJ / kg	2573,5

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,816$ (%81,6) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında $W_T = 13,744$ kW enerji üretmiştir.

Tablo 4.3. Türbine giren buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	72
	Sıcaklığı	°C	345
	Basıncı	MPa	1,01
	Entalpisi	kJ / kg	3147,5

Tablo 4.4. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 15.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	72
	Sıcaklığı	°C	42
	Basıncı	MPa	0,094
	Entalpisi	kJ / kg	2577,1

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,830$ (%83,0) olarak bulunmuştur. Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,014 (%1,4) kadar artış göstermiştir.

4.2.2. B tipi (Minör) 30.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da

gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında $W_T = 13.280$ kW enerji üretmiştir.

Tablo 4.5. Türbine giren buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	69
	Sıcaklığı	°C	343
	Basıncı	MPa	0,910
	Entalpisi	kJ / kg	3145,3

Tablo 4.6. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	69
	Sıcaklığı	°C	42
	Basıncı	MPa	0,093
	Entalpisi	kJ / kg	2577,1

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,820$ (%82,0) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında $W_T = 13.223$ kW enerji üretmiştir.

Tablo 4.7. Türbine giren buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	70
	Sıcaklığı	°C	345
	Basıncı	MPa	0,954
	Entalpisi	kJ / kg	3146,4

Tablo 4.8. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 30.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	70
	Sıcaklığı	°C	40
	Basıncı	MPa	0,093
	Entalpisi	kJ / kg	2573,5

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,832$ (%83,20) olarak bulunmuştur. Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,012 (%1,2) kadar artış göstermiştir.

4.2.3. B tipi (Minör) 55.000 çalışma saati bakım çalışmalarının verimlik üzerine etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında $WT = 11.692$ kW enerji üretmiştir.

Tablo 4.9. Türbine giren buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	64
	Sıcaklığı	°C	333
	Basıncı	MPa	0,85
	Entalpisi	kJ / kg	3127,6

Tablo 4.10. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım öncesinde

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	64
	Sıcaklığı	°C	42
	Basıncı	MPa	0,095
	Entalpisi	kJ / kg	2577,1

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,838$ (%83,80) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren ve çıkan buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de gösterilmiştir. Buhar türbini tam yükte ve aşağıdaki işletme koşullarında $W_T = 12.166$ kW enerji üretmiştir.

Tablo 4.11. Türbine giren buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbine Giren Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	66
	Sıcaklığı	°C	340
	Basıncı	MPa	0,960
	Entalpisi	kJ / kg	3135,6

Tablo 4.12. Türbinden çıkan buhar özellikleri – 55.000 çalışma saati bakım sonrasında

Türbinden Çıkan Buhar Özellikleri	Miktarı	t / h	66
	Sıcaklığı	°C	41
	Basıncı	MPa	0,093
	Entalpisi	kJ / kg	2573,5

Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de gösterilen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,847$ (%84,70) olarak bulunmuştur. Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,009 (%0,9) kadar artış göstermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Hangzhou marka 15 MW güce sahip bir buhar türbinine ait B tipi (minör) mekanik bakım çalışmaları incelenmiş, termodinamiğin birinci kanununda ifade edilen kütle ve enerjinin korunumundan faydalanılarak türbin için izantropik verim hesabı yapılmıştır. Mekanik bakım çalışmalarının buhar türbini verimliliği üzerine etki analizi yapılmıştır. Tablo 5.1’de on beş bin çalışma saati periyodik bakımın izantropik verim üzerine etkisi gösterilmiştir. Tablo 5.2’de otuz bin çalışma saati periyodik bakımın izantropik verim üzerine etkisi gösterilmiştir. Tablo 5.3’de ise elli bin çalışma saati periyodik bakımın izantropik verim üzerine etkisi gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Türbin verimi – 15.000 çalışma saati bakımı

Buhar Türbini İçin	Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,816 (% 81,6)
	Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,830 (% 83,0)
	Aradaki Fark	(+) 0,014 (% 1,4)
	Durumu	Artış Göstermiştir

Tablo 5.2. Türbin verimi – 30.000 çalışma saati bakımı

Buhar Türbini İçin	Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,820 (% 82,0)
	Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,832 (% 83,2)
	Aradaki Fark	(+) 0,012 (% 1,2)
	Durumu	Artış Göstermiştir

Tablo 5.3. Türbin verimi – 55.000 çalışma saati bakımı

Buhar Türbini İçin	Bakım Öncesi Verimi (η_T)	0,838 (% 83,8)
	Bakım Sonrası Verimi (η_T)	0,847 (% 84,7)
	Aradaki Fark	(+) 0,009 (% 0,9)
	Durumu	Artış Göstermiştir

Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te de görüldüğü üzere çalışmaya konu olan Hangzhou marka 15 MW gücündeki buhar türbinine periyodik olarak yapılan mekanik bakım çalışmaları sonrasında verim artışı görülmüştür.

Ülkemizde buhar türbinlerinin üretimi ne yazık ki yapılamamaktadır. Ülkemiz, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan buhar türbinlerini Almanya, USA, Japonya, Çin, Rusya ve Hindistan gibi ülkelerden ithal etmektedir. Buhar türbinlerinin mekanik bakım çalışmaları ise 10 – 15 yıl öncesine kadar sürekli olarak yurt dışı firmaları tarafından yapılmaktaydı. Günümüz de ise buhar türbini mekanik bakım çalışmaları yerli firmalar tarafından yapılabilmektedir.

Bu çalışmada incelenen buhar türbini Çin'den ithal edilmiş olup uzun dönem periyodik bakımları ise yerli bir firma tarafından yapılmıştır.

Buhar türbinleri değerli ve kritik ekipmanlar olduğu için üretici firmalarının belirlediği bakım periyotları aksatılmamalıdır. İncelenmiş olan mekanik bakım çalışmaları 2013, 2014 ve 2018 yıllarında yapılmış çalışmaların sonucunda elde edilmiş teknik tecrübeleri ve verileri içermektedir.

Son olarak belirtmek isterim ki buhar türbini bakımlarının yapılabildiği gibi buhar türbini üretimlerinin de ülkemiz imkânlarında yapılabilmesi söz konusudur. Bazı kurum ve kuruluşların bu konuda çalışmaları bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Filiz Ç., Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012, 301817.
- [2] Keskin B., Alstom GT13D2 Gaz Türbinlerinde Yapılan C Tipi Bakım Çalışmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2016, 423849.
- [3] Dazlak S., Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2006, 183370.
- [4] Yakut A., Buharlı Proses İçeren Bir İşletmenin Termoekonomik Analiz Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 312224.
- [5] Açıklalp E., Doğal Gaz Yakıtlı Bir Elektrik Üretim Tesisi ve Bir Trijenerasyon Sisteminin İleri Ekserji ve Eksergoekonomik Yöntemleri Kullanarak Analizi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2013, 348583.
- [6] Çağlar G., Çayırhan Enerji Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011, 295071.
- [7] Karakurt A. S., Buhar Türbinlerinin Kısmi Yüklerdeki Performans Dağılımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 302614.
- [8] Ahmet S. E., Elektrik Motoru ve Buhar Türbini Tahrikli Pompa Sistemlerinde Enerji Analizi ve Verim Arttırmada Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233136.
- [9] Yazıcı H., Buhar Türbinlerinin Termoekonomik Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006, 185498.
- [10] Venedikoğlu H., *Rafineri Ekipmanları İşletme ve Bakım Rehberi, Buhar Türbinleri ve Çevrimleri*, 1. Baskı, Tüpraş, Kocaeli, 2015.
- [11] https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/service/fleet360/ge-operations-maintenance-brochure.pdf. (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2019).
- [12] Alstom, *Steam Turbine for Alstom Design*.

- [13] Hangzhou Co., *Steam Turbine Operation and Maintenance Manuel*.
- [14] Joule Enerji A.Ş., *Steam Turbine Maintenance Handbook*, 1st ed., Joule Enerji, İstanbul, 2015.
- [15] Bloch H P., Singh M., *Steam Turbines Design, Application and Re-rating*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 2008.
- [16] API, *Standard 612, Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries- Steam Turbines-Special-Purpose Applications*, 7th ed., API, New York, 2014.
- [17] American Petroleum Institue, *Rotor Repair*, 1st ed., American Petroleum Institue, Washington, 2001.
- [18] ASME BPVC VIII, Boiler & Pressure Vessel Code, *The American Society of Mechanical Engineers*, New York, 2017.
- [19] Şen İ., *F.55 Müşteri Servis Raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 15.000 OH*, Çanakkale, Nisan 2013.
- [20] Baş A., *F.55 Müşteri Servis Raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 30.000 OH*, Çanakkale, Aralık 2014.
- [21] Necati T., *F.55 Müşteri Servis Raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 55.000 OH*, Çanakkale, Şubat 2018.
- [22] Çengel A. Y., Boles A. M, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 3th ed., McGraw-Hill, New York, 1994.
- [23] Derbentli T., Isıl Sistemlerin Termoekonomik Çözümlemesi, *14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Isparta, Türkiye, 3-5 Eylül 2003.
- [24] Kocaman A., *Termik Santraller*, 2003.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Saraç H. İ., Şen İ., 15 MW Bir Buhar Türbini İçin Periyodik Bakımların Verimlilik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Şen, 1989 yılında Bulgaristan'ın Koşukavak kasabasında doğdu. 1992 yılında ailesiyle birlikte Bursa'ya göç etti. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 2006 yılında Osmangazi Cem Sultan Lisesi'nden mezun oldu ve aynı sene Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2011 yılında lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu. 2012 yılında Joule Enerji A.Ş. firmasında Mekanik Bakım Mühendisi olarak iş hayatına başladı ve 2018 yılına kadar buhar türbini bakımları ile ilgili birçok projede görev aldı. 2018 yılında TANAP Doğalgaz İletim A.Ş. firmasında Bakım Mühendisi – Mekanik olarak çalışmaya başladı. Halen TANAP Doğalgaz İletim A.Ş. firması merkez ofis Ankara'da görevine devam etmekte ve Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.