



15 MW Bir Buhar Türbini İçin Periyodik Bakımların Verimlilik Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Periodical Maintenance on Efficiency for 15 MW Steam Turbine

H. İbrahim SARAÇ¹ , İbrahim ŞEN^{2,*} 

¹ Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3414-3582

² Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3128-7246

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 10/05/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

Anahtar Kelimeler

Buhar Türbini
B Tipi (Minör) Bakım
C Tipi (Major) Bakım
Verimlilik

Research Paper

Received Date : 10/05/2019

Accepted Date : 03/12/2019

Keywords

Steam Turbine
B-Inspection (Minor)
C-Inspection (Major)
Efficiency

Özet

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı tesisinde bulunan 15 MW gücünde bir buhar türbini ele alınmıştır. Yaklaşık olarak 6 yıllık bir süre içeren buhar türbinleri üzerindeki mesleki tecrübe ve teknik kaynakların yardımıyla buhar türbinlerinde uygulanan periyodik bakımların B tipi ve C tipi olmak üzere mekanik bakım kapsamı anlatılmıştır. Periyodik bakımların öncesinde ve sonrasındaki buhar türbini verimlilik hesapları yapılarak periyodik bakımların verimlilik üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma ile buhar türbinlerinin üretilmediği ülkemizde farkındalığı arttırmak ve mevcut buhar türbinlerinin periyodik bakımlarının aksatılmadan yapılması ve bunun sonucunda işletme ömürlerinin mümkün olduğunca artırılması amacıyla teknik personellere rehberlik ederek ülkemizin bu alandaki gelişimine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Abstract

In this study, a 15 MW steam turbine at a waste heat plant in a cement plant was discussed. With the help of the experience and technical resources on steam turbines, which have a period of approximately 6 years, the periodic maintenance of steam turbines has been explained. Efficiency calculations of the steam turbine were made before and after the periodical maintenance and the effect of periodic maintenance on efficiency was investigated.

The aim of this study is to raise awareness in our country where steam turbines cannot be produced and to contribute to the development of our country in this field by guiding the technical personnel in order to increase the service life of the existing turbines without any disruption.

1. Giriş

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasındaki atık ısı 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.

1.1. Buhar Türbinleri

Buhar türbinleri, buharın entalpi farkı (entalpi değişimi) ile mekanik (teknik) iş elde eden ekipmanlardır. İş yapma kabiliyetleri buharın türbin girişinden çıkışına kadar olan sıcaklık düşüşüne bağlıdır. Ne kadar çok sıcaklık düşüşü olursa iş yapma kabiliyeti o kadar fazla

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ibrahimsen@hotmail.co.uk



olacaktır. Buhar türbinlerinin gücü, türbine giren buhar miktarının kontrolü ile sağlanır [1].

1.2. Buhar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Buhar türbinleri yapıları itibari ile aksiyon (impuls) türbinleri ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki ayrı yapıda sınıflandırılırlar [1].

1.2.1. 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 (nozül) geçerek buharın kinetik enerjisi artırılır. Kinetik enerjisi artan buhar döner kanada girerek hız ve basınç farkından yararlanılarak 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 [1].

1.2.1.1. 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 artırılması gereklidir. Ancak basıncın tek kademede işlenmesi sonucu çok yüksek hızlara ulaşılması gerektiğinden aksiyon veya reaksiyon türbinleri ile entegre halinde tasarlanmıştır [1].

1.2.1.2. Curtis Türbini

Curtis türbinleri bir çeşit aksiyon türbinleridir. 2, 3, 4 kademeli olabilirler ancak ikinci kademedan sonra verimlerinin çok düşmesi sebebiyle genellikle 2 kademe olarak tasarlanırlar.

Aksiyon türbinlerinin verimleri reaksiyon türbinlerine nazaran daha düşüktür ancak güvenilirlikleri ise tam tersine daha yüksektir [1].

1.2.2. 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 kinetic enerji 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 [1].

Sıcaklık düşüşünün 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°C) girer ve üflenir. Buharın nozullara giriş açısı 20°C'dir ve bu açı son kademelere doğru 35-40°C'ye kadar çıkabilir [2].

2. Buhar Türbinindeki Periyodik Bakım Çalışmaları

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. 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 [5].

2.1. Buhar Türbininde B Tipi Bakım (Minor Inspection)

Buhar türbin modüllerinin B tipi bakımları (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 OH – 20.000 OH çalışma saatinde B tipi (minör) bakımı yapılması gereklidir ve bakım süresi yaklaşık olarak 1-2 hafta sürebilir [5].

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

Buhar türbini elemanlarının C tipi bakımları (major maintenance/overhaul) ekipmanın tamamen açılmasıyla

gerçekleştirilir. Majör bakımdaki kontroller minör bakımı da kapsamaktadır. 48.000 OH – 55.000 OH çalışma saatinde C tipi (majör) bakımı yapılması gerekmektedir. Türbinin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak 3-4 hafta sürebilir [5].



Şekil 1. Buhar türbini c tipi bakım çalışmaları.

2.3. Buhar Türbini B Tipi (Minör) ve C Tipi (Major) Bakım Kapsamları

2.3.1. Kaplin Kontrolü

Özel amaçlı buhar türbinlerinde genellikle diyaframli veya dişli kaplinler kullanılmaktadır. Dişli kaplinler torku iletmeye yararlar ve aksel yönde şaftların uzamalarına müsaade ederler. Diyaframli kaplinlerde ise aksel hareket sınırlı kalmaktadır. Kaplin söküldükten sonra kaplinler arası mesafe ölçülerek kaydedilmelidir. Bu değer az veya fazla olması diyaframli ve şimli kaplinlerde thrust yatak aşınmalarına sebep olabilmektedir. Şaftlar arası mesafe ölçülürken türbinin trans yatağına yaslanmış olmasına ve diğer ekipmanın da çalışma pozisyonunda olduğundan emin olunmalıdır [2].

2.3.2. Aksel Gezinti ve Rotor Aksel Pozisyonun Kontrolü

Eksenel gezinti ve rotor aksel pozisyonu ölçülürken yatak hamilleri takılı olmalıdır. Bu iki değer ekipman sökülmeden önce ölçülerek kaydedilmelidir [3].

2.3.3. Yatakların Klerans Kontrolü

Radyal yataklar ile hamil arasındaki klerans ekipman devredeyken yatağın boşa kalmasını engellemektedir. Bu değer çok sıkı olursa yatak şekil değiştirebilir, çok düşük ise yuvada dönmeye başlayabilir. Bu yüzden bu değer ölçülerek uygun toleranslara getirilmesi çok önemlidir. Genellikle 0,01-0,04 mm arası bir değer olmakla beraber imalatçı verileri dikkate alınmalıdır [4].

2.3.4. 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 retainerın 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 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 [7].

2.3.5. Yağ Labirenti Kontrolü

Yağ seallerinin kleransları demontaj esnasında ölçülüp kaydedilmelidir Üretici verilerinin sınırları dışında kalan sealler tekrar kullanılmayacaktır. Seallerin yüzeylerinde eğilme, sürtme varsa kontrol edilip not edilmelidir. Ölçüm için seal üst kepi yerinden alındıktan sonra rotor ile alt seal arası şimlenerek yapılır. Ölçümler rotorun her iki tarafından da yapılmalıdır [6].

2.3.6. Labirentlerin Kontrolü

Labirent üst kepleri yerinden söküldükten sonra rotorun her iki tarafından şimleme ile klerans ölçümü yapılır [7].

2.3.7. Gövde ve Diyafram / Blade Carrier Kontrolü

2.3.7.1. 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 yavaşça yerinden alındıktan sonra altına tahta vb. yumuşak bir malzeme koyularak yere indirilir. Gövde alt yüzeyi sızdırmazlık yüzeyi olduğundan çizilmemesine hassasiyet gösterilmelidir [7].



Şekil 2. Üst gövde kapağının demontajı.

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 mezkeleme (dowel) pimleri takılmalıdır. Gövde oturtulduktan sonra rotor döndürülerek sıkışma olmadığı görülmelidir. Gövde saplamaları sıkılırken ilgili imalatçının verdiği sıkma sırası ve tork prosedürü uygulanmalıdır [6].

2.3.7.2. Diyafram Kontrolü

Diyaframlar bütün majör bakımlarda sökülerek kontrol edilmelidir. Söküm esnasında markalama yapılmalıdır [2].



Şekil 3. Diyaframların montajı.

Rotor duruyorken ve çalışma esnasında sehim yaptığından dolayı diyaframlarda rotorun şekline göre montajlanırlar. Bu ölçüleri de 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 artırıp 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 [2].

2.3.7.3. Blade Carrier Kontrolleri

Blade carrier'larda yapılacak olan kontroller ile diyaframlara yapılacak olan kontroller hemen hemen birbirinin aynısıdır [3].

2.3.8. Rotor Kontrolü

Üst kapak söküldükten sonra rotorda görsel kontrol yapılır. Herhangi bir birikinti, kirlilik görülürse kaydedilmelidir. Rotor yerinden alınırken sabit parçalara sürtmemesine dikkat edilmelidir. Yerinden alındıktan oturtulur ve sonra yatak yerleri teflon veya tahta malzemeye temas edecek şekilde oturtulur [8].



Şekil 4. Rotorun desteklere montajı.

Rotor desteğe oturtulduktan sonra görsel olarak erozyon veya korozyon kontrolü yapılır. Sonrasında 200 mesh grit alüminyum oksit, kum veya cam ile temizlenir

(Temizlik esnasında çelik bilya kullanılmayacaktır). 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. 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 [8].

Rotor Montajı;

➤ Alt gövdeden kontrol için sökülen steam 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 [8].



Şekil 5. Rotor montaj çalışmaları.

2.3.9. 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. Valf mili, siliv, silindir, piston ve valf görsel olarak kontrol edilecektir. Valf siti ve plug sıvı penetrant ile kontrol edilecektir. Valf milinin(spindle) dış çapı ve silivin iççapı ölçülerek aradaki klerans kaydedilir [5].



Şekil 6. Trip vanası demontajı.

Valf milinin 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 [4].

2.3.10. Kontrol Vanası Kontrolü

Bir kontrol vanasındaki tipik kontrol noktaları aşağıda belirtilmiş ölçümler için imalatçı bilgilerine bakılmalıdır. 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 [2].

2.3.11. 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 [6].

2.3.12. 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 balansı değeri ile karşılaştırılacak, eğer aynıysa yüksek hız balansı yapmadan yerine koyulacaktır. Bu standartta yer alan türbinlerin rotorlarının balansında rotor balans standardı dikkate alınmalıdır [8].

3. Materyal ve Metot

3.1. Buhar Türbini

Akçansa Atık Isı Geri Kazanım Tesisinde bulunan 15 MW gücünde Hangzhou marka reaksiyon tipi 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 eksenel 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.



Şekil 7. Bakımı yapılan buhar türbininin genel görünümü.

Tablo 1. Buhar türbinin teknik özellikleri [10].

Model	BN16-1.25/0.2
Type	Condensing
Rated Power	16000 kW
Turbine rated speed	3000 r/min
Turbine first stage	~1850 r/min
Generator rated speed	3000 r/min
Inlet pressure	1,25 (0,7 ~ 1,5)
Inlet Temperature	335 (270 ~ 390) °C
Condensing pressure	0,01 MPa
Circulation cooling	Normal: 27°C,

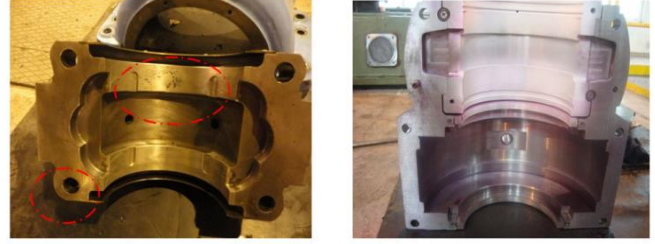
3.2. B Tipi (Minör) 15.000 OH Bakım Çalışmaları

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. Bakım başlangıç tarihi, 17.04.2013'tür. Bakım bitiş tarihi, 23.04.2013'tür [10].

3.2.1. Yatakların Kontrolü ve Bakımı

- 1, 2, 3 ve 4 nolu yatakların demontajı 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 penetrant testi yapıldı,
- 1, 2 ve 3 nolu yatakta herhangi bir problem tespit edilmedi, 4 nolu yatakta tespit edilen çatlaklar sebebiyle yatak değişimi yapıldı,
- Montaj değerleri ölçülüp, yatakların montajı tamamlandı.



Şekil 8. 4 Nolu yatakta tespit edilen çatlaklar ve 1 nolu yatağın üst kep PT uygulaması.

3.2.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governor) Vanalarının Kontrolü ve Bakımı

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



Şekil 9. Trip vanalarının demontajı ve sızdırmazlık elemanlarının değişimi.

3.2.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

- Hangzhou marka buhar türbini 15.000 saatlik minör bakımı kapsamında, yağlama sisteminin bakımı, virör sisteminin bakımı, vakum sisteminin bakımı ve kondenser temizliği gibi çalışmalar yapıldı,

- Generatör soğutma sistemi, eşanjör temizliği su jeti yardımıyla yapıldı,
- Generatör elektrik bağlantı noktalarının, ikaz trafosunun, yıldız bağlantı noktalarının, klemenslerin sıklık kontrolü ve genel temizliği yapıldı,
- Generatör sargıların göz ile kontrolü ve temizliği yapıldı,
- Megger testleri yapıldı.

3.2.4. 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 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.

3.3. B Tipi (Minör) 30.000 OH 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. Bakım bitiş tarihi 31.12.2014'tür [11].

3.3.1. Yatakların Kontrolü ve Bakımı

- Pedestal üst muhafazası demontajı yapıldı.
- Generatör yataklarının yağ labirent ölçüleri alındı.
- Generatör arka yatak yağ labirentleri ve üst kapağı demontajı yapıldı.
- Generatör ikaz fırçalarının demontajı yapıldı.

- Thrust yatak pad'lerin içindeki metal sıcaklık sensörleri sökölüp uzunluk: 30 mm, çap: 3 mm olarak ölçülendirilmiştir.
- Türbin pedestal tarafı yatağının alt kısımdaki metal sıcaklık sensörü uzunluk: 35 mm, çap: 6,50 mm olarak ölçülendirilmiştir.
- 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.
- Türbin generatör tarafı üst kap demontajı yapıldı.
- Generatör alt arka yatak (ikaz tarafı) demontajı yapılarak alt ve üst yatak birleştirilip ölçüsü alındı.
- Türbin 2 nolu yatak (generatör tarafı) ve generatör ön yatak (türbin tarafı) kurşun testi yapıldı.
- Türbin pedestal tarafındaki yatağın ve generatör arka yatağın kurşun testi yapıldı.
- Generatör arka yatak (ikaz tarafı) ve yağ labirentlerinin montajı yapıldı.
- Generatör sızdırmazlık yataklarının montajı yapıldı ve ölçüleri alındı.

3.3.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governer) Vanaların Kontrolü ve Bakımı

- ESV sağ tarafı aktüatörü demontajı yapıldı.
- ESV vanası demontajı ve temizliği yapıldı.
- ESV valfinin çatlak kontrolü yapıldı.
- ESV valfinin boya testi yapıldı ve yağ keçeleri değiştirilerek montajı tamamlandı.
- Kontrol(Governer) vanası genel olarak kontrol edildi ve fonksiyon testleri yapıldı.

3.3.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

- Turning gear (virör) sisteminin bakımı yapıldı.
- Vakum sistemindeki ekipmanların bakımları yapıldı.
- Kondenser temizliği ve bakımı yapıldı.
- Yağlama yağı sistemindeki ekipmanların genel bakımları ve yağlama yağı tankı temizliği yapıldı.
- Türbin generatör tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.
- Türbin pedestal tarafı labirent ve gland ölçüleri alındı.
- Rotorun aksiyal kayma oranı tespit edildi ve üreticinin belirlemiş olduğu değer aralığına getirildi.
- Vakum pompasının demontajı, bakımı ve temizliği yapıldıktan sonra mekanik salmastrası takılıp montajı yapıldı.

- Generatör soğutma sisteminin bakımları yapıldı.

3.3.4. 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. Pasaport değerleri doğrultusunda montaj işleri tamamlanmıştır. Akçansa personeli eşliğinde ünite sorunsuz bir şekilde devreye alınmıştır.



Şekil 10. Buhar türbini devreye alma çalışmaları.

3.4. B Tipi (Minör) 55.000 OH Bakım Çalışmaları

İşletme ve bakım manuellere 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. Bakım başkangıç tarihi, 12.02.2018'dir. Bakım bitiş tarihi ise 20.02.2018'dir [12].

3.4.1. 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 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 NDT testi sonucu çatlaklara rastlanmadı. Tekrardan yerine montaj edildi.
- 2 numaralı yatak kontrolleri yapıldı. Yatak da yapılan 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. Yüzeyler 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 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.

3.4.2. Trip (ESV) ve Kontrol (Governor) Vanalarının Kontrolü ve Bakımı

- Kontrol valfinden 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 tamamlandı.
- Kontrol vanası izolasyon montajı tamamlandı.
- Trip (ESV) vanalarının genel olarak kontrolleri ve fonksiyon testleri yapıldı.



Şekil 11. Kontrol vanası bakım çalışmaları.

3.4.3. Diğer Sistemlerin Mekanik Bakım Çalışmaları

- Generatör soğutucu eşanjörü temizliği yapıldı. Tıkalı olan borular su jeti ile temizlendi.
- 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.
- Yağ soğutucu eşanjörlerinin bakımı yapıldı.
- Generatör hava soğutucu eşanjörünün kapakları üzerindeki soğutma hatları montajı tamamlandı.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinden ikinci sıradaki eşanjörün tıkalı olan boruları temizlendi ve 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.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinin temizliği ve montajı tamamlandı.

➤ Generatör rotorunun ikaz kömürleri ve topraklama hatlarının montajı tamamlandı.

➤ Virör dişlisi elektrik motoru rulmanları değiştirildi ve yerine montaj yapıldı.

➤ Yağ soğutucu eşanjörlerinin ve çevresinin temizliği yapıldı.

➤ Soğutma kulesi havuz taban temizliği yapıldı.

3.4.4. Devreye Alma Çalışmaları

Buhar türbini soğuk start prosedürü doğrultusunda devreye alma çalışmaları 20.02.2018 tarihinde Akçansa işletme yetkilileri tarafından yapılmış ve türbin sorunsuz olarak devreye alınmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Buhar Türbininde Kullanılan Akışkanın Termodinamik Denklemleri

Çalışmada kullanılan verim hesabı yapılırken belirli basınç ve sıcaklık altındaki entalpi değerleri aşağıda ifade edildiği şekliyle bulunmuştur.

h_3 ; buhar türbini girişindeki kızgın 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, 2000) kitabında Tablo A-6'nın yardımıyla bulunmuştur.

h_4 ; buhar türbini çıkışındaki buharın entalpisidir. Bu bölgede akışkan doymuş buhar-doymuş sıvı halinde bulunur. Bu değer; $h_4 = h_1 + xh_{fg}$ 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.

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 [13].

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 genleşme).

4.2.1. Kütlelerin Korunumu

$$m_3 = m_4 = m_s \quad (1)$$

m_3 ; türbin girişindeki buharın debisini ifade etmektedir.

m_4 ; türbin çıkışındaki buharın debisini ifade etmektedir.

4.2.2. Enerjinin Korunumu

$$m_3h_3 = m_4h_4 + W_T \quad (2)$$

$$\eta_T = [W_T] / [m_s (h_3 - h_4)] \quad (3)$$

η_T ; türbinin izantropik verimini ifade etmektedir.

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

4.3. B Tipi (Minör) 15.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlilik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=74$ t/h, $T_3=350$ °C, $P_3=1,03$ MPa ve $h_3=3158,2$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=74$ t/h, $T_4=41$ °C, $P_4=0,094$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $W_T = 14,735$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme

değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,816$ (%81,6) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 15.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=72$ t/h, $T_3=345$ °C, $P_3=1,01$ MPa ve $h_3=3147,5$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=72$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,094$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,744$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,830$ (%83,0) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,014 (%1,4) kadar artış göstermiştir.

4.4. B tipi (Minör) 30.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=69$ t/h, $T_3=343$ °C, $P_3=0,91$ MPa ve $h_3=3145,3$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=69$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,280$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,820$ (%82,0) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 30.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=70$ t/h, $T_3=345$ °C, $P_3=0,954$ MPa ve $h_3=3146,4$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=70$ t/h, $T_4=40$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 13,223$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,832$ (%83,2) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,012 (%1,2) kadar artış göstermiştir.

4.5. B Tipi (Minör) 55.000 OH Bakım Çalışmalarının Verimlik Üzerine Etkisi

Hangzhou marka buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı öncesinde türbine giren buhara ait

normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=64$ t/h, $T_3=333$ °C, $P_3=0,85$ MPa ve $h_3=3127,6$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=64$ t/h, $T_4=42$ °C, $P_4=0,095$ MPa ve $h_4=2577,1$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 11,692$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,838$ (%83,8) olarak bulunmuştur.

Buhar türbini 55.000 çalışma saatlik (B tipi) minör bakımı sonrasında türbine giren buhara ait normal işletme koşullarındaki (tam yükte) miktar, sıcaklık, basınç ve entalpi değerleri sırasıyla $m_3=66$ t/h, $T_3=340$ °C, $P_3=0,960$ MPa ve $h_3=3135,6$ kJ/kg 'dır. Türbinden çıkan buhar özellikleri ise sırasıyla $m_4=66$ t/h, $T_4=41$ °C, $P_4=0,093$ MPa ve $h_4=2573,5$ kJ/kg 'dır. Buhar türbini tam yükte ve belirtilen işletme koşullarında $WT = 12,166$ kW mekanik (teknik) iş üretmektedir. Belirtilen işletme değerleri Formül 3'de yerlerine yazılarak hesaplanan türbin verimi $\eta_T = 0,847$ (%84,7) olarak bulunmuştur.

Bakım sonrası hesaplanan türbin verimi 0,009 (%0,9) kadar artış göstermiştir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

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 2. Türbin verimi – 15.000 OH bakımı.

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 3. Türbin verimi – 30.000 OH bakımı.

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 4. Türbin verimi – 55.000 OH bakımı.

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

Yukarıdaki tablolarda da 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 türbinini mekanik bakım çalışmaları yerli firmalar tarafından yapılabilmektedir.

Bu çalışmada incelenen buhar türbinini 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.

Kaynaklar

- [1] Hasan V., 2015. Rafineri ekipmanları işletme ve bakım rehberi. Buhar Türbinleri ve Çevrimleri, Tüpraş, Kocaeli.
- [2] GE Oil & Gas., Steam turbine operation and maintenance manuel.
- [3] Alstom, Steam Turbine for Alstom Design.
- [4] Hangzhou Co., Steam Turbine Operation and Maintenance Manuel.
- [5] Joule Enerji A.Ş., 2015. Steam turbine maintenance handbook. İstanbul.
- [6] Bloch H.P., Singh M., 2008. Steam turbines design, application and re-rating. McGraw-Hill Education.
- [7] API (American Petroleum Institute) Standard 612, (August) 2014. Petroleum, petrochemical, and natural gas industries-steam turbines-special-purpose applications, 7th Edition.
- [8] API (American Petroleum Institute), (September) 2001. Recommended practice 687. Rotor Repair, First Edition.
- [9] ASME Section VIII, 2017. Boiler & Pressure Vessel Code.
- [10] İbrahim Ş., (Nisan) 2013. F.55 Müşteri servis raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 15.000 OH, Çanakkale.
- [11] Ayşe B., (Aralık) 2014. F.55 Müşteri servis raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 30.000 OH, Çanakkale.
- [12] Necati T., (Şubat) 2018. T. F.55 Müşteri Servis Raporu - Akçansa WHPG B-Inspection 55.000 OH, Çanakkale.
- [13] Çengel A.Y., Boles A.M, 1994. Thermodynamics: an engineering approach. McGraw-Hill, 987s. New York.