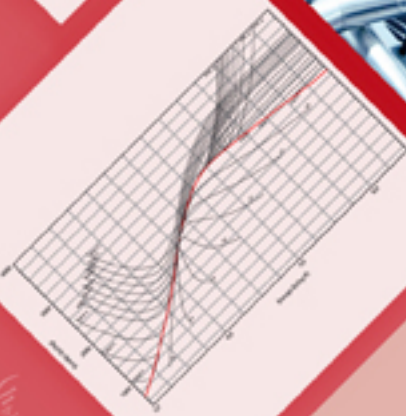
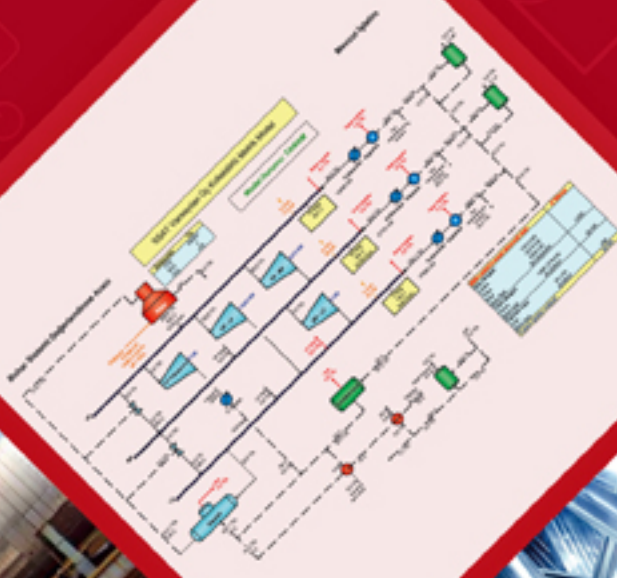


Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon



$$\eta_{\text{system}} = \frac{Q_{\text{out, steam}}}{m_{\text{fuel}} (H_{\text{fuel}} - H_{\text{air}})} \times 100$$
$$\eta_{\text{system}} = \left(\frac{Q_{\text{out, steam}}}{m_{\text{water}} \times HHV_{\text{water}}} \right) \times 100$$

Buhar Sistemleri

T.C.
ENERJİ VE
TABİİ KAYNAKLAR
BAKANLIĞI



YENİLENEBİLİR ENERJİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



TCV
TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI



Çalışmalar
Güçlendirme

Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon

Buhar Sistemleri

Nisan 2017

Bu doküman, aşağıdaki kişiler tarafından hazırlanmıştır:

- Riyaz Papar, P.E., CEM (Hudson Technologies Company, ABD)
- Greg Harrell, Ph.D., P.E. (EMSCAS, ABD)
- Ven Venkatesan, P.E., CEM (Hudson Technologies Company, ABD)

Yazarlar, birçok kişiye, endüstriyel tesise, devlet kurumlarına ve Endüstriyel Buhar Sistemi Optimizasyonu Eğitimi Kılavuzu'nun oluşturulması için önemli ölçüde katkıda bulunan ve değerli kaynaklarını, zamanlarını ve çabalarını paylaşan programlara teşekkürlerini ve minnettarlıklarını ifade ederler. Bu kişiler, kuruluşlar ve programlar şunlardır:

- ABD Enerji Bakanlığı Endüstriyel Teknolojiler Programı – Buhar En İyi Uygulamaları
- Khac Tiep Nguyen – UNIDO, Avusturya
- Marco Matteini – UNIDO, Avusturya
- Senthil Kumar – Hudson Technologies Company, ABD
- Chrysler Company, ABD
- Del Monte Foods – Modesto Tesisi, ABD
- Jim Munch Process Systems, ABD
- Energy Concepts Company, ABD

UNIDO tarafından oluşturulmuş notlara dayanan bu kitap, Türkiye'deki sanayi ve enerji verimliliği literatürü de dikkate alınarak, "Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi" kapsamında geliştirilmiş ve uyarlanmıştır. Metinlerin çevirisi ve edisyonu Proje Yönetim Birimi tarafından koordine edilmiştir:

Ulusal Proje Direktörü
Erdal Çalikoğlu

Proje Koordinatörü
Dr. Kubilay Kavak

Editörler
Prof. Dr. Atilla Bıyıkoğlu, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail Coşkun, Gazi Üniversitesi

Çeviri
Adnan Bıçaksız, AngloTurca Çeviri Hizmetleri

© Her hakkı saklıdır. Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı (UNIDO), 2012.

Bu dokümanın yayın hakları, "Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi" kapsamında UNIDO tarafından YEGM'e devredilmiştir.

YEGM HAKKINDA

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ana hizmet birimlerinden biri olarak, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve enerji teknolojileri ve bilgi yönetimi eksenlerinde çalışmalar yapmak üzere, 02/11/2011 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 11/10/2011 tarihli ve 662 sayılı "Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Hükmünde Kararname" ile kurulmuştur. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili politika ve stratejilerin genel çerçevesinin belirlenmesinde ve diğer kurum ve kuruluşlarca yürütülen faaliyetlerin koordine edilmesinde önemli rol ve sorumluluklara sahiptir. Bu kapsamda, enerji kaynaklarının ve enerjinin üretiminden tüketimine her safhasında ülke yararına, etkin ve verimli kullanımı ile ilgili çalışmalar yapmak, enerji verimliliği ile ilgili politika ve stratejiler geliştirmek, başka kuruluşlar tarafından yürütülen çalışmalarda koordine edici ve yönlendirici bir rol oynamak, enerji verimliliği ile ilgili ulusal ve sektörel hedeflerin belirlenmesine katkıda bulunmak, kamu kuruluşlarına ve yerel yönetimlere danışmanlık hizmetleri sunmak kuruluşun başlıca görevleridir.

UNIDO HAKKINDA

Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı (UNIDO), Birleşmiş Milletler'in uzmanlaşmış bir kuruluşudur. Görevi kalkınmakta olan ülkelerde ve geçiş ekonomilerinde sürdürülebilir endüstriyel kalkınmayı destekleyip hızlandırmak ve birleşik küresel kaynaklarını ve uzmanlığını kullanarak dünyanın en yoksul ülkelerindeki yaşam şartlarını iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. UNIDO son yıllarda faaliyetlerini yoksulluğun azaltılması, kapsayıcı küreselleşme ve çevresel sürdürülebilirlik üzerinde yoğunlaştırarak, küresel kalkınma gündeminde genişletilmiş bir rol üstlenmiştir. UNIDO'nun hizmetleri iki çekirdek işleve dayanmaktadır: UNIDO; küresel bir forum olarak, sanayiyle ilgili bilgi üretmekte ve yaymaktadır; teknik bir işbirliği kurumu olarak, teknik destek sağlamakta ve projeler uygulamaktadır. UNIDO, uzun vadeli etki sağlamayı amaçladığı üç ana tematik alan üzerine odaklanmaktadır: i) Üretim faaliyetleri aracılığıyla yoksulluğun azaltılması, ii) Ticari kapasitenin artırılması, iii) Enerji ve çevre.

UNDP HAKKINDA

Birleşmiş Milletler'in küresel kalkınma ağı olan BM Kalkınma Programı (UNDP); insanlara bilgi, deneyim ve daha iyi bir yaşam kurmaları için kaynak ulaştıran ve değişimi savunan bir kuruluştur. UNDP, krizlere dayanıklı ve herkesin yaşam kalitesini geliştiren türde bir büyümeyi sağlayan ve sürdüren toplumlar inşa edilmesine destek vermek için toplumun her kesiminden insanlarla ortaklıklar kurmaktadır. UNDP, 177 ülke ve bölgede, çeşitli ortakları ile birlikte, toplumlara kendi buldukları çözümlerde yardımcı olarak, onların ulusal ve küresel kalkınma çabalarına destek vermektedir. UNDP, güçlü bireyler ve güçlü toplumlar için küresel bir perspektif ve yerel bir anlayış sunmaktadır. UNDP Türkiye, ulusal kalkınma planı ile ortaya konulan Türkiye'nin kalkınma hedef ve önceliklerine cevap verecek şekilde ve üç temel alanda çalışmaktadır: Kapsayıcı ve sürdürülebilir kalkınma; kapsayıcı ve demokratik yönetim; iklim değişikliği ve çevre. Ayrıca, stratejik ortaklıklarla hem yurtiçinde hem de yurtdışında Türkiye'nin kalkınma çabalarını desteklemektedir.

İçindekiler

| | |
|---|-------|
| İçindekiler | v |
| Şekillerin Listesi | xii |
| Tabloların Listesi | xiv |
| Semboller | xv |
| Kısaltmalar | xvii |
| Birimler | xviii |
| Özet | xix |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Endüstriyel Buhar Kullanıcıları | 1 |
| 1.2. Buhar Kullanımının Avantajları | 2 |
| 1.3. Sistem Yaklaşımı | 2 |
| | |
| 2. BUHAR SİSTEMLERİ TEMEL BİLGİLER | 5 |
| 2.1. Genel Buhar Sistemleri ve Bileşenleri | 5 |
| 2.2. Buhar Sistemi Hat Şemaları | 7 |
| 2.3. Buhar Termodinamiği | 9 |
| 2.4. Temel Kanunlar ve Prensipler | 11 |
| | |
| 3. ENDÜSTRİYEL BUHAR SİSTEMİ ARAÇLARI | 13 |
| 3.1. ABD EB Buhar Sistem Araçları Takımı (SSTS) | 13 |
| | |
| 4. ENDÜSTRİYEL BUHAR SİSTEMİNİN MODELLENMESİ | 17 |
| 4.1. ABD EB Buhar Sistem Değerlendirme Aracı (SSAT) | 18 |
| 4.2. SSAT'deki Buhar Sistem Optimizasyon Projeleri | 19 |
| | |
| 5. BUHAR SİSTEMİ OPTİMİZASYON FIRSATLARI | 23 |
| 5.1. Yakıt Özellikleri | 23 |
| 5.2. Buhar Üretim Maliyeti | 25 |
| 5.3. Kazan Veriminin Hesaplanması (Dolaysız Yöntem) | 25 |
| 5.4. Kazan Veriminin Hesaplanması (Dolaylı Yöntem) | 26 |
| 5.4.1. Kabuk kaybı | 27 |
| 5.4.2. Blöf kaybı | 28 |
| 5.4.3. Baca kaybı | 30 |
| 5.4.3.1. Baca gazı sıcaklığı bileşeni | 31 |

| | |
|--|----|
| 5.4.3.2. Yanma bileşeni | 32 |
| 5.5. Buhar Üretimi Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları | 34 |
| 5.5.1. Fazla havanın minimize edilmesi | 34 |
| 5.5.1.1. Konumlandırma kontrolü..... | 35 |
| 5.5.1.2. Otomatik oksijen ayar kontrolü..... | 35 |
| 5.5.2. Baca gazı ısı geri kazanımı ekipmanının kurulması..... | 37 |
| 5.5.2.1. Besleme suyu ekonomizörü | 38 |
| 5.5.2.2. Hava ön ısıtıcı | 38 |
| 5.5.2.3. Yoğuşmalı ekonomizör | 38 |
| 5.5.3. Kazan ısı transfer yüzeylerinin temizlenmesi..... | 40 |
| 5.5.4. Su arıtmanın iyileştirilmesi..... | 40 |
| 5.5.5. Otomatik blöf kontrolörü takılması | 41 |
| 5.5.6. Kazan blöfünden enerji geri kazanımı | 42 |
| 5.5.7. Kazan refrakterinin eklenmesi/yenilenmesi | 43 |
| 5.5.8. Çalışan kazan sayısının minimize edilmesi | 43 |
| 5.5.9. Yakıt değişikliğinin araştırılması..... | 44 |
| 5.5.10. Degazör işlemlerinin optimize edilmesi..... | 44 |
| 6. BUHAR DAĞITIMI OPTİMİZASYON FIRSATLARI | 47 |
| 6.1. Genel | 47 |
| 6.2. Buhar Dağıtım Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamalar..... | 48 |
| 6.2.1. Buhar kaçaklarının giderilmesi..... | 48 |
| 6.2.2. Dışarı atılan buharın minimize edilmesi..... | 50 |
| 6.2.3. Buhar boru tesisatı, vanalar, bağlantı elemanları ve kazanların (basınçlı kaplar) yalıtılması | 51 |
| 6.2.4. Kullanılmayan hatlardan buharın izolasyonu..... | 53 |
| 6.2.5. Basınç düşürme istasyonlarında akışın minimize edilmesi | 54 |
| 6.2.6. Kollektörlerde basınç düşüşünün azaltılması..... | 54 |
| 6.2.7. Buhar kollektörlerindeki kondensin boşaltılması | 55 |
| 7. BUHAR SON KULLANICI OPTİMİZASYON FIRSATLARI | 57 |
| 7.1. Buhar Dengesine Genel Bakış | 57 |
| 7.2. Buhar Son Kullanım Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları | 61 |
| 8. BUHAR KONDENS GERİ KAZANIMI OPTİMİZASYON FIRSATLARI..... | 63 |
| 8.1. Genel Bakış..... | 63 |
| 8.2. Buhar Kapanları | 64 |
| 8.2.1. Termostatik kapanlar | 65 |

| | |
|--|----|
| 8.2.2. Mekanik kapanlar | 66 |
| 8.2.2.1. Şamandıra ve termostatik (F&T) kapanlar | 66 |
| 8.2.2.2. Ters kovalı buhar kapanı..... | 66 |
| 8.2.3. Termodinamik kapanlar | 67 |
| 8.2.4. Orifis kapanları..... | 68 |
| 8.3. Kondens Geri Kazanımı Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları | 68 |
| 8.3.1. Etkin bir buhar kapanı yönetim ve bakım programı oluşturulması | 69 |
| 8.3.2. Mevcut kondensin geri kazanılması | 70 |
| 8.3.3. Mümkün olan en yüksek ısı enerjide kondensin geri kazanılması..... | 72 |
| 8.3.4. Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması..... | 73 |
| 9. BİRLEŞİK ISI VE GÜÇ (CHP) OPTİMİZASYON FIRSATLARI | 75 |
| 9.1. Genel Bakış..... | 75 |
| 9.2. Buhar Türbinleri | 76 |
| 9.2.1. Karşı basınçlı türbin | 77 |
| 9.2.2. Ara kademeli türbin..... | 77 |
| 9.2.3. Yoğuşmalı türbin | 78 |
| 9.3. Buhar Türbini Verimi | 79 |
| 9.4. Buhar Debisi..... | 80 |
| 9.5. CHP Optimizasyonu ve En İyi Uygulamalar..... | 80 |
| 9.5.1. Karşı basınçlı türbinle CHP optimizasyon fırsatı | 81 |
| 9.5.2. Yoğuşmalı türbinle CHP optimizasyon fırsatı..... | 83 |
| 10. BUHAR SİSTEMİ DEĞERLENDİRME RAPORU | 85 |
| 10.1. Endüstriyel Enerji Değerlendirmeleri..... | 85 |
| 10.2. Buhar Sistemi Endüstriyel Enerji Değerlendirme Standardı | 86 |
| 10.3. Buhar Sistemi Enerji Değerlendirmesinde Tipik Proje Alanları..... | 87 |
| 10.4. Enerji Tasarrufu Fırsatları | 88 |
| 11. ENDÜSTRİYEL BUHAR SİSTEMİ DEĞERLENDİRMESİ İÇİN TAŞINABİLİR ÖLÇÜM CİHAZLARI..... | 89 |
| 11.1. Endüstriyel Buhar Sistemi Değerlendirmesi İçin Veri Toplanması..... | 89 |
| 11.1.1. Tasarım bilgisi | 89 |
| 11.1.2. İşletim verileri | 90 |
| 11.2. Taşınabilir Ölçüm Cihazları..... | 91 |
| 11.2.1. Sıcaklık ölçümü | 91 |
| 11.2.1.1. Termal kamera | 91 |

| | |
|---|------------|
| 11.2.1.2. Kızıl ötesi sıcaklık tabancası | 92 |
| 11.2.1.3. Elde taşınır dijital termometre | 93 |
| 11.2.1.4. Daldırılmalı sıcaklık probu..... | 93 |
| 11.2.2. Basınç ölçümü | 93 |
| 11.2.2.1. Pitot tüpü..... | 93 |
| 11.2.2.2. Dijital manometre..... | 94 |
| 11.2.2.3. Şeffaf esnek boru | 94 |
| 11.2.3. Baca gazı analizi | 94 |
| 11.2.4. Enerji ölçümü..... | 95 |
| 11.2.5. Diğer ölçümler ve yardımcı cihazlar | 96 |
| 11.2.5.1. Ultrasonik kaçak dedektörü | 96 |
| 11.2.5.2. Dijital kronometre | 97 |
| 11.2.5.3. Dijital kamera | 97 |
| 11.2.5.4. Eldivenler | 97 |
| 11.2.5.5. El feneri | 97 |
| 11.2.5.6. Bataryalar | 97 |
| 11.2.5.7. Yalıtım bandı..... | 97 |
| 12. BUHAR SİSTEMİ GENEL DEĞERLENDİRME RAPORU..... | 99 |
| 12.1. Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Toplantısı | 99 |
| 12.2. Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Raporu..... | 100 |
| 12.2.1. Başlık sayfası ve giriş | 100 |
| 12.2.2. Yönetici özeti..... | 101 |
| 12.2.3. Enerji optimizasyon fırsatları için özet tablo..... | 101 |
| 12.2.4. Nitel öneriler listesi..... | 102 |
| 12.2.5. Genel gözlemler, kabuller ve veri toplanması | 103 |
| 12.2.6. Buhar sistemine genel bakış | 103 |
| 12.2.7. Buhar sistemi işletim performansı ve etkinliği | 103 |
| 12.2.8. Buhar sistemi modeli..... | 104 |
| 12.2.9. Tesiste gözlemlenen en iyi uygulamalar | 105 |
| 12.2.10. Tesisteki enerji ve maliyet tasarrufu optimizasyon fırsatları..... | 105 |
| 12.2.11. Tesis için nitel öneriler ve en iyi uygulamalar | 107 |
| 13. VAKA İNCELEMELERİ..... | 113 |
| 13.1. Vaka İncelemesi-1: DOW Chemical Company..... | 114 |
| 13.1.1. Özet..... | 114 |
| 13.1.2. Şirket ve tesis arka planı..... | 114 |
| 13.1.3. Kısa vadeli SSO fırsatları | 114 |

| | |
|---|-----|
| 13.1.3.1. Buhar kapağı tamir projesi uygulanması | 114 |
| 13.1.3.2. Buhar kaçağı yönetim programının iyileştirilmesi | 114 |
| 13.1.3.3. Yalıtımın iyileştirilmesi..... | 115 |
| 13.1.3.4. Kondens geri kazanımının artırılması..... | 115 |
| 13.1.4. Orta vadeli SSO fırsatları..... | 115 |
| 13.1.4.1. Blöf ısı geri kazanım eşanjörü takılması | 115 |
| 13.1.4.2. 5 barlık buharla ön ısıtıcı reaktör beslemesi..... | 115 |
| 13.1.4.3. Karşı basınçlı türbin sürücü takılması | 115 |
| 13.1.5. Sonuçlar | 116 |
| 13.2. Vaka İncelemesi-2: Chrysler Company | 116 |
| 13.2.1. Özet..... | 116 |
| 13.2.2. Şirket ve tesis arka planı..... | 117 |
| 13.2.3. Kısa vadeli SSO fırsatları | 117 |
| 13.2.3.1. Kazan işletimi ve yük yönetimi stratejisinin optimize edilmesi | 117 |
| 13.2.3.2. Kazan çalışma basıncının artırılması | 117 |
| 13.2.3.3. Kazan #1'deki baca gazı oksijen seviyesinin azaltılması | 117 |
| 13.2.3.4. Kazan blöfünün azaltılması..... | 118 |
| 13.2.3.5. Blöf ısı geri kazanımı uygulanması..... | 118 |
| 13.2.3.6. Buhar kapağı yönetim programı uygulanması | 118 |
| 13.2.4. Orta vadeli SSO fırsatları..... | 118 |
| 13.2.4.1. Kazan #1'de besleme suyu ekonomizörünün geliştirilmesi | 118 |
| 13.2.4.2. Yoğuşmalı buhar türbinlerinin elektrik motorları ile değiştirilmesi | 118 |
| 13.2.5. Sonuçlar | 119 |
| 13.3. Vaka İncelemesi-3: Terra Nitrogen Company, L.P. | 119 |
| 13.3.1. Özet..... | 119 |
| 13.3.2. Şirket ve tesis arka planı..... | 120 |
| 13.3.3. Kısa vadeli SSO fırsatları | 120 |
| 13.3.3.1. Blöf suyundan flaş buhar geri kazanımı | 120 |
| 13.3.3.2. Buhar kapağı bakım programının uygulanması | 120 |
| 13.3.3.3. Buhar kaçağı bakım programının uygulanması | 120 |
| 13.3.4. Orta vadeli SSO fırsatları..... | 121 |
| 13.3.4.1. Sentez çevriminin iyileştirilmesi..... | 121 |
| 13.3.4.2. Türbin yükseltmesi..... | 121 |
| 13.3.4.3. Yoğuşmalı türbinlerin çalışmasının iyileştirilmesi | 121 |
| 13.3.5. Uzun vadeli SSO fırsatları | 121 |
| 13.3.5.1. Yüksek basınçlı doğal gaz boru hattı kurulması..... | 121 |
| 13.3.5.2. Yardımcı kazanın veriminin iyileştirilmesi | 121 |
| 13.3.6. Sonuçlar | 122 |

| | |
|---|-----|
| 13.4. Vaka İncelemesi-4: Del Monte Foods Company | 122 |
| 13.4.1. Projenin amacı | 122 |
| 13.4.2. Metodoloji | 123 |
| 13.4.3. Sonuçlar | 123 |
| 13.5. Vaka İncelemesi-5: Buharlaştırıcı Salça Sterilizatöründen Kondens Geri Kazanımı ... | 124 |
| 13.5.1. Orijinal sistem | 124 |
| 13.5.2. İyileştirilmiş sistem konfigürasyonu..... | 125 |
| 13.5.3. Sonuçlar | 125 |
| 13.6. Vaka İncelemesi-6: Bir Rafineride Buhar/Elektrik Sürücü Optimizasyonu | 126 |
| 13.6.1. Orijinal sistem | 126 |
| 13.6.2. Sistem optimizasyon değerlendirmesi..... | 127 |
| 13.6.3. Sonuçlar | 128 |
| | |
| 14. SONUÇLAR VE SONRAKİ AŞAMALAR | 129 |
| 14.1. Buhar Sistemi Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları..... | 129 |
| 14.1.1. Buhar üretim alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları | 129 |
| 14.1.2. Buhar dağıtım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları..... | 130 |
| 14.1.3. Buhar son kullanım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları | 130 |
| 14.1.4. Kondens geri kazanım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları | 130 |
| 14.1.5. Kojenerasyon alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları..... | 131 |
| 14.2. Buhar Sistemi Değerlendirme Standardı..... | 131 |
| 14.3. Veri Toplama ve Taşınabilir Ölçüm Cihazları..... | 131 |
| 14.4. Buhar Sistemi Değerlendirme Raporu | 132 |
| 14.5. Sonraki Aşamalar | 132 |
| | |
| Referanslar | 134 |
| | |
| EKLER | 135 |
| Ek-A: Sözlükçe..... | 135 |
| Ek-B: Buhar Tabloları (Refprop'dan) | 141 |
| B.1. Doymuş Sıvı ve Buhar Özellikleri (Basınca Bağlı)..... | 141 |
| B.2. Doymuş Sıvı ve Buhar Özellikleri (Sıcaklığa Bağlı)..... | 146 |
| B.3. Kızgın Buhar Özellikleri (Basınca Bağlı) | 147 |
| B.4. Aşırı Soğutulmuş Sıvı Özellikleri (Basınca Bağlı)..... | 149 |
| Ek-C: Baca Kayıpları Tablosu..... | 150 |
| C.1. Yakıt Kompozisyonu..... | 150 |
| C.2. Doğal Gaz İçin Baca Kaybı | 151 |
| C.3. No.2 Yağ Yakıt (Fuel-oil) İçin Baca Kaybı | 152 |

| | |
|---|-----|
| C.4. No.6 Yağ Yakıt (Fuel-oil) İçin Baca Kaybı | 152 |
| C.5. Bitümlü Kömür İçin Baca Kaybı (Su - %4; Kül - %7) | 153 |
| C.6. Bitümlü Kömür İçin Baca Kaybı (Su - %5; Kül - %35) | 153 |
| C.7. Bitümlü Kömür İçin Baca Kaybı (Su - %10; Kül - %15)..... | 154 |
| C.8. Yaş Odun İçin Baca Kaybı | 154 |

Şekillerin Listesi

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Genel buhar sistemi..... | 5 |
| Şekil 2.2. | Tek basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması..... | 7 |
| Şekil 2.3. | Çift basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması | 8 |
| Şekil 2.4. | Üç basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması..... | 8 |
| Şekil 2.5. | Üç basınç kollektörlü, yoğuşmalı türbinli buhar sistemi hat şeması | 9 |
| Şekil 2.6. | Buhar için doyma sıcaklığı-basınç ilişkisi | 10 |
| Şekil 2.7. | Mollier diyagramı (buhar)..... | 11 |
| Şekil 4.1. | SSAT tek kollektörlü buhar sistem modeli..... | 18 |
| Şekil 4.2. | SSAT çift kollektörlü buhar sistem modeli..... | 19 |
| Şekil 4.3. | SSAT üç kollektörlü buhar sistem modeli | 19 |
| Şekil 4.4. | SSAT üç kollektörlü buhar sistemi modeli “sonuçlar” sayfası | 21 |
| Şekil 5.1. | Tipik doğal gazlı kazan verim eğrisi..... | 26 |
| Şekil 5.2. | Kazan işletim kayıpları | 27 |
| Şekil 5.3. | Kazan blöf ısı enerji içeriği..... | 31 |
| Şekil 5.4. | ABD EB SSAT yazılımında baca kaybı hesaplayıcı | 33 |
| Şekil 5.5. | Örnek kazan - baca kaybı | 33 |
| Şekil 5.6. | Konumlama kontrol sistemi..... | 35 |
| Şekil 5.7. | Otomatik oksijen ayar kontrol sistemi | 36 |
| Şekil 5.8. | Örnek kazan – besleme suyu ekonomizörü ile baca kaybı hesaplaması..... | 39 |
| Şekil 5.9. | Otomatik kazan blöf kontrolörü | 41 |
| Şekil 5.10. | Blöf enerjisi geri kazanımı | 42 |
| Şekil 6.1. | Bir orifisten buhar kaçak debisi | 49 |
| Şekil 6.2. | 3EPLus® giriş ekranı..... | 52 |
| Şekil 6.3. | 3EPLus® sonuçlar ekranı..... | 53 |
| Şekil 7.1. | Yiyecek ve içecek endüstrisi için tipik bir buhar son kullanım grafiği..... | 58 |
| Şekil 7.2. | Buhar/su dolaylı ısı değişimi | 59 |
| Şekil 7.3. | Buhar/su doğrudan ısı değişimi..... | 60 |
| Şekil 7.4. | Buhar serpantinli (coil) hava ısıtıcı (mevcut işletim)..... | 61 |
| Şekil 8.1. | Termostatik buhar kapanının çalışması | 65 |
| Şekil 8.2. | F&T mekanik buhar kapanının çalışması | 66 |
| Şekil 8.3. | Ters kovalı mekanik buhar kapanının çalışması | 67 |
| Şekil 8.4. | Termodinamik buhar kapanının çalışması | 67 |
| Şekil 8.5. | Orifis tipi buhar kapanlarının çalışması | 68 |
| Şekil 8.6. | Kondens geri dönüş sistemi | 71 |
| Şekil 8.7. | Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması..... | 73 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Şekil 9.1. | Karşı basınçlı buhar türbinleri | 77 |
| Şekil 9.2. | Karşı basınçlı ara kademeli türbin | 78 |
| Şekil 9.3. | Yoğuşmalı türbin | 78 |
| Şekil 9.4. | Buhar debisi ve buhar türbin verimi | 80 |
| Şekil 9.5. | PRV kullanan endüstriyel tesiste mevcut işletim | 81 |
| Şekil 9.6. | Buhar türbini kullanan bir endüstriyel tesiste CHP konfigürasyonu | 82 |
| Şekil 11.1. | Buhar sistemi değerlendirmesinde termal kameranın kullanımı | 92 |
| Şekil 11.2. | Buhar sistemi değerlendirmesi sırasında alınan termal görüntüler | 92 |
| Şekil 11.3. | Buhar sistemi değerlendirmesinde kullanılan pitot tüpleri (ve dijital manometre) | 94 |
| Şekil 11.4. | Buhar sistemi değerlendirmesinde baca gazı analizörünün kullanılması | 95 |
| Şekil 11.5. | Buhar sistemi değerlendirmesinde kullanılan taşınabilir güç ölçüm cihazı | 96 |
| Şekil 12.1. | Örnek: buhar türbini çalışma verimi eğrisi | 104 |
| Şekil 12.2. | Örnek: buhar sistemi modeli | 104 |
| Şekil 13.1. | Buhar türbini ile tahrik edilen vidalı soğutucu | 123 |
| Şekil 13.2. | Buharlaştırıcı salça sterilizatörü | 124 |
| Şekil 13.3. | Orijinal buharlaştırıcı salça sterilizatör sisteminin proses akış diyagramı | 125 |
| Şekil 13.4. | İyileştirilmiş buharlaştırıcı salça sterilizatör sisteminin proses akış diyagramı | 125 |
| Şekil 13.5. | Rafinerideki buhar sistemi denge diyagramı | 126 |
| Şekil 13.6. | Rafineride ERC için işletim maliyeti etkisi ve optimizasyonu | 128 |

Tabloların Listesi

| | |
|--|-----|
| Tablo 3.1. Ortalama endüstriyel buhar sistemi için SSST sonuç özeti | 14 |
| Tablo 5.1. Yaygın olarak kullanılan yakıtların üst ısı değerleri | 24 |
| Tablo 5.2. Birinci mertebe kabuk kaybı kılavuzu | 28 |
| Tablo 5.3. Doğal gaz için baca gazı tablosu | 32 |
| Tablo 5.4. Baca gazı kontrol parametreleri..... | 36 |
| Tablo 9.1. Karşı basınçlı buhar türbin CHP optimizasyon fırsatı için parametrik analiz | 83 |
| Tablo 9.2. Yoğuşmalı türbin CHP optimizasyon fırsatı için parametrik analiz..... | 84 |
| Tablo 10.1 Enerji tasarrufu fırsatları kategorileri..... | 88 |
| Tablo 12.1. Buhar sistemi değerlendirme raporundaki tanıtım bilgisi..... | 101 |
| Tablo 12.2. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları özet tablosu | 102 |
| Tablo 12.3. Örnek: nitel öneriler listesi | 102 |
| Tablo 12.4. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-1 | 108 |
| Tablo 12.5. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-2..... | 109 |
| Tablo 12.6. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-3..... | 110 |
| Tablo 12.7. Nitel öneri örnekleri sonuç raporu..... | 111 |
| Tablo 13.1. İngiltere'deki rafineride dönen ekipmanda buhar türbini sürücüleri..... | 127 |

Semboller

| | |
|------------------------------|--|
| A_{orifis} | – orifis alanı |
| C_p | – özgül ısı |
| d_{orifis} | – orifis çapı |
| $h_{\text{blöf}}$ | – blöf akış entalpisi |
| h_{kondens} | – geri dönen kondens entalpisi |
| $h_{\text{çıkış}}$ | – türbin çıkışındaki entalpi |
| $h_{\text{beslemesuyu}}$ | – besleme suyu entalpisi |
| $HHV_{\text{yakıt}}$ | –yakıt üst ısıl değeri |
| $H_{\text{giriş}}$ | – türbin girişindeki entalpi |
| $H_{\text{takviyesu}}$ | – takviye su entalpisi |
| h_{PRV} | – PRV (basınç düşürme vanası) çıkışındaki entalpi |
| h_{buhar} | – buhar entalpisi |
| $h_{\text{giren_su}}$ | – giren su entalpisi |
| $h_{\text{çıkan_su}}$ | – çıkan su entalpisi |
| $K_{\text{bd_tasarrufu}}$ | – blöf azalması nedeniyle yakıt enerji maliyet tasarrufu |
| $K_{\text{bd_sistem}}$ | – sistem blöf kaybı ile ilgili yakıt enerji maliyeti |
| K_{kazan} | – kazan yakıtı işletim maliyeti |
| k_{elektrik} | – elektrik enerjisi maliyeti |
| $k_{\text{yakıt}}$ | – yakıt birim maliyeti |
| $k_{\text{yakıt}_1}$ | – yakıt 1'in maliyeti |
| $k_{\text{yakıt}_2}$ | – yakıt 2'nin maliyeti |
| K_{kabuk} | – kabuk kaybı ile ilgili yakıt enerji maliyeti |
| K_{buhar} | – buhar birim maliyeti ya da buhar maliyeti göstergesi |
| kW | – buhar türbini tarafından üretilen elektrik gücü |
| $m_{\text{blöf}}$ | – kazan blöfü kütleli debisi |
| $m_{\text{blöf_mevcut}}$ | – kazan blöfü mevcut kütleli debisi |
| $m_{\text{blöf_yeni}}$ | – kazan blöfü yeni kütleli debisi |
| m_{kondens} | – geri dönen kondens kütleli debisi |
| $m_{\text{yakıt}}$ | – yakıt debisi |
| m_{PRV} | – PRV'den geçen buharın kütleli debisi |
| m_{buhar} | – kazandan çıkan buharın kütleli debisi |
| $m_{\text{buhar_tasarruf}}$ | – tasarruf edilen buharın kütleli debisi |
| $m_{\text{türbin}}$ | – türbindeki buharın kütleli debisi |
| $m_{\text{giren_su}}$ | – giren suyun kütleli debisi |
| $m_{\text{çıkan_su}}$ | – çıkan suyun kütleli debisi |
| P_{buhar} | – buhar basıncı |
| Q_{hava_1} | – mevcut işletimde havaya iletilen ısı |
| Q_{hava_2} | – yeni işletimde havaya iletilen ısı |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Q_{bd_kazan} | – kazandan blöf nedeniyle ısı enerjisi içeriği kaybı |
| $Q_{bd_tasarruf}$ | – blöf azalması nedeniyle ısı enerjisi tasarrufu |
| Q_{bd_sistem} | – sistem blöf nedeniyle ısı enerjisi içeriği kaybı |
| $Q_{kondens}$ | – takviye suyu ile karşılaştırıldığında kondens ısı enerjisi |
| $Q_{sonkullanım}$ | – son kullanıma iletilen ısı |
| $Q_{tasarruf_yalıtım}$ | – yüzeylerin yalıtılması ile ilgili enerji tasarrufları |
| Q_{buhar} | – buhar ile iletilen ısı |
| Q_{su} | – ısı değiştiricide (eşanjörde) suya iletilen ısı |
| T | – çalışma saatleri |
| $T_{giriş}$ | – giriş sıcaklığı |
| $T_{çıkış}$ | – çıkış sıcaklığı |
| V_{hava} | – havanın hacimsel debisi |
| $V_{kondens}$ | – geri dönen kondensin hacimsel debisi |
| $W_{gerçek}$ | – gerçek türbin tarafından yapılan mil döndürme işi |
| W_{ideal} | – ideal (ya da mükemmel) türbin tarafından yapılan mil döndürme işi |
| Yunan Sembolleri | |
| β | – besleme suyunun yüzdesi olarak kazan blöf oranı |
| η_{kazan} | – kazan verimi |
| η_{kazan_1} | – yakıt 1 ile kazan verimi |
| η_{kazan_2} | – yakıt 2 ile kazan verimi |
| η_{mevcut} | – mevcut kazan verimi |
| η_{yeni} | – yeni kazan verimi |
| $\eta_{türbin}$ | – türbin izantropik verimi |
| λ_{bd_sistem} | – sistem blöf kaybı |
| $\lambda_{blöf}$ | – kazan blöf kaybı |
| $\lambda_{çeşitli}$ | – kazan çeşitli kayıpları |
| λ_{kabuk} | – kazan kabuk kaybı |
| λ_{baca} | – kazan baca kaybı |
| ρ_{hava} | – hava yoğunluğu |
| $\rho_{kondens}$ | – kondens yoğunluğu |
| σ | – yakıt maliyeti tasarrufu |
| σ_{CHP} | – buhar türbini çalıştırarak elde edilen net ekonomik fayda |
| $\sigma_{kondens}$ | – geri dönen kondenssten elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |
| $\sigma_{elektrik}$ | – buhar türbini çalıştırarak elde edilen elektrik enerji maliyeti tasarrufu |
| σ_{fazla_hava} | – fazla hava kontrolü uygulayarak elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |
| $\sigma_{yakıt}$ | – buhar türbini çalıştırılması nedeniyle yakıt enerji maliyeti artışı |
| $\sigma_{yakıtdeğişimi_tasarrufu}$ | – yakıt değişimi uygulayarak elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |
| $\sigma_{yalıtım}$ | – yüzeyleri yalıtılarak elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |
| σ_{buhar} | – buhar tasarrufu ile elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |
| $\sigma_{buharkaçağı}$ | – buhar kaçaklarını önleyerek elde edilen yakıt maliyeti tasarrufu |

Kısaltmalar

| Kısaltma | Açık Hali / Açıklaması |
|----------|---|
| AC/DC | Alternatif Akım / Doğru Akım |
| ASME | Amerikan Makine Mühendisleri Derneği |
| BFW | kazan besleme suyu |
| CHP | birleşik ısı ve güç |
| EOO | enerji optimizasyon fırsatı |
| FD; ID | cebri çekişli; tahrikli çekişli |
| HP | yüksek basınç |
| HX | eşanjör |
| LFG | çöp gazı |
| LOI | ateşleme kaybı |
| LP | düşük basınç |
| MP | orta basınç |
| NIST | (ABD) Ulusal Standartlar ve Test Enstitüsü |
| NAIMA | Kuzey Amerika Yalıtım İmalatçıları Birliği |
| PRV | basınç düşürme vanası |
| SSAT | Buhar Sistem Değerlendirme Aracı |
| SSO | buhar sistemi optimizasyonu |
| SSSF | Sürekli Akışlı Sürekli Açık |
| SSST | Buhar Sistemi Kapsam Belirleme Aracı |
| TDS | toplam çözünmüş katı madde |
| UNIDO | Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilâtı |
| USA | Amerika Birleşik Devletleri (ABD) |
| USA DOE | Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (ABD EB) |
| V | hacim |
| VFD | değişken frekans sürücüsü |
| VSD | değişken hız sürücüsü |

Birimler

| Ölçü Birimi | Açıklaması |
|---------------------------|-----------------------------|
| \$ | dolar; ABD Doları |
| °C | derece Santigrad |
| °F | derece Fahrenheit |
| °K | K (Kelvin) |
| A; amp | amper |
| AC; DC | alternatif akım; doğru akım |
| acfm | gerçek ft ³ /dk |
| atm | atmosfer |
| bar | bar |
| barg | bar (gösterge) |
| bhp | fren beygir gücü |
| Btu | İngiliz ısı birimi |
| cfm = ft ³ /dk | fitküp/dakika |
| cm | santimetre |
| ft | fit |
| g/m ³ | gram/metreküp |
| gal | galon |
| GJ | giga Joule |
| h | saat |
| hp | beygir gücü |
| inch | inç |
| kg/m ³ | kilogram/metreküp |
| kJ/kg | kilo Joule/kilogram |
| kJ/m ³ | kilo Joule/metreküp |
| kN | kilo Newton |
| kPa | kilo Pascal |
| kVAR | kilo Volt-Amper Reaktif |
| kVA | kilo Volt-Amper |
| kW | kilowatt |
| kWh | kilowatt-saat |
| l/s | litre/saniye |
| lb | libre, paund |
| m | metre |
| m ³ /dk | metreküp/dakika |
| mA | miliamper |

| Ölçü Birimi | Açıklaması |
|------------------------|----------------------------------|
| mg/m ³ | miligram/metreküp |
| milibar | milibar |
| mm | milimetre |
| MMBTU/h | mega BTU/h (İngiliz ısı birimi) |
| mmHg | milimetre cıva |
| mV | milivolt |
| MW | mega-watt |
| MWh | mega-watt-saat |
| N | Newton |
| Nm ³ /dk | normal metreküp/dakika |
| ppm | milyonda bir parçacık |
| psi | inç kare başına libre |
| psia | inç kare başına libre (mutlak) |
| psig | inç kare başına libre (gösterge) |
| quad (quadrillion BTU) | 1 katrilyon BTU |
| s | saniye |
| t | ton |
| V; volt | volt |
| y | yıl |

Özet

Endüstriyel Buhar Sistemi Optimizasyonu (SSO-*Steam System Optimization*) Kılavuzu, "UNIDO Sanayide Enerji Verimliliği SSO Projesi" kapsamında hazırlanmıştır. Bu Kılavuz, son kullanıcılara ve enerji danışmanlarına buhar sistemlerinin nasıl değerlendirildiğini ve optimize edildiğini öğretmek üzere tasarlanmıştır. Kılavuzun başlıca amacı, düzgün çalışma, kontroller ve sistem bakımı vasıtasıyla, uygun şekilde buhar kullanan proseslerde ve bir endüstriyel buhar sisteminde modern teknolojileri kullanarak enerji ve maliyeti tanımlamak, hesaplamak ve tasarruf sağlamaktır.

Kitaba dönüştürülmüş bu Kılavuz; buhar üretimini, buhar dağıtımını, buhar son kullanım yerlerini, kondens geri kazanımını ve birleşik ısı ve güç (CHP-*combined heat and power*) içeren tipik endüstriyel buhar sistemlerinin çalışmasını kapsamaktadır. Kitapta bu alanların her biri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Benzer şekilde, "sistem yaklaşımı" temelli buhar sisteminin uygulandığı bir tesiste, enerji değerlendirmesi için yapılması gereken kritik parametrelere ve ölçümlere değinilmektedir. Ayrıca, buhar sisteminin optimizasyonunu sağlayacak şekilde, yukarıda belirtilen alanların her birinde performans iyileştirme fırsatları tanımlanmaktadır.

Kitapta standart bir protokol ve nihai raporun tamamlanması için bir şablon kullanarak bir buhar sistemi enerji değerlendirmesinin tamamlanması hakkında bilgi verilmektedir. Genellikle, gerekli olan ve buhar enerjisi sistemi değerlendirmesi sırasında kullanılan, taşınabilir ölçüm cihazları hakkında da bilgi sağlanmaktadır. Son olarak, uzmanın, değerlendirme metodolojisini ve başarılı uygulamaları anlamasına yardımcı olmak için, sanayide yürütülen başarılı projeler üzerinde birkaç vaka incelemesi sunulmaktadır.

Tüm buhar sistemi seviye analizi, fizik ve termodinamik (ısı ve kütle dengesi) temel yasalarına uymalıdır. Çoğu zaman elle ayrıntılı analiz yapmak kolay değildir ve uzmanın bu uygulamaları piyasada mevcut yazılım araçları ile modellemesi gerekir. Yazılım araçlarının kullanımı, buhar sistemi modellemesi ve analizi için, kendi kontrol odalarında "gerçek zamanlı" veri toplama sistemlerine ve gösterge paneline sahip tesislerde, çok yaygın hale gelmektedir. Buhar sistemi analizi için kullanılan herhangi bir metodoloji, "sistem yaklaşımı"ni gözetmelidir ve sağlam mühendislik ilkelerine dayalı olmalıdır. ABD Enerji Bakanlığı Buhar Sistemi En İyi Uygulamaları yazılım araçları paketi de endüstriyel buhar sistemlerinin modellenmesi için kullanılabilir. Bu araçlar, projelerdeki enerji ve maliyet tasarrufunu ölçmekte ve buhar sistemi kullanıcısı için mükemmel bir platform oluşturmaktadır. Bu yazılım araçları kitapta tanıtılmakta ve bunların çevrimiçi olarak nereden elde edileceği hakkında bilgi sağlanmaktadır.

Genel olarak bu kitap, endüstriyel buhar sistemlerinin optimize edilmesinde bir "sistem yaklaşımı" oluşturmak için metodolojiyi anlama kolaylığı sağlamakta ve uzmana, bir endüstriyel buhar sisteminin farklı bölümlerinde ilerlerken, bilgilerini test etmek için örnek problemler sunmaktadır.



Bölüm

1

Giriş

Bu kitap; buhar sistemi operatörleri ve bakım personeli, enerji yöneticileri, tesis ve danışman mühendisler için tasarlanmıştır. Kitapta sistem verimi iyileştirme yöntemleri, bu iyileştirmelerden enerji ve maliyet tasarrufu ölçülmesi için metodolojiler, uygulama ve sürekli iyileştirme programları konuları ele alınmıştır. Kitabın kullanımı ile sağlanması öngörülen kazanımlar şunlardır:

- Buhar sistemlerini ve optimizasyon fırsatlarını doğru biçimde değerlendirmek için sistem yaklaşımı kullanmanın önemini anlaşılması,
- Buhar sistemi değerlendirmesi ve optimizasyonu konusunda son kullanıcıların ve danışman mühendislerin bilgi seviyelerinin artırılması,
- Sanayinin buhar sistemlerini değerlendirme ve buhar sistem operasyonu ve kontrolleri konularındaki kapasitesinin güçlendirilmesi,
- Sistem bakımı, uygun buhar proses kullanımı, birleşik ısı ve güç/kojenerasyon ve modern teknolojilerin uygulanması yoluyla enerji ve maliyet tasarrufu elde etme yöntemlerinin açıklanması,
- Saha değerlendirmeleri yapma, enerji ve maliyet tasarrufu için projeleri belirleme, değerlendirme ve uygulama becerilerinin geliştirilmesi, böylece genel endüstriyel buhar sistemini optimize etmenin adımlarının gösterilmesi,
- Buhar sistemi performans geliştirme fırsatlarını uygulamada yardımcı olabilecek yazılım, standartlar ve rehberlik dâhil olmak üzere bir dizi yararlı araç ve kaynakların tanımlanması.

1.1. Endüstriyel Buhar Kullanıcıları

Buhar kullanımı sanayide çok yaygındır. Sanayiden gelen veriler, sanayide ortalama buhar enerji kullanımının, tesis bünyesinde yapılan enerji kullanımının %35-40'ı kadar olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu sistemleri optimize etmek ve işletme maliyetlerini minimize et-

mek çok önemlidir. Bununla birlikte, iki sistem veya proses hiçbir zaman aynı değildir ve buhar sistemleri arasında genelleme yapmak çok zordur. Endüstriyel buhar sistemleri, basınç seviyelerine, buhar kullanım miktarına ve ısıtma, ayırma, kurutma gibi buhar kullanan proseslere ve enerji üretim kaynağına dayalı olarak üç kategoride sınıflandırılabilir:

• Büyük Ölçekli Buhar Kullanıcıları

- Petrokimyasallar
- Arıtma
- Orman ürünleri
- Yiyecek ve içecek
- Plastikler
- Lastik
- Tekstil
- Eczacı ürünleri
- İmalat montaj

• Orta Ölçekli Buhar Kullanıcıları

- Büyük ticari ısıtma
- Bira fabrikaları
- Çamaşırhaneler
- Unlu mamul fırınları
- Metal imalatı
- Büyük soğutucu (chiller) tesisleri

• Küçük Ölçekli Buhar Kullanıcıları

- Elektronik sektörü
- Boya kabinleri
- Nemlendirme sistemleri

1.2. Buhar Kullanımının Avantajları

Buhar, sabit bir sıcaklık sağlayan ve yüksek ısı transfer katsayıları olan son derece etkili bir ısı kaynağıdır. Buhar, birim kütle başına (gizli ısı biçiminde) aktarılabilecek en yüksek miktarda enerjiye sahiptir ve bu yüzden ısı transferi için son derece maliyet etkin bir araçtır. Buhar, pompa benzeri dış enerji kaynakları tarafından yardım almaksızın sistemin içinde akar ve çok hassas biçimde kontrol edilebilir. Doymuş buhar kullanıldığında, sıcaklık ve buhar basıncı termodinamik bilimi vasıtasıyla ilişkilendirilir ve böylece, son kullanımlara giden buhar basıncının kontrol edilmesi suretiyle, sistem sıcaklığı çok hassas biçimde kontrol edilebilir. Buhar, doğası gereği, proses ısıtma ve aynı zamanda güç üretimi için de kullanılabilen çok esnek bir enerji transfer ortamıdır.

1.3. Sistem Yaklaşımı

Her türlü endüstriyel yardımcı işletme sistemini anlamak ve değerlendirmek için maliyet etkinliğinin anahtarı, "sistem yaklaşımı"ni uygulamaktır. Sistem yaklaşımı için sadece tek bir bi-

leşeni incelemek yerine, kullanıcının tüm buhar sistemini dikkate alması gerekmektedir. Buhar sistem optimizasyonu için genel yaklaşım, mevcut sistem koşulları ve işletim parametrelerinin tespit edilmesi ile başlar ve sistemin arz ve talep olmak üzere her iki tarafta da anlaşılması ile devam eder. Daha sonra, buhar sistemi optimizasyonu için potansiyel alanlar (projeler) tespit edilir, analize tâbi tutulur ve bu projeler, tesisin operasyonel ve finansal kısıtları gözönünde bulundurularak uygulanır. Nihai bir aşama olarak, proses ihtiyaçları değişikçe sistemin optimal konfigürasyonda kalmasını temin etmek üzere, genel sistem performansı sürekli izlenir ve bu performansın yönelimi belirlenir.

Bölüm 2

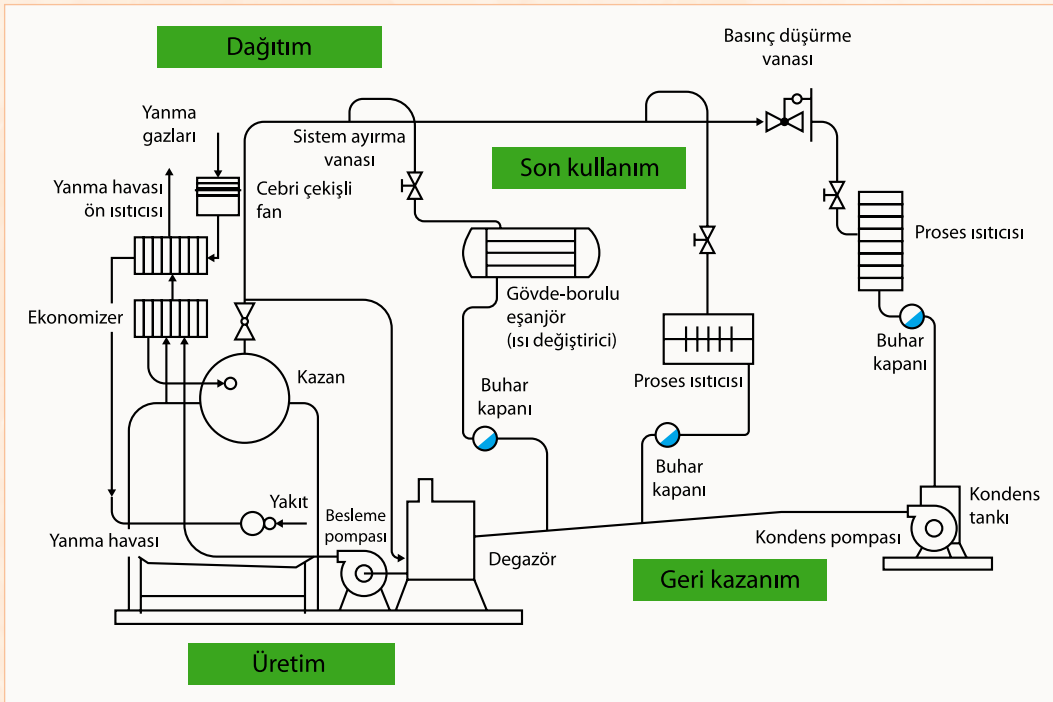
Buhar Sistemleri Temel Bilgiler

2.1. Genel Buhar Sistemleri ve Bileşenleri

Genel buhar sistemlerinin sahip olduğu bileşenlerin üretim, dağıtım, son kullanım ve geri kazanım alanlarına göre sistem içerisinde dağılımı Şekil 2.1'de sunulmuştur.

Şekil 2.1. Genel buhar sistemi

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Her genel buhar sisteminin (endüstriyel, ticari, kurumsal) dört ana alanı mevcuttur:

- Üretim
- Dağıtım
- Son kullanım ve/veya kojenerasyon
- Kondens geri kazanımı

Ayrıntılı bir araştırma sonucunda, belki de çoğunlukla endüstriyel buhar sistemlerinde yukarıdaki dört alanın belirgin bir biçimde ayrılabilirdiği, ama daha küçük sistemlerin ve kurumsal tesislerin büyük bir dağıtım sistemine sahip olabileceği veya olmayabileceği anlaşılabilir. Birleşik ısı ve güç (CHP) ya da kojenerasyon olarak adlandırılan proses, genellikle büyük buhar kullanıcılarının endüstriyel sistemlerinde bulunur. Orta ölçekli ya da küçük buhar kullanıcılarında da kojenerasyon olabilir, ama bu büyük ölçekli tesislerdeki kadar yaygın görülen bir durum değildir. Ayrıca, bu dört alanın her birinin çeşitli bileşenleri vardır. Bir alanda aynı işlevi gerçekleştiren belki birden fazla bileşen olabilir ya da belirli bir sistemde belirli bileşenler olmayabilir. Buna rağmen, ana buhar sistemi ekipmanlarını gösteren genel sistemin basit bir hat şemasını oluşturmak çok önemlidir. Endüstriyel buhar sistemleri değerlendirilir ve optimize edilirken hat şemasının sistem yaklaşımı kullanılarak incelenmesi gerekecektir.

Bir endüstriyel buhar sisteminin (alanlarına göre ayrılmış) ana bileşenleri şunlardır:

o Üretim

- Kazanlar
- Kazan yardımcı elemanları (cebri çekişli, tahrikli çekişli fanlar, kontrollörler, vb.)
- Ekonomizörler
- Hava ön ısıtıcısı
- Su arıtma ekipmanı
- Degazör
- Besleme suyu pompaları
- Yakıt depolama ve taşıma ekipmanı

o Dağıtım

- Buhar boru tesisatı
- Basınç düşürme istasyonları (vanaları)
- Damlama boruları
- Buhar toplayıcıları
- Kızgınlık alıcılar

o Son Kullanım ve/veya Kojenerasyon

- Eşanjörler
- Ayırma sütunları
- Buharlaştırıcılar
- Ocaklar
- Kurutucular
- Taze buhar enjeksiyon işlemi ısıtma ekipmanı
- Buhar türbinleri

o Kondens (Yoğuşma Suyu) Geri Kazanımı

- Buhar kapanları
- Kondens tankları
- Kondens pompaları
- Kondens boru tesisatı

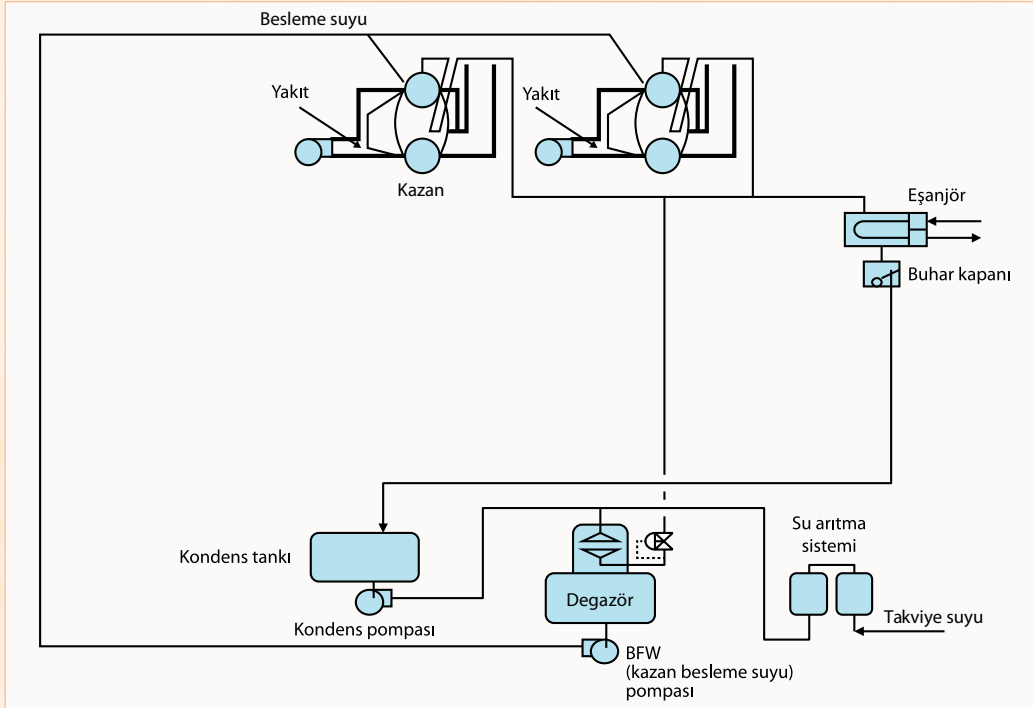
Daha önce belirtildiği gibi, buhar sisteminde yukarıda belirtilen bileşenlerin (ekipmanın) tümü olabilir veya olmayabilir veya bu bileşenlerden birden fazlasının da olabileceği unutulmamalıdır. Bu liste her şeyi içeren sonlu bir liste değildir, ama birçok buhar sisteminde bulunan bileşenler hakkında bilgi sağlamaktadır. Uygun bir buhar sistem optimizasyon analizi için, bir mühendisin buhar sistemindeki bileşenlerin her birinin işlevlerini ve işleyişlerini anlaması gerekir. Buna ek olarak, bu bileşenlerin her birinin buhar sisteminin tamamı ile nasıl etkileşime girdiğini ve buhar sisteminin operasyonları ve güvenilirliği üzerindeki etkisini de anlaması çok önemlidir.

2.2. Buhar Sistemi Hat Şemaları

Buhar sistemi hat şeması, tek bir sayfada bütün buhar sistemini ortaya koyan çok basit bir araçtır. Hat şemasının başlıca amacı, bir fabrika (veya tesis) buhar sisteminin işlemlerini teknik ayrıntılar ve özel işletim koşullarına girmeden en yüksek düzeyde anlamaktır. Bu hat şeması, muhtemelen etki bileşenleri de olacak şekilde tüm ana bileşenleri listelemelidir. Şekil 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5, karmaşıklığı artan sırayla temel buhar sistemi hat şeması örneklerini göstermektedir.

Şekil 2.2. Tek basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)

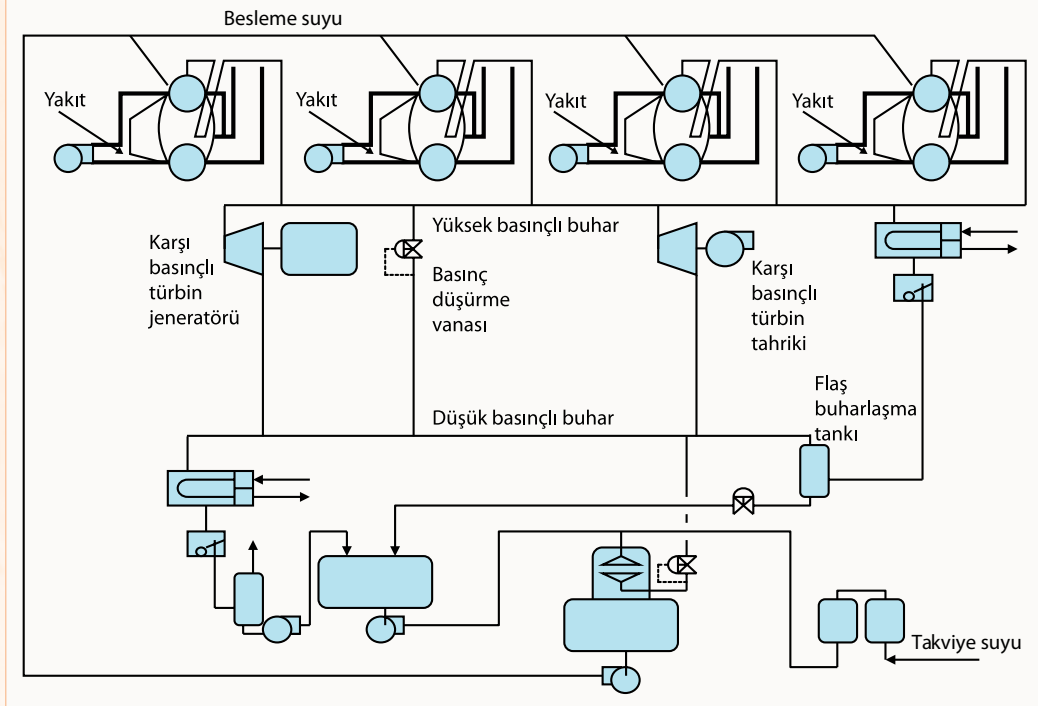


Buhar sistemlerinin en basitinde (Şekil 2.2'de gösterildiği gibi) bile, ayrıntılı bir buhar sistemi optimizasyonu yapmak isteyen kişinin ihtiyaç duyacağı tüm yüksek düzeyde bilgiler yer almalıdır. Bütün bileşenler burada işaretlenir ve özel bileşen sembolleri, hiçbir uluslararası standarda uymamasına rağmen, burada yer alır; onların asıl amacı şematik olarak tüm buhar sistemindeki yerlerini ve işleyişlerini göstermektir. "Yeni" şeklinde bir bileşen tanıtılmadığı sürece, takip eden şekiller 2.3, 2.4 ve 2.5'te de bileşenler için aynı semboller kullanılacak ve bunlar ayrı ayrı tanımlanmayacaktır. Tekrar vurgulamak gerekir ki, sanayideki her buhar sistemi benzersizdir. Fakat, genel bileşenler ve onların çalışmaları çok benzerdir. Bu nedenle, her kullanıcı, bu-

har sistem optimizasyon değerlendirmesine gerek duyan her buhar sistemi için bir hat şeması oluşturmak zorundadır.

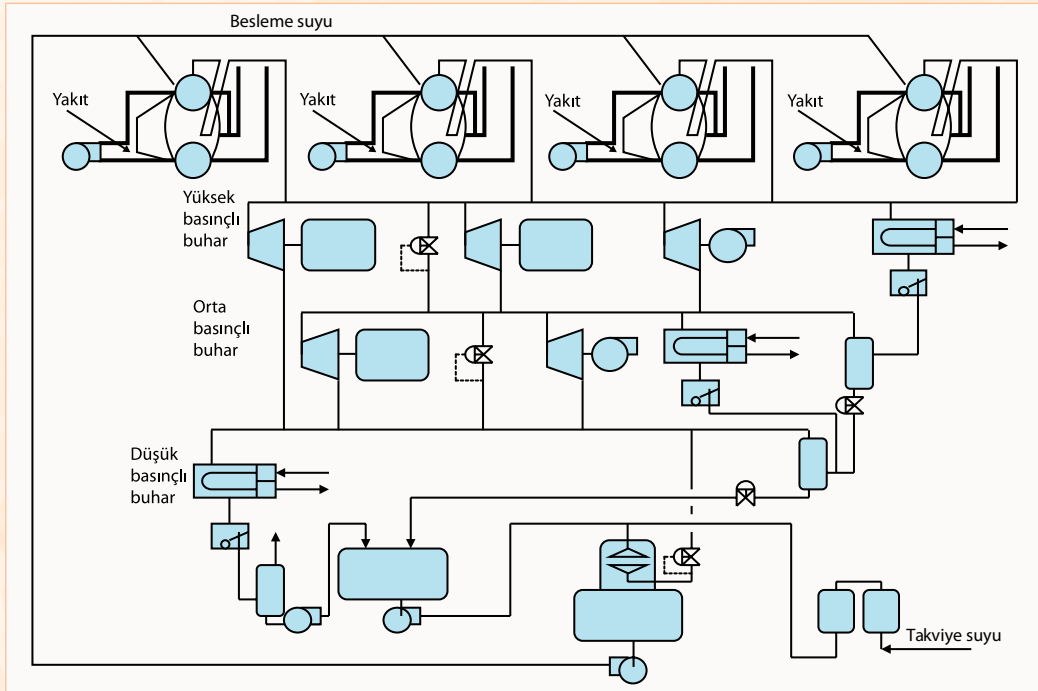
Şekil 2.3. Çift basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



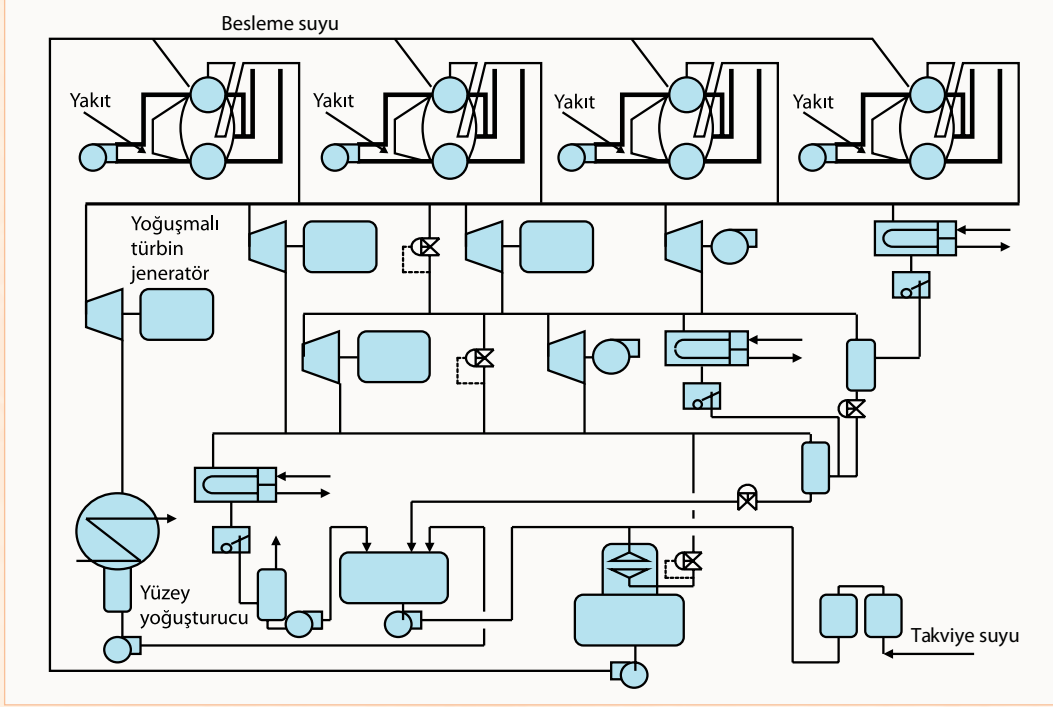
Şekil 2.4. Üç basınç kollektörlü buhar sistemi hat şeması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Şekil 2.5. Üç basınç kollektörlü, yoğuşmalı türbinli buhar sistemi hat şeması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



2.3. Buhar Termodinamiği

Endüstriyel buhar sistemindeki su için üç temel termodinamik hal vardır: aşırı soğutulmuş, doymuş ve kızgın. Her biri aşağıdaki gibi tanımlanır:

Aşırı soğutulmuş: Su, sıvı haldedir ve sıcaklığı (mevcut basınçta) doyma sıcaklığından daha düşüktür. Aşırı soğutulmuş suyun enerji içeriği, kendi sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

Doymuş: Aşırı soğutulmuş su ısıtıldığında kendi doyma sıcaklığına ulaşır. Bu hal, doymuş sıvı (su) olarak adlandırılır. Daha fazla ısı eklenmesi, sıcaklığında bir değişiklik olmadan sıvı halden buhar haline geçme şeklinde bir hal değişikliğine yol açar. Sıvının tamamı buhar olana dek bu faz değişimi devam eder. Bu hale artık doymuş buhar denir. Doymuş halin enerji içeriği, sıcaklığın (ya da basıncın) ve kalitenin (2-fazlı karışım içindeki buhar miktarı) bir fonksiyonudur.

Kızgın: Doymuş buhara ısı girişinin artarak devam etmesi, buhar sıcaklığında doyma noktasından öteye bir artışa yol açar. Bu, buharın kızgın halidir. Kızgın buharın enerji içeriği, sıcaklıkla ve basınçla doğru orantılıdır.

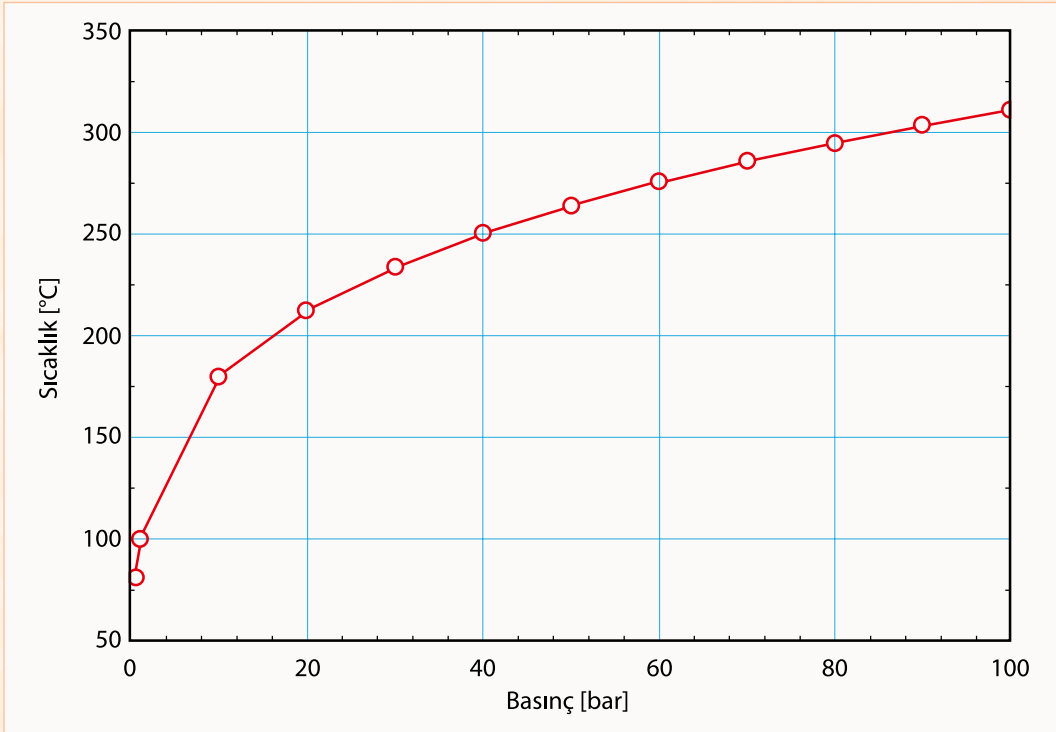
Basınç ve sıcaklık tarafından belirlenen buharın haline bağlı olarak, aşağıdaki termodinamik özellikler Buhar Tablolarından elde edilebilir.

- o Basınç (bar, atmosfer, kPa, MPa)
- o Sıcaklık (°C)
 - Mutlak Sıcaklık (K)
- o Kalite
- o Yoğunluk (kg/m³)
- o Hacim (m³/kg)

- o Entalpi (kJ, kcal)
 - Özgül Entalpi – (kJ/kg, kcal/kg)
- o Entropi (kJ/K, kcal/K)
 - Özgül Entropi (kJ/kg-K, kcal/kg-K)

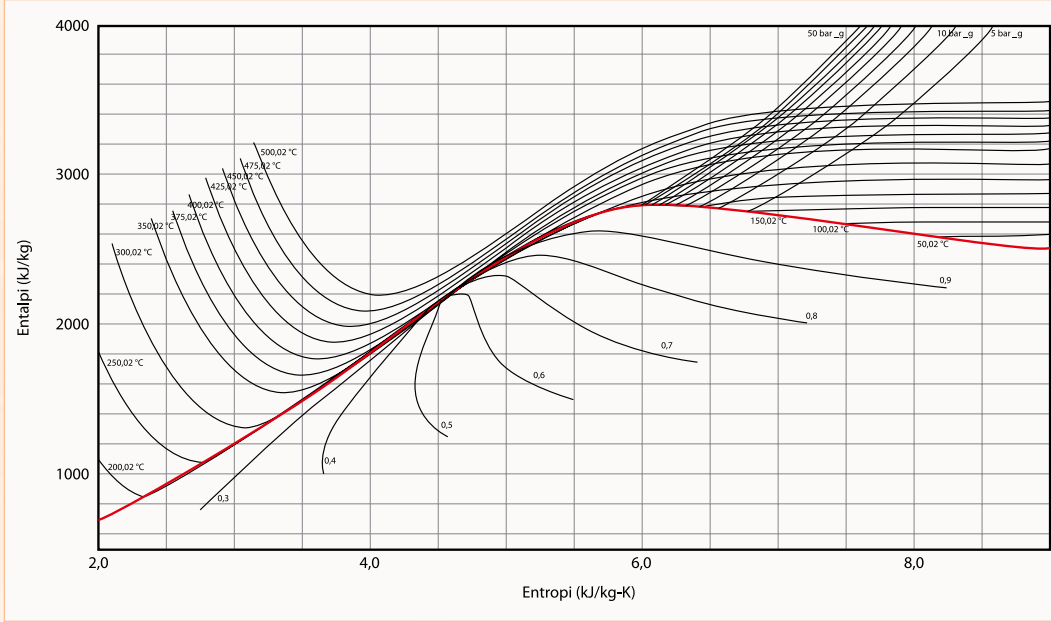
Mollier Diyagramı, P-h Diyagramı, kılavuzlar ve standartlardaki tablolanmış veriler, Hal Denklemi vb. dâhil olmak üzere birçok farklı biçimlerde Buhar Tabloları mevcuttur. Ek B, ABD Ulusal Standartlar ve Test Enstitüsü (NIST) tarafından geliştirilen REFPROP yazılımı Buhar Tablolarına başvuru için kolaylık sağlamaktadır. Farklı kaynaklardan alınan Buhar Tablolarındaki entalpi ve entropi değerleri değişebilir, çünkü referans noktası (Entalpi = 0) aynı olmayabilir, bu duruma dikkat edilmesi çok önemlidir. Bu nedenle, buhar sistem analizi boyunca “aynı” kaynaktan alınan buhar tablolarının kullanılması çok önemlidir.

Şekil 2.6. Buhar için doyma sıcaklığı-basınç ilişkisi



Şekil 2.6, buhar için doyma sıcaklığı ile basınç ilişkisini göstermektedir. Anlaşılacağı üzere, doyma sıcaklığı ve basıncı arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Şekil 2.7’de sunulan ve Mollier diyagramı olarak bilinen diyagramda, grafiksel biçimde buhar özellikleri sunulmaktadır. Bu grafik; basınç, sıcaklık, entalpi, entropi, kalite ve özgül hacim arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kalın “kırmızı” çizgi buhar doyma eğrisini temsil etmektedir. Doyma eğrisinin sol tarafı “aşırı soğutulmuş sıvı (su)” bölgesidir ve grafiğin sağ tarafındaki doyma eğrisinin yukarısı “kızgın buhar (buhar)” bölgesidir. Doyma eğrisinin altındaki çizgiler, iki fazlı kaliteyi göstermektedir ve “doymuş” bölge de burada yer almaktadır.

Şekil 2.7. Mollier diyagramı (buhar)



2.4. Temel Kanunlar ve Prensipler

Kütlenin Korunumu

Kütlenin korunumu, bir kontrol hacmi içerisinde bulunan bir kütlenin ne yoktan var edilebildiğini ne de yok edilebildiğini, sadece durum değiştirebildiğini ifade etmektedir.

Enerjinin Korunumu (Termodinamiğin 1. Yasası)

Enerjinin korunumu, bir kontrol hacmi içerisinde, enerjinin ne yoktan var edilebildiğini ne de yok edilebildiğini, sadece bir formdan diğerine dönüştürülebildiğini ifade etmektedir.

Sürekli Akışlı Sürekli Açık (SSSF) Prensipleri

Bu prensip, bir kontrol hacminde birim zamandaki kütle ve enerji değişim miktarlarının her birinin sıfıra eşit olduğu anlamına gelmektedir. Bu, analiz edilen kontrol hacminde hiçbir kütle veya enerji depolamasının olmaması demektir. Ayrıca, kararlı durum, özgül işletim parametrelerinin (sıcaklık, basınç, debi), analizin yapıldığı zaman sürecinde değişmediğini ifade eder.

“Kütle ve Enerji Korunumu” Yasaları ve Sürekli Akışlı Sürekli Açık (SSSF) prensibi, her endüstriyel buhar sistem optimizasyon çalışmasının temel taşıdır. Buhar sistem optimizasyonu yönetilirken, genellikle, dinamik analiz, başlatma, durdurma ve bozulma durumları ihmal edilir. Enerji uzmanlarının ve son kullanıcıların, sistemin SSSF şartlarını sağladığını doğrulamak için, buhar sistem dinamiklerini çok iyi anlamış olması gerekir.



Bölüm

3

Endüstriyel Buhar Sistemi Araçları

Mevcut operasyonları ve optimize edilecek endüstriyel buhar sisteminin yönetimini anlamak, buhar sistemi optimizasyonu (SSO) sürecinin ilk adımınıdır. İkinci olarak, SSO'nun nihai hedef(ler)inin gerçekleştirilmesi, amaç ve hedeflerinin tanımlanması, bir tesiste SSO uygulanmasında kilit rol oynayacaktır. Çoğu zaman SSO amaçları aşağıdaki başlıkları içerir:

- Buhar kullanımının minimize edilmesi,
- Sistem genelinde enerji kayıplarının azaltılması,
- Sera gazı emisyonlarının azaltılması,
- Buhar sistemi işletme maliyetlerinin azaltılması.

Herhangi bir ayrıntılı analize başlamadan önce, buhar sistemini sistematik biçimde anlamaya ihtiyaç vardır. Bir sonraki adım, araştırılmasına ihtiyaç duyulan potansiyel alanları belirlemek ve daha sonra -sistem seviyesinde ekonomik ve enerjiyle ilgili etkileri sayısallaştırmak üzere- bu alanlarda özenli çalışmalar yürütmektir.

Bu faaliyet çeşitli şekillerde yapılabilir:

- Yüz yüze soru ve cevap oturumu,
- Telefon görüşmeleri,
- Tesis personeli tarafından doldurulan anketler.

Buhar Sistemi Optimizasyon hedeflerinin gerçekleştirilmesine yönelik ABD Enerji Bakanlığı tarafından Buhar Sistem Araçları Takımı geliştirilmiştir. Bu bölümde, yazılım araçları hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

3.1. ABD EB Buhar Sistem Araçları Takımı (SSTS)

Buhar Sistem Araçları Takımı (SSTS), endüstriyel buhar sistemlerindeki tasarruf fırsatlarını ve enerji kullanımını analiz etmek için kullanılan üç farklı online yazılım aracından oluşmakta-

dır: Buhar Sistemi Kapsam Belirleme Aracı (SSST), Buhar Sistemi Değerlendirme Aracı (SSAT) ve 3E Plus. Kapsam Belirleme Aracı (SSST), buhar sistemi enerji yöneticilerinin ve işletme personellerinin, başlangıçta, buhar sistemlerine ait kendi-değerlendirmelerini gerçekleştirmelerine yardım etmek için tasarlanmış bir skor-kartıdır. SSAT, temel potansiyel buhar gelişim fırsatlarının sağlayacağı emisyon, maliyet ve enerji tasarruflarının mertebesini sayısal olarak belirlemek ve modellemek için kullanılmaktadır. 3E Plus ise, kullanıcı tarafından girilen işletim şartları için endüstriyel yalıtımların en ekonomik kalınlıklarını hesaplamaktadır. SSST için en güncel link (Mart 2017) aşağıda sunulmuştur: <http://www.iipnetwork.org/steam-system-scoping-tool-ssst>

SSST, buhar sistemi yönetim alanlarının farkındalığını artırmak için tasarlanmış yazılım tabanlı bir (MS-Excel) ankettir. SSST, özgün buhar sistemi odak alanlarına ayrılmıştır ve kullanıcıya, yönetim yoğunluğunun göstergesi olan bir skor sunmaktadır. SSST, endüstriyel buhar sistemindeki potansiyel gelişim fırsat alanlarını tanımlamak için kullanılmaktadır. Söz konusu tanımlama, incelenen buhar sistemi ile endüstriyel buhar sistemindeki modern en iyi uygulamaların karşılaştırılması yoluyla yapılır. Fırsat boşlukları tespit edilir ve bunlar buhar sisteminin optimize edilmesinde ana hedefleri oluşturur. SSST'nin amacı, enerji tasarruf imkânlarını ölçmek değil, onları tanımlamak için yön gösterici olmaktır.

SSST; tesis yöneticileri, yardımcı hizmetler mühendisleri ve yöneticiler, tesis proses mühendisleri ve buhar sistemi operasyonlarının optimizasyonu üzerinde çalışan enerji uzmanları tarafından kullanılabilir. Ankette toplam 26 nitel soru vardır. Bu sorular aşağıdaki bölümlere ayrılmıştır:

- Sistem profili oluşturma
- Genel sistem işletme uygulamaları
- Kazan tesisi işletme uygulamaları
- Dağıtım, son kullanım ve geri kazanım işletme uygulamaları

SSST'deki anket tamamlanınca, "Sonuçlar" sayfası kullanıcıya yönetim yoğunluğunu gösteren bir skor sunmakta ve potansiyel buhar sistem optimizasyon fırsatlarını tanımlamak için bir kılavuz oluşturmaktadır. Tablo 3.1'de ortalama bir endüstriyel buhar sistemi için SSST sonuçlarının özeti verilmektedir.

Tablo 3.1. Ortalama endüstriyel buhar sistemi için SSST sonuç özeti

| Sonuçların Özeti Kapsam Belirleme Aracı Alanları | Olası Skor | Tipik Skor |
|---|---------------|---------------|
| Buhar Sistemi Profil Oluşturma | 90 | %63 |
| Buhar Sistemi İşletim Uygulamaları | 140 | %69 |
| Kazan Dairesi İşletim Uygulamaları | 80 | %63 |
| Dağıtım, Son Kullanım, Geri Kazanım İşl. Uygulamaları | 30 | %58 |
| Toplam Kapsam Belirleme Aracı Skoru | 340 | 222,0 |
| Toplam Kapsam Belirleme Aracı Skoru | %100 | %65 |

Buhar Sistemi Değerlendirme Aracı (SSAT), buhar uzmanlarının, gerçek buhar sistemlerinin yaklaşık modellerini geliştirmesine yardım eden bir yazılımdır. Bu modeller aracılığıyla, temel potansiyel buhar gelişim fırsatlarının emisyon, maliyet ve enerji tasarruflarının sayısal değerinin belirlenmesinde SSAT kullanılabilir. SSAT özgün buhar sistemlerinin temel kazanımlarını içermektedir. SSAT yazılımına aşağıdaki link kullanılarak ulaşılabilir:

<http://www.iipnetwork.org/steam-system-assessment-tool-ssat>

SSAT revize edilmiş ve Buhar Sistem Modelleme Aracı (SSMT) ismi ile aşağıdaki web sayfasında, PHP kullanılarak geliştirilen web-tabanlı uygulama şeklinde kullanıcıya sunulmuştur.

https://www4.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/amo_steam_tool/

Buhar Sistem Modelleme Aracı (SSMT), buhar sistem operatörlerinin, sistemlerini daha iyi anlamalarını ve potansiyel gelişimleri değerlendirmelerine imkân sağlayan araçlar sunmalarını sağlamak için tasarlanmıştır.

SSMT yazılımının genel özellikleri şunlardır:

1. Sisteme Özgü Buhar Özellik Tabloları

Kullanıcılar, kendi buhar sistemlerinin özel işletim şartlarına uygun özel buhar tabloları üretebilir.

2. Ekipman Hesaplayıcılar

Temel buhar sistem ekipmanları, tüm model oluşturulmaksızın bağımsız olarak modellenip hesaplanabilir.

3. Buhar Sistem Modelleyici

Kollektör buhar sistem modeli, kondens geri dönüş şartları, ısı kayıpları, flaş tankları, buhar türbinleri ve PRV'lerle birlikte üretilebilir. Kullanıcılar, modelde yapılan önemli miktardaki düzeltmelerin etkisini değerlendirebilirler.

4. Web-Tabanlı Yazılım

SSMT kullanımı için sadece bir internet bağlantısı ve herhangi bir tarayıcının güncel versiyonu yeterlidir. Kurulumla ilgili herhangi bir şart aranmamaktadır.

5. Kullanıcıya Özgü Birimler

Kullanıcılar, herhangi bir zamanda, farklı birimler arasında geçiş ve seçim yapabilirler.

6. Doğrulanabilen Hesaplamalar

Hesap ayrıntıları, kullanıcıların sonuçları doğrulamasına müsaade edecek bir yazılım aracı vasıtasıyla temin edilmiştir.

SSMT Ekipman Hesaplama Araçları ise şunlardan oluşmaktadır:

1. Kazan Hesaplama Aracı

Genel kazan işletim karakteristiklerini kullanarak, verilen bir debide, tanımlı özelliklere sahip buhar üretmek için gereken yakıt enerji miktarını belirler.

2. Isı Kaybı Hesaplama Aracı

Verilen giriş özgül buhar koşullarında ve belli bir ısı kaybı yüzdesine dayalı olarak kollektör veya buhar borusu için ısı olarak enerji kaybını ve çıkış buhar özelliklerini belirler.

3. Flaş Tankı Hesaplama Aracı

Giriş şartlarına bağlı olarak bir flaş tankından gaz ve/veya sıvı çıkışı ile sonuçlanan buhar özelliklerini ve kütleli debiyi belirler.

4. Basınç Düşürme Vanası (PRV) Kızgınlık Giderme Hesaplama Aracı

Seçenek olarak kızgınlık gidermesi olan bir basınç düşümünden sonra buharın özelliklerini belirler.

5. Kollektör Hesaplama Aracı

Birden fazla buhar girişiyle oluşan karışım buhar özelliklerini belirler.

6. Degazör Hesaplama Aracı

Degazör (hava-giderici), kazana gönderilmeden önce besleme suyundan çözünmüş gazları ayırmak için kullanılan bir tanktır. Gazların suda çözünürlüğü, su sıcaklığı arttıkça azalır. Bu nedenle, degazörler, olası bir gazı gidermek için, besleme suyunu kaynama sıcaklığı civarında tutarlar. Gaz tahliye prosesinde, az miktarda buhar salınır. Buhar, genellikle, degazör için ısı kaynağı olarak kullanılır.

7. Buhar Türbini Hesaplama Aracı

Hem çıkış buhar şartları hem de izentropik verimi çözerek temel buhar türbin modelini kurar. Çıkış buhar şartları, verilen buhar şartları ve izentropik verimden hesaplanır. İzentropik verim, verilen giriş ve çıkış buhar şartlarından hesaplanır. Kullanıcıların ya buhar debisini ya da üretilen gücü girme seçenekleri vardır. Buna bağlı olarak hesaplama aracı diğer seçeneğin değerini belirler. Buhar Türbini Hesaplama Aracı, aşağıdaki sonuçları verir:

- Giriş buhar özellikleri
- Çıkış buhar özellikleri
- İzentropik verim
- Enerji çıkışı (çekilen enerji)
- Güç çıkışı (üretilen güç)

Buhar Sistemi Modelleme Aracı (SSMT), bir (1-3) kollektörlü buhar sistem modeli, kondens geri dönüş şartları, ısı kayıpları, flaş tankları, buhar türbinleri ve basınç düşürme vanaları (PRV) ile birlikte kurulabilir. Kullanıcılar, modelin kurulumunu müteakip, modelle ilgili yapılan önemli miktarda düzeltmenin etkisini değerlendirebilir. SSMT, sistemin mevcut işletim şartlarını daha iyi anlamak için kullanılabilen bir temel buhar sistem modelini oluşturmaya ve çeşitli düzenlemelerin etkilerini değerlendirmeye muktedirdir. Buhar modelleri aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Kazan
- Degazör
- 1-3 Buhar Basınç Kollektörleri
- Karşı Basıncılı Buhar Türbinleri
- Yoğuşmalı Buhar Türbini
- Flaş Tankları
- Basınç Düşürme Vanaları (PRV)
- Blöf Eşanjörleri



Bölüm 4

Endüstriyel Buhar Sisteminin Modellenmesi

“Kapsam Belirleme” bölümünde potansiyel iyileştirme fırsatları iyice anlaşıldıktan sonra, genel buhar sistemi optimizasyonunda sonraki adım; genel buhar sistemi dengesini doğru olarak yansıtan, tüm etki bileşenlerini modelleyen ve gerçekçi olarak buhar sistem optimizasyon projelerinin ekonomik faydalarını ve gerçek enerjiyi modelleyebilen bir “Buhar Sistemi Modeli” geliştirmektir.

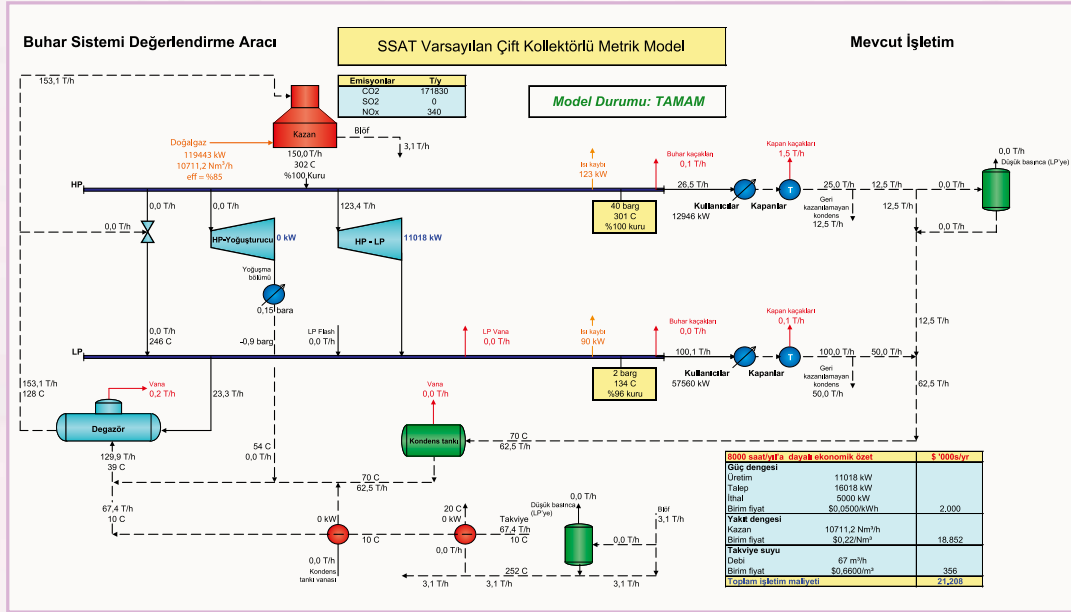
Tesis için çok doğru ve sağlam bir endüstriyel buhar sistemi modeli geliştirebilen çeşitli yüksek doğruluk derecesinde ticari yazılım araçları vardır. Bu modeller özelleştirilebilir ve belki yüksek seviyede çaba için gerekli olan son derece ayrıntılı performansı ve işletme bilgisini sağlayabilir. Ancak, bunlar aynı zamanda çok pahalı olabilir ve endüstriyel tesisin buhar sistemini yansıtan buhar sistemi modelleri oluşturmak için mutlaka eğitim gerektirir. Buna ek olarak, buhar sistemlerinin modellenmesi için kullanılacak birçok tescilli yazılım, uygulama, motor internette mevcuttur.

Bu bölümün amacı, belirli bir buhar sistemi modelleme aracını veya yazılımını vurgulamak değildir; ancak buhar sistem optimizasyon faaliyetinin üstlenilmesi için gerekli olacak tüm özellikler ve ihtiyaçlardan kullanıcıları haberdar etmektir. Buhar sisteminin modellenmesinde ana hedef, kullanıcıya enerji ve buhar sistem optimizasyon projelerinin ekonomik etkilerini anlama becerisi sağlamaktır. Herhangi bir modelleme veya yazılım aracının aşağıdaki maddelere göre yapılması büyük önem taşımaktadır:

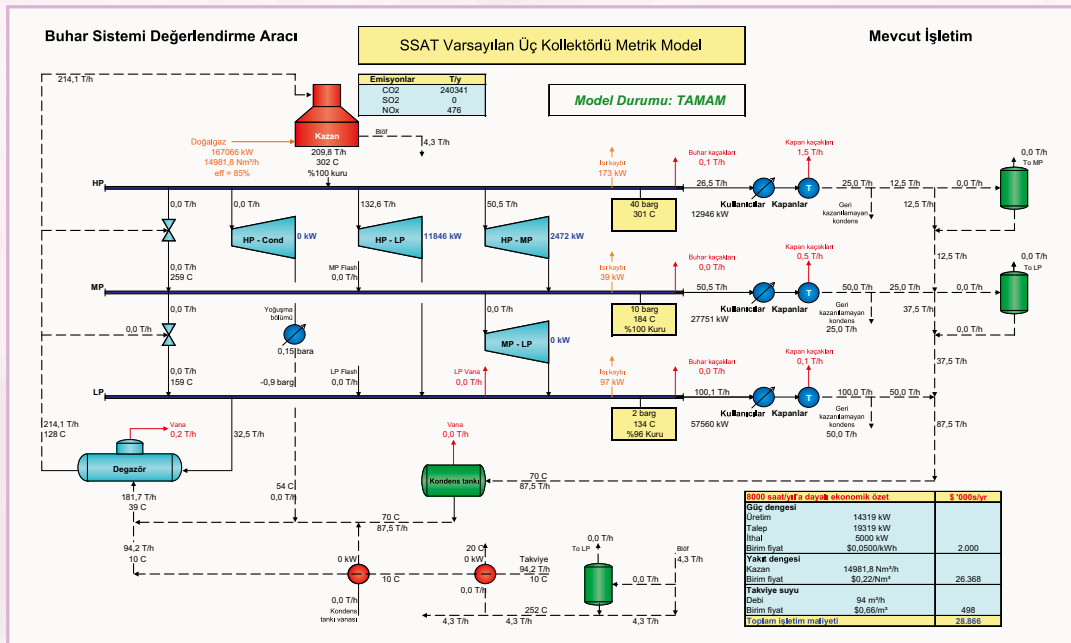
- Kütle ve enerjinin korunumu temel kanunları
- Ekonomi dengesi
- Kollektörlerdeki buhar dengesi
- Birim maliyet ve bileşen (ekipman) modelleme analizi
- Sistem yaklaşımı

Bu endüstriyel buhar sistemi modelleme yazılımlarından biri de ABD EB Buhar Sistem Değerlendirme Aracı'dır (SSAT). Söz konusu program MS-Excel tabanlıdır ve yaygın buhar sistem optimizasyon projelerini modelleme ve farklı seçenekleri analiz etme yeteneğine sahiptir.

Şekil 4.2. SSAT çift kollektörlü buhar sistemi modeli



Şekil 4.3. SSAT üç kollektörlü buhar sistemi modeli



4.2. SSAT'deki Buhar Sistem Optimizasyon Projeleri

Üç kollektörlü SSAT buhar sistemi modeli, tek kollektörlü ve çift kollektörlü modellerin üst kümesidir ve SSAT'deki mevcut en kapsamlı buhar sistemi modelidir. "Girdi" sayfası, değeri-

rilen sistemi doğru olarak modellemek için, önemli sahanın ayrıntılı bilgilerini gerektirir. Gerekli tüm girdi bilgileri her zaman önceden varsayılanlarla doldurulur ve bu nedenle, kullanıcı, anında buhar sistemi modellemesini çalıştırabilir. Daha sonra, daha fazla saha bilgisi kullanılabilir hale geldiğinde, bu bilgiler gerçek buhar sistemini temsil edecek buhar sistemi modelini yapmak için "Girdi" sayfasına eklenebilir.

"Projelerin Girdisi" sayfasında, mevcut buhar sistemini modifiye etmek için AÇIK duruma getirilebilecek 18 adet buhar sistemi optimizasyon projesi vardır. Bu seçenek, kullanıcının optimize edilen buhar sistemi üzerinde "peki ya şöyle olsaydı?" sorusundan hareketle duyarlılık analizi yapmasına imkân sağlamaktadır. Buna ek olarak, SSAT, buhar sistemini optimize etmek için yapılabilecek birden fazla projenin toplam analizini de mümkün kılmaktadır. Bir başka deyişle, SSAT modelleme sistemiyle, buhar sistemindeki çoklu fırsatların birleşik tasarruflarının değerlendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Örneğin, sistemde "iyileştirilmiş kazan verimi" ve "iyileştirilmiş kondens geri kazanımı" fırsatlarından kaynaklanan maliyet tasarruflarını beraberce belirlemek mümkündür.

SSAT modeli, gerçek bir "sistem yaklaşımı" sunmakta olup herhangi bir buhar sisteminde değerlendirilebilecek aşağıdaki 18 adet buhar sistemi optimizasyon projesine sahiptir:

- Buhar talep tasarrufu,
- Alternatif bir yakıt kullanılması (yakıt değişimi),
- Kazan veriminin değiştirilmesi,
- Kazan blöf hızının değiştirilmesi,
- Düşük basınçlı buhar üretmek için blöf flaş buharlaşma tankı uygulaması,
- Buhar üretim koşullarının değiştirilmesi,
- Yüksekten düşük basınca geçişte karşı basınçlı buhar türbini kurulması ve/veya modifiye edilmesi,
- Yüksekten orta basınca geçişte karşı basınçlı buhar türbini kurulması ve/veya modifiye edilmesi,
- Ortadan düşük basınca geçişte karşı basınçlı buhar türbini kurulması ve/veya modifiye edilmesi,
- Yoğuşmalı buhar türbini kurulması ve/veya modifiye edilmesi,
- Kondens tankı ağzında takviye suyu ısı geri kazanım değiştiricisi kurulması,
- Kazan blöf sırasında takviye suyu ısı geri kazanım değiştiricisi kurulması,
- Kondens geri kazanımının geliştirilmesi,
- Orta basınçlı buhar oluşturmak için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması,
- Düşük basınçlı buhar oluşturmak için orta basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması,
- Buhar kapanı yönetim programının uygulanması,
- Buhar kaçaqları yönetim programının uygulanması,
- Buhar ve kondens hatlarında ve ekipmanında yalıtımın geliştirilmesi.

Şekil 4.4'te buhar sistem optimizasyonunun ekonomik ve enerji üzerine etkilerini tablo haline getirilmiş biçimde sunan "Sonuçlar" sayfasının anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.

Şekil 4.4. SSAT üç kollektörlü buhar sistemi modeli “sonuçlar” sayfası

| Buhar Sistemi Değerlendirme Aracı | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Üç Başlıklı Model | | | |
| Sonuç Özeti | | | |
| SSAT Varsayılan Üç Kollektörlü Model | | | |
| Model Durumu: TAMAM | | | |
| Maliyet Özeti (\$ '000s/yr) | Mevcut İşletim | Projelerden Sonra | Azalma |
| Güç Maliyeti | 2,000 | 2,000 | 0 0,0% |
| Yakıt Maliyeti | 24,178 | 24,178 | 0 0,0% |
| Takviye Su Maliyeti | 453 | 453 | 0 0,0% |
| Toplam Maliyet (1000\$/yıl olarak) | 26,631 | 26,631 | 0 0,0% |
| Saha Emisyonları | Mevcut İşletim | Projelerden Sonra | Azalma |
| CO ₂ Emisyonları | 486135 klb/yr | 486135 klb/yr | 0 klb/yr 0,0% |
| SO _x Emisyonları | 0 klb/yr | 0 klb/yr | 0 klb/yr N/A |
| NO _x Emisyonları | 962 klb/yr | 962 klb/yr | 0 klb/yr 0,0% |
| Güç İstasyonu Emisyonları | Mevcut İşletim | Projelerden Sonra | Azalma |
| CO ₂ Emisyonları | 0 klb/yr | 0 klb/yr | 0 klb/yr - |
| SO _x Emisyonları | 0 klb/yr | 0 klb/yr | 0 klb/yr - |
| NO _x Emisyonları | 0 klb/yr | 0 klb/yr | 0 klb/yr - |
| Not: Sahada dışarıdan güç istasyonundan alınan güçteki değişimin emisyonlara etkisini hesaplar. Toplam azalma değerleri, saha + güç istasyonu içindir. | | | |
| Yardımcı İşletmeler Dengesi | Mevcut İşletim | Projelerden Sonra | Azalma |
| Güç Üretimi | 13883 kW | 13883 kW | - - |
| Güç İthalı | 5000 kW | 5000 kW | 0 kW 0,0% |
| Toplam Saha Elektrik Talebi | 18883 kW | 18883 kW | - - |
| Kazan Görevi | 523,0 MMBtu/h | 523,0 MMBtu/h | 0,0 MMBtu/h 0,0% |
| Yakıt Tipi | Doğal Gaz | Doğal Gaz | - - |
| Yakıt Tüketimi | 522874,9 s ft ³ /h | 522874,9 s ft ³ /h | 0 s ft ³ /h 0,0% |
| Kazan Buhar Debisi | 416,5 klb/h | 416,5 klb/h | 0,0 klb/h 0,0% |
| Yakıt Maliyeti (\$/MMBtu) | 5,78 | 5,78 | - - |
| Güç Maliyeti (\$/MMBtu) | 14,65 | 14,65 | - - |
| Takviye Su Debisi | 22660 gal/h | 22660 gal/h | 0 gal/h 0,0% |
| Türbin Performansı | Mevcut İşletim | Projelerden Sonra | Marjinal Buhar Maliyeti |
| HP/LP Buhar Debisi | 44 kWh/klb | 44 kWh/klb | (Mevcut işleme bağlı olarak) |
| HP/MP Buhar Debisi | 23 kWh/klb | 23 kWh/klb | HP (\$/klb) 8,28 |
| MP/LP Buhar Debisi | Kullanımda değil | Kullanımda değil | MP (\$/klb) 7,16 |
| HP/Yoğuşan Buhar Debisi | Kullanımda değil | Kullanımda değil | LP (\$/klb) 6,06 |



Bölüm

5

Buhar Sistemi Optimizasyon Fırsatları

Buhar üretim alanı, herhangi bir buhar sistem optimizasyon çalışmasında en fazla dikkat edilen yerdir. Bu durum, üretim alanı yakıt enerjisinin buhar üretmek için sağlandığı yer olduğu için normaldir. Yakıt, genellikle, bir maliyetle satın alınır ve yanma işleminde yakıt enerjisinin belirli bir miktarı salınır, daha sonra bu enerji buhar üretmek için kazan tarafından tutulur.

5.1. Yakıt Özellikleri

Endüstriyel tesislerde buhar üretmek için kullanılan çeşitli yakıtlar vardır. Yaygın olarak kullanılan yakıtların bazıları şunlardır:

- Katı yakıtlar: Kömür, odun, biyokütle, lastikten türetilmiş yakıt, vb.
- Sıvı yakıtlar: Ağır yağ yakıt (fuel-oil) (HFO), hafif yağ yakıt (LFO), parafin, çöp yakma için atık sıvılar, vb.
- Gaz yakıtlar: Doğal gaz, metan gazı, rafineri çıkış gazı, vb.

Yalnız bir kazan tasarımı, kullanılan yakıtla bağlıdır. Sanayide, çift yakıtla yakılan kazanların halihazırda kullanıldığı, yakıt esnekliğine izin veren ve herhangi bir yakıt besleme kesintisi durumunda buhar üretimi güvenilirliğini sağlayan birçok örnek mevcuttur.

Her yakıtın, kütle ya da hacim olarak yakıtın enerji içeriğini tanımlayan bir "ısı değeri" vardır. Çoğu katı ve sıvı yakıtın kütle bazlı olarak (GJ/ton, kJ/kg ya da kcal/kg) tanımlanmış bir ısı değeri mevcuttur. Çoğu gaz yakıtın ısı değeri ise hacimsel (kJ/m³ ya da kcal/m³) bazda tanımlanmıştır. Eğer yakıt yoğunluğu biliniyorsa kütle-bazlı ve hacimsel-bazlı ısı değerleri arasında dönüşüm yapılabilir.

Üst Isıl Değer (HHV)

Bu terim, "brüt ısı değer" olarak da bilinir. Yanma işlemi sırasında oluşan su (H₂O) başlangıçta buhar fazındadır, ancak ısıtma değeri testi sırasında yoğuşur. Yoğuşma ile her kg su yaklaşık 2.325 kJ enerji açığa çıkarır ve açığa çıkan enerji üst ısı değer olarak ölçülür. Daha teknik bir anlatımla HHV, baca gazı akışı içindeki su buharının kendi doğal haline (sıvı haldeki su) yoğuşarak geri dönmelerinden sonra elde edilen ve yakıt tarafından sağlanan toplam enerjidir. Bu nedenle, HHV, su buharı sıvı duruma yoğuşarak dönüşürken geri kazanılan suyun gizli ısısını da içerir.

Alt Isıl Değer (LHV)

Bu terim, "net ısı değer" olarak da bilinir. LHV, baca gazı akışındaki su buharı yoğuşmadan (yoğuşma sonucu açığa çıkan gizli enerji olmadan) elde edilen ve yakıt tarafından sağlanan (yanma prosesinden serbest kalan) toplam enerjidir.

Alt ısı değer de zaman zaman kullanılan bir metriktir. Çoğu gaz türbin imalatçısı, doğal gaz türbini performansını alt ısı değer'le derecelendirmektedir. Bu durum uluslararası gaz türbini imalatçıları tarafından da kabul görmektedir; çünkü türbin çıkışı, herhangi bir yoğuşmaya sebep olmadan, türbinde kâfi miktarda ısının atılmayacağı kadar sıcaktır.

Tablo 5.1, yaygın olarak kullanılan kazan yakıtlarının bazıları için HHV'leri vermektedir.

Isıl değerler birçok farklı kaynaktan elde edilebilir: yakıt tedarikçisi, kimya ve makine mühendisliği kılavuzları, yakıt numunelerinin laboratuvar analizi, vb. Bu kitaptaki tüm hesaplamalarda yakıtların HHV değerleri kullanılmıştır. Buhar sisteminin optimizasyon analizinde, HHV değerinin kullanılması daha doğru bir metodolojidir ve tam bir sistem enerji dengesi ile sonuçlanır. Bununla birlikte, aynı analiz LHV değeri kullanılarak da yapılabilir ve aynı sonuçlara varılabilir. Kullanıcıların buhar sistem optimizasyon analizi yaparken tutarlı olması ve proje analizlerinin ya HHV ya da LHV değerlerinden biriyle tamamlanması çok önemlidir. İkisi arasında geçişler çok hatalı sonuçlara yol açacaktır. Tablo 5.1'de, yaygın olarak kullanılan bazı kazan yakıtlarının HHV değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Yaygın olarak kullanılan yakıtların üst ısı değerleri

| Yakıt | Satış Birimi | Genel Maliyet (\$/satış birimi) | HHV (kJ/kg) | Birim Fiyat (\$/GJ) |
|---|-----------------|---------------------------------|-------------|---------------------|
| Doğal gaz | Nm ³ | 1,00 | 54.220 | 26,35 |
| No.2 Yağ yakıt (fuel-oil) | ton | 1.500 | 45.125 | 33,24 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (LS: Düşük sülfürlü) | ton | 785 | 43.595 | 18,01 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (HS: Yüksek sülfürlü) | ton | 797 | 43.764 | 18,21 |
| Bitümlü kömür | ton | 171 | 31.890 | 5,36 |
| Düşük bitümlü kömür | ton | 129 | 23.465 | 5,5 |
| Yaş odun | ton | 22 | 12.215 | 1,8 |

Not: Bu tablodaki değerler ABD'deki 2003 yılı rakamlarına dayanmaktadır ve güncel fiyatları yansıtmamaktadır.

5.2. Buhar Üretim Maliyeti

HHV ile birlikte, Tablo 5.1'de iki konfigürasyon için yakıt genel maliyeti görülmektedir: Satış birimi (Nm³, ton) başına maliyet ve enerji birimi (GJ) başına maliyet. Yakıt maliyeti, buhar üretim maliyetini ve buhar maliyet göstergesini hesaplamak için en önemli parametredir.

$$K_{kazan} = m_{yakıt} \times k_{yakıt}$$

Burada K_{kazan} , kazanın toplam yakıt işletme maliyetidir, $m_{yakıt}$ ve $k_{yakıt}$ ise sırayla yakıt debisi ve yakıt debi oranıdır.

$$k_{buhar} = \frac{m_{yakıt} \times k_{yakıt}}{m_{buhar}}$$

Burada k_{buhar} , kazan buhar maliyet göstergesidir (ya da buhar üretiminin birim fiyatı) ve m_{buhar} da buhar debisidir.

Örnek:

20 T/h (sabit yıl boyu) buhar üreten doğal gaz kazanının saatlik yakıt maliyetini hesaplayınız. Ölçülen doğal gaz debisi 1.693 m³/h (28 m³/dk) ve doğal gaz maliyeti (1,0 \$/m³)'tür.

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 = 1.693 \text{ \$/saat}$$

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 \times 8.760 = 14.830.680 \text{ \$/yıl}$$

$$k_{buhar} = \frac{1.693}{20} = 84,60 \text{ \$/ton}$$

Bu doğal gaz kazanından 20 T/h buhar üretmek için saatlik maliyet 1.693 \$ ve marjinal yakıt ilişkili buhar maliyeti (buhar maliyet göstergesi) üretilen buharın tonu başına 84,60 \$'dır.

5.3. Kazan Veriminin Hesaplanması (Dolaysız Yöntem)

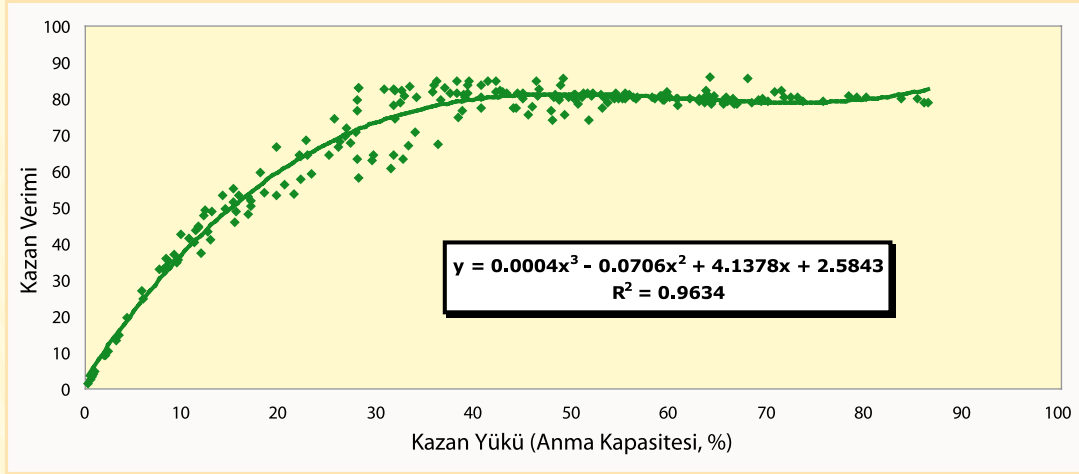
Kazan verimi (ya da buhar üretim verimi) besleme suyunun buhar üretimi için çektiği ısının yakıt giriş enerjisine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_{kazan} = \frac{m_{buhar} (h_{buhar} - h_{beslemesuyu})}{m_{yakıt} \times HHV_{yakıt}} \times 100$$

Burada, h_{buhar} ve $h_{beslemesuyu}$ sırasıyla buhar ve besleme suyunun entalpileridir.

Bu denklem, belirli bir kazana ya da bütün bir kazan tesisine uygulanabilir. Anlık olarak bir zamana ya da belirli bir zaman dönemine (günlük, aylık, yıllık, vs.) tatbik edilebilir. Bu yöntem, kazan verimini hesaplamak için "Dolaysız Yöntem" olarak bilinir. Kazan verimi önemli ölçüde kullanılan yakıtta, kurulan ekipmana, kontrollere, kazan tasarımına, işletme yüküne, vb. göre değişir. Genel olarak, kazan veriminin yaklaşık %70-75 (odun için), %80-85 (doğal gaz için) ve %85-90 (petrol ve kömür için) olması beklenir. Şekil 5.1'de doğal gaz kazanından toplanan gerçek verilere dayalı tipik bir kazan verim eğrisi sunulmuştur.

Şekil 5.1. Tipik doğal gazlı kazan verim eğrisi

**Örnek:**

20 T/h (sabit yıl boyu) buhar üreten doğal gaz kazanının doğal gaz kazan verimini hesaplayınız. Ölçülen doğal gaz debisi 1.693 m³/h (28 m³/dk) ve doğal gaz maliyeti (1,0 \$/m³)'tür. Doğal gazın HHV değeri 54.220 kJ/kg (40.144 kJ/m³)'tür. Kızgın buhar 25 bar, 375°C sıcaklıkta ve de-gazörden gelen kazan besleme suyu 30 bar, 110°C sıcaklıktadır.

Bilgilerden elde edilenler,

$$\begin{aligned}
 m_{\text{buhar}} &= 20.000 \text{ kg/h} \\
 h_{\text{buhar}} &= 3.181 \text{ kJ/kg (25 bar, 375°C için Buhar Tablolarından)} \\
 h_{\text{beslemesuyu}} &= 463,5 \text{ kJ/kg (30 bar, 110°C için Buhar Tablolarından)} \\
 m_{\text{yakıt}} &= 1.693 \text{ m}^3/\text{h} \\
 HHV_{\text{yakıt}} &= 40.144 \text{ kJ/m}^3
 \end{aligned}$$

Kazan verimi şu şekilde hesaplanabilir:

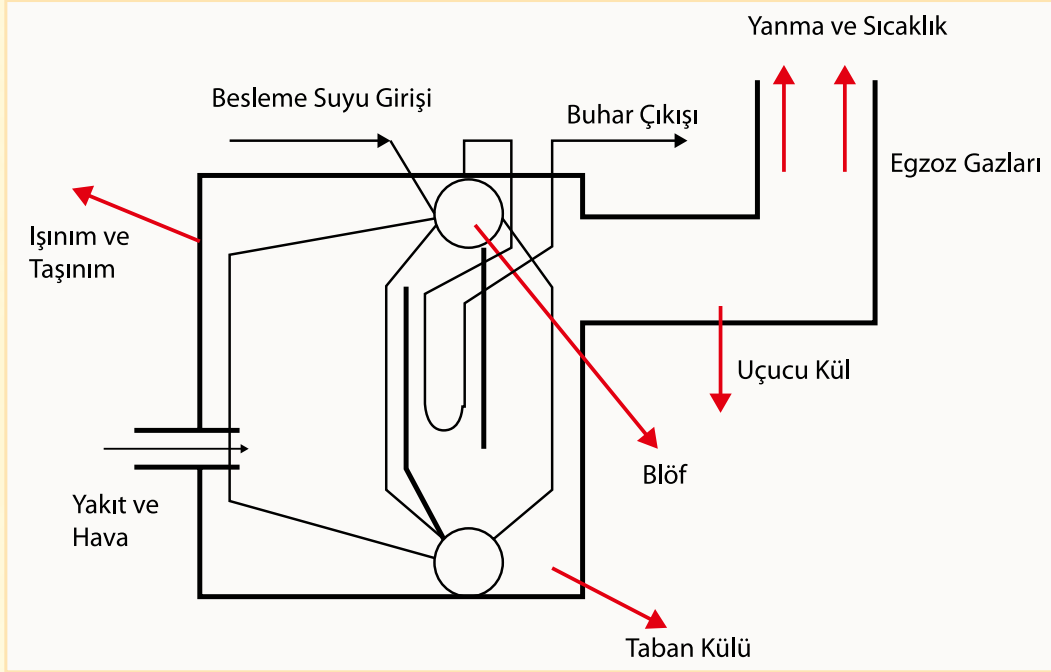
$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{yakıt}} &= \frac{m_{\text{buhar}}(h_{\text{buhar}} - h_{\text{beslemesuyu}})}{m_{\text{yakıt}} \times HHV_{\text{yakıt}}} \times 100 \\
 \eta_{\text{kazan}} &= \frac{20.000(3.181 - 463,5)}{1.693 \times 40.144} \times 100 \\
 \eta_{\text{kazan}} &= \%80,0
 \end{aligned}$$

5.4. Kazan Veriminin Hesaplanması (Dolaylı Yöntem)

Kazan verimi, münferit enerji kayıplarının büyüklüğü belirlenerek dolaylı biçimde tespit edilebilir. Şekil 5.2'de, şematik olarak çalışan bir kazanda meydana gelen ana enerji kayıpları hakkında bilgi verilmiştir.

Şekil 5.2. Kazan işletim kayıpları

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Çalışan bir kazanda farklı türde kayıplar vardır: Kabuk kaybı, blöf kaybı, baca (yanma ve sıcaklık sonucu) kaybı, uçucu ve taban kül kaybı, ateşleme kaybı (LOI) vb. Kazan enerji dengesi kurularak kazan verimi şöyle hesaplanabilir:

$$\eta_{kazan} = 100 - \lambda_{kabuk} - \lambda_{blöf} - \lambda_{bacagazi} - \lambda_{diğer}$$

Burada, λ_{kabuk} kabuk kaybını (%), $\lambda_{blöf}$ blöf kaybını (%), λ_{baca} baca kaybını (%) ve $\lambda_{diğer}$ diğer kayıpları (%) göstermektedir.

Bu yöntem, kazan veriminin hesaplanmasında "Dolaylı Yöntem" olarak bilinmektedir. Kazan veriminin hesaplanmasında bu yöntem -"Dolaysız Yöntem" ile karşılaştırıldığında- oldukça fazla bilgi ve "Dolaysız Yöntem"e göre daha fazla zaman gerektirmektedir. Bununla birlikte, "Dolaylı Yöntem" diğerine göre önemli avantajlara sahiptir:

- Daha az belirsizlik (yüksek oranda doğruluk),
- Enerji kayıplarını belirleme ve ölçme kabiliyeti.

Bir buhar sistem optimizasyon analizinde, kazan verimini hesaplamak için her iki yöntem bağımsız olarak kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, hesaplanan değerler karşılaştırılarak daha sonra tesisin ölçüm ve veri toplama cihazları için güvenilirlik düzeyleri oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

5.4.1. Kabuk kaybı

Kabuk kaybı, kazanı dış yüzeyinden terk eden yakıt enerjisinin miktarıdır. Kazanın yüzeyi, ortam sıcaklığının üzerindedir ve dolayısıyla her zaman ortama belirli bir miktar ısı kaybı vardır. Bu ısı kaybı, kazan yüzeylerinden ışınlım ve taşınım yoluyla gerçekleşir. Bir kazanda, kabuk kaybını doğru şekilde ölçmek zordur. Kabuk kaybı, genellikle, bazı sınırlı alan ölçümlerinden tahmin edilmektedir. Amerikan Makine Mühendisleri Derneği Performans Testi Kod 4 (ASME PTC-4), kazan yüzeylerinden olan bu kaybı hesaplamak için ayrıntılı bir metodoloji sağlamaktadır.

Birinci mertebe kabuk kaybı büyüklüğü, aşağıda Tablo 5.2’de bir kılavuz olarak verilmektedir. Kabuk kaybı tahmin metodolojisi, kazan yüzeyinin karakteristik sıcaklığını, yüzey alanını ve tahmini ortam yüzey hava akış hızını kullanır. Bu tahminler, toplam kazan kabuk kaybını tahmin etmeyi sağlayan, kazan yüzeylerinin tamamı için, ısı transfer analizinin tamamlanmasında kullanılır. Bu teknik basittir; bununla birlikte, sonuçlar genel bir tahmin olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 5.2. Birinci mertebe kabuk kaybı kılavuzu

| Kabuk Kaybı Brüt Tahmini Alan Değerlendirmeleri | | | | |
|---|-------------------|----------------|-----------------------------------|-------------|
| Kazan tipi | Buhar Üretim Hızı | | Kazan Tam-Yük Kabuk Kaybı Tahmini | |
| | Minimum [T/h] | Maksimum [T/h] | Maksimum [%] | Minimum [%] |
| Su-boru | 5 | 50 | 2,0 | 0,3 |
| Su-boru | 50 | 500 | 0,6 | 0,1 |
| Su-boru | 500 | 5.000 | 0,2 | 0,1 |
| Alev-boru | 0,5 | 20 | 1,0 | 0,1 |

Kazan kabuk kaybı büyüklüğünün sabit ve kazan yükünden bağımsız olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Kabuk kaybı, yakıt giriş enerjisinin bir yüzdesi olarak ifade edilir. Bundan dolayı, kazan yükü azaldıkça kabuk kaybı (%) artar. İyi bakımlı kazanların çoğu için, tam yük kabuk kaybının, toplam yakıt giriş enerjisinin yaklaşık % 0,1-2’si olması beklenir.

Örnek:

20 T/h buhar üreten doğal gaz kazanı için bir *ASME* tipi kabuk kaybı araştırması, kabuk kaybının yaklaşık % 0,5 olduğunu göstermiştir. Ölçülen doğal gaz debisi 1.693 m³/h (28 m³/dk) ve doğal gaz maliyeti (1,0 \$/m³)’tür. Kabuk kaybı ile ilgili yakıt giriş enerji maliyetini tahmin ediniz.

Bilgilerden elde edilenler,

$$m_{\text{yakıt}} = 1.693 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$k_{\text{yakıt}} = 1,0 \text{ \$/m}^3$$

$$\lambda_{\text{kabuk}} = \%0,5$$

$$K_{\text{kabuk}} = m_{\text{yakıt}} \times k_{\text{yakıt}} \times \lambda_{\text{kabuk}}$$

$$K_{\text{kabuk}} = 1.693 \times 1,0 \times 0,005 = 8,47 \text{ \$/saat}$$

$$K_{\text{kabuk}} = 8,47 \times 8.760 \approx 74.200 \text{ \$/yıl}$$

5.4.2. Blöf kaybı

Kazan besleme suyu, işlemde geçmiş takviye suyu ve kondensat oluşur. Bununla birlikte, buharda çözünür olmadığı için, kazan besleme suyunda hâlâ buharla beraber kazandan atılmayan çözünmüş kimyasallar vardır. Buharlaştırmanın bir sonucu olarak, kazanda bu kimyasalların konsantrasyonu zamanla artar. Kazanlarda kimyasalların konsantrasyon artışı ciddi operasyonel sorunlara neden olabilir ve kazan bütünlüğü zarar görebilir. Bunlarla sınırlı olmamak üzere, bu sorunlar arasında; sıvı taşınmasına neden olan köpüklenme, boruların su tarafında boru kaçaklarına ve arızalarına neden olan pullanma, kazan suyunda serbest halde çamur vb. bulunması sayılabilir.

Blöf, kazan suyunun kimyasını kontrol eden birincil mekanizmadır. Blöf, kazan içinde çözünmüş ve çöktürülmüş kimyasalların konsantrasyonunu kontrol eder ve kazan fonksiyonlarının güvenilir olmasını ve plansız bir kapatma ya da arıza olmamasını sağlar.

Genellikle, blöf, kazan suyu iletkenliğine bağlı olarak kontrol edilir. İletkenlik, sürekli kazan suyu kalitesini gösteren ve doğrudan yapılan bir ölçümdür. Ancak iletkenliğin, periyodik su analizleri vasıtasıyla münferit kimyasal kirlenici maddeler ile karşılaştırılması gerekir. İletkenlik ve özel kazan suyu testi sonuçları, blöf hızını ayarlama da yardımcı olur.

Blöfün kazan basıncında doymuş bir sıvı olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, ısı enerjisinin önemli bir miktarı blöf ile ilişkilidir. Blöf, kazandan boşaltıldığında, bu ısı enerjisi (yakıt tarafından sağlanan) kaybolur. Kaybedilen bu enerjinin toplam yakıt giriş enerjisine oranı $\lambda_{blöf}$, yani blöf kaybıdır.

Blöf, en ufak bir basınç düşüşünde flaş buharlaşan doymuş su olduğundan, blöf akışını ölçmek için geleneksel akış ölçerlerin kullanılması zordur. Çoğu akış ölçer cihazı, ölçmenin imkânsız olduğu iki fazlı akış ile sonuçlanan yeterli bir basınç düşüşü meydana getirecektir. Bu nedenle, blöf miktarını ölçmek amacıyla, besleme suyunun ve kazandaki suyun kimyasal bileşimi kesin olarak ölçülür. Analizde ölçülen kimyasal bileşen, doğru bir ölçüm için yeterli konsantrasyonda olmalıdır. Besleme suyundaki kimyasalın konsantrasyonunun kazan suyu konsantrasyonuna oranı, blöf oranını elde etmek için kullanılır. Besleme suyu akışının bir yüzdesi olarak blöf akışı (β) aşağıdaki gibi bulunur:

$$\beta = \frac{\text{Blöf Debisi}}{\text{Beslemesuyu Debisi}} \approx \frac{\text{Beslemesuyu İletkenliği}}{\text{Blöf İletkenliği}}$$

$$m_{blöf} = \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) m_{buhar}$$

Burada $m_{blöf}$ blöf debisidir.

Kazan blöf ısı enerjisi içeriği kaybı (Q_{bd_kazan}) ve blöf kaybı ($\lambda_{blöf}$) şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{bd_kazan} = m_{blöf} (h_{blöf} - h_{beslemesuyu})$$

$$\lambda_{blöf} = \left(\frac{Q_{bd_kazan}}{m_{yakıt} \times HHV_{yakıt}} \right) \times 100$$

Burada $h_{blöf}$ ve $h_{beslemesuyu}$ sırasıyla blöf ve besleme suyu akışlarının entalpi değerleridir.

Örnek:

20 T/h buhar üreten doğal gaz ile yakılan 25 barda çalışan bir kazanın blöf ve blöf kaybı miktarlarını hesaplayınız. Kazan besleme suyu 30 bar basınç ve 110°C sıcaklıkta sağlanır. Yakıt debisi ve su kimyası hakkında ilâve bilgiler şu şekildedir:

| | |
|------------------------------|---|
| Doğal gazın HHV değeri | = 54.220 kJ/kg (40.144 kJ/m ³) |
| Yakıt besleme debisi | = 1.693 m ³ /h (28 m ³ /dk) |
| Yakıt maliyeti | = 1,0 \$/m ³ |
| Blöf için iletkenlik | = 2.000 µmhos/cm |
| Besleme suyu için iletkenlik | = 100 µmhos/cm |
| Takviye suyu sıcaklığı | = 20°C |

Blöf kütleli debisi bu bilgilere göre şu şekilde hesaplanır:

$$\beta \approx \frac{\text{Beslemesuyu İletkenliği}}{\text{Blöf İletkenliği}} = \frac{100}{2.000} = 0,05$$

$$m_{blöf} = \left(\frac{0,05}{1-0,05} \right) 20.000 = 1.052,63 \frac{\text{kg}}{\text{saat}} = 0,29 \frac{\text{kg}}{\text{sn}}$$

Kazan blöf ısı enerji içeriği ve blöf kaybı şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{bd_kazan} = m_{blöf} (h_{blöf} - h_{beslemesuyu}) = 0,29 \times (971,8 - 463,5) = 148 \text{ kW}$$

$$\lambda_{blöf} = \left(\frac{Q_{bd_kazan}}{m_{yakıt} \times HHV_{yakıt}} \right) \times 100 = \left(\frac{148}{\frac{1.693}{3.600} \times 40.144} \right) \times 100 = \%0,79$$

Kazan blöf kaybı hesaplaması için kontrol hacminin sadece kazan olduğuna dikkat edilmelidir. Bununla birlikte, gerçek bir endüstriyel buhar sisteminde, besleme suyu ilk olarak bir degazör veya besleme suyu ısıtıcısında ısıtılır ve daha sonra kazana gönderilir. Bu nedenle, sistemsel bakış açısından, blöf, aslında (besleme suyu koşullarında değil) ortam koşullarında olan takviye suyu ile değiştirilir. Blöf için toplam sistem kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_{bd_sistem} = m_{blöf} (h_{blöf} - h_{ilavesu})$$

$$\lambda_{bd_sistem} = \left(\frac{Q_{bd_sistem}}{m_{yakıt} \times HHV_{yakıt}} \right) \times 100$$

Örnek:

Bir önceki kazan blöf sistem analizi için, genel sistem bazlı blöf enerji kaybı ve kazan blöfü ile ilişkili eşdeğer yakıt enerji maliyetini hesaplayınız. Buhar sistemine giren takviye suyunun 20°C sıcaklıkta olduğunu varsayınız.

Kazan blöfünün ısı enerji içeriği ve blöf kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_{bd_sistem} = m_{blöf} (h_{blöf} - h_{ilavesu}) = 0,29 \times (971,8 - 83,9) = 259 \text{ kW}$$

$$\lambda_{bd_sistem} = \left(\frac{Q_{bd_sistem}}{m_{yakıt} \times HHV_{yakıt}} \right) \times 100 = \left(\frac{259}{\frac{1.693}{3.600} \times 40.144} \right) \times 100 = \% 1,37$$

Blöf için eşdeğer yakıt enerji maliyeti, sistem etkisi için aşağıdaki gibi hesaplanır:

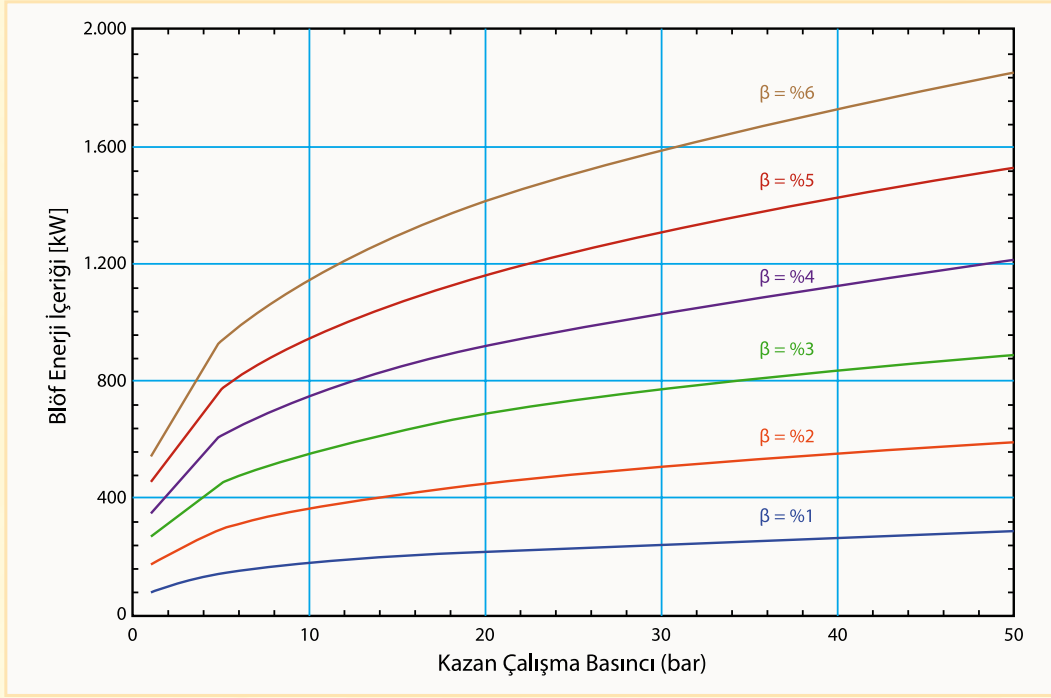
$$K_{bd_sistem} = m_{yakıt} \times k_{yakıt} \times \lambda_{bd_sistem}$$

$$K_{bd_sistem} = 1.693 \times 1,0 \times 0,0137 = 23,2 \text{ \$/saat}$$

$$K_{bd_sistem} = 23,2 \times 8.760 \approx 203.180 \text{ \$/yıl}$$

Şekil 5.3'te, farklı basınçlarda ve farklı blöf hızlarında çalışan kazanlar için, kazan blöf ısı enerji içeriği miktarı bilgilerini sağlayan bir grafik sunulmaktadır. Bu grafikte, 100 T/h buhar üretim hızı kullanılmıştır. Kazan blöf enerji içeriğinin hızlı şekilde belirlenmesi için, Şekil 5.3 kullanılabileceği gibi, yukarıda gösterildiği üzere daha ayrıntılı hesaplamalara müracaat edilebilir.

Şekil 5.3. Kazan blöf ısı enerji içeriği
(100 T/h buhar üretimi ve 20°C sıcaklıkta besleme suyu)



5.4.3. Baca kaybı

Blöf ve kabuk kayıpları nispeten küçük olsa da, baca kaybı, hemen hemen her zaman, kazan verimi kaybının en büyük bileşenidir. Baca kaybının sıcaklık ve yanma (ya da fazla hava) olmak üzere iki bileşeni vardır. Baca kaybını yönetmek, kazan işlemlerinin optimize edilmesinde ve kazan veriminin artırılmasında önemli bir faktördür. Baca kaybının her iki bileşeni de aşağıda daha ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

5.4.3.1. Baca gazı sıcaklığı bileşeni

Yakıt enerjisinin önemli bir miktarı, kazan baca gazlarında bulunur. Dışarı atılan baca gazının sıcaklığı, baca gazındaki enerji miktarını gösterir. Baca gazı sıcaklığı ve yanma odası giriş sıcaklığı (genellikle, ortam havası sıcaklığı) arasındaki fark, "net baca sıcaklığı" olarak bilinir ve bacadaki kaybolan yakıt enerjisi miktarını temsil eder. Giriş hava sıcaklığının bir kazan için sabit olduğu varsayıldığında, daha yüksek baca gazı sıcaklığı daha yüksek baca kaybı anlamına gelir. Bu durum kazan verimini düşürmektedir. Bu nedenle, kazan baca gazı sıcaklığı kritik bir parametredir, dolayısıyla dikkatle izlenmeli ve yönlendirilmelidir. Baca gazı egzoz sıcaklığını etkileyen çeşitli faktörler vardır:

- Kazan tasarımı
- Isı geri kazanım ekipmanı
- Kazan yükü
- Alev tarafı kirlenmesi
- Su tarafı kirlenmesi

Kazan operasyonlarının optimizasyonu değerlendirilirken bu faktörler gözönüne alınmalıdır.

5.4.3.2. Yanma bileşeni

Baca kaybının yanma bileşeni, yakıttaki yanmamış bileşenlere ve hava fazlalığı (veya baca gazı oksijen) miktarına bağlıdır.

Yanma yönetiminin birinci ilkesi, tüm yakıtın yakılmasını ve bacada hiç (minimum) yanıcı madde kalmamasını temin için yanma prosesinde yeterli oksijen olmasını sağlamaktır.

Yanma yönetiminin ikinci ilkesi, yanma sürecinde oksijen miktarını (hava) sınırlamayı hedefler. Tüm yanma havası yakıt tarafından ısıtılır. Fazla hava (oksijen), yanma bölgesine eklenir, ortam sıcaklığında kazana girer ve baca gazı sıcaklığında kazandan çıkar. Ortam havası her 1 birim oksijen için yaklaşık 4 birim azotu içerir. Bunun bir sonucu olarak, büyük miktarda azot, fazla hava (oksijen) ile yanma bölgesine girer ve yakıt enerjisinin önemli bir miktarı bu fazla havayı ısıtmak için harcanır.

Baca kayıplarını hesaplamak için kullanılan farklı metodolojiler vardır; fakat, her yöntem yanma modelinin yapısına dayanmaktadır. Örneğin, ASME Güç Testi Kod 4, açıkça tüm parametreleri, denklemleri, ölçümleri ve doğru bir baca kaybını hesaplamak için gerekli ölçüm cihazlarını tanımlamaktadır. Bu metodoloji çok ayrıntılıdır ve bunun yerine, ayrıntılı bir yanma modeli kullanılmak zorunda kalmadan, kullanıcılar, ABD Enerji Bakanlığı için Greg Harrell tarafından geliştirilen yanma modeline dayalı baca kayıplarının hesaplanmasına yönelik iki kaynaktan birini takip edebilirler:

- Baca kaybı tabloları (Tablo 5.3)
- ABD EB SSAT yazılımında Baca Kaybı Hesaplayıcı (Şekil 5.4)

Baca kaybı modeli, bacada minimal (ya da hiç) yanıcı madde olduğunu ve hiç kondens olmadığını kabul eder. Gerekli veriler: yakıt, baca gazı sıcaklığı, baca gazı oksijen içeriği ve giriş hava sıcaklığı.

Tablo 5.3. Doğal gaz için baca gazı tablosu

| Baca Gazı Oksijen İçeriği Islak Temelli (%) | Baca Gazı Oksijen İçeriği Kuru Temelli (%) | Yanma İçeriği (ppm) | Baca Kaybı (Yakıtın % Üst Isıl Değer Girişi) | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| | | | Net Baca Sıcaklığı (Delta °C) (Baca gazı çıkış sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark) | | | | | | | | | | | | |
| | | | 100 | 128 | 156 | 183 | 211 | 239 | 267 | 294 | 322 | 350 | 378 | 406 | |
| 1,0 | 1,2 | 0 | 13,6 | 14,7 | 15,8 | 16,9 | 18,0 | 19,1 | 20,2 | 21,3 | 22,4 | 23,6 | 24,7 | 25,9 | |
| 2,0 | 2,4 | 0 | 13,8 | 14,9 | 16,1 | 17,2 | 18,4 | 19,5 | 20,7 | 21,9 | 23,1 | 24,2 | 25,4 | 26,6 | |
| 3,0 | 3,6 | 0 | 14,0 | 15,2 | 16,4 | 17,6 | 18,8 | 20,0 | 21,3 | 22,5 | 23,7 | 25,0 | 26,3 | 27,5 | |
| 4,0 | 4,7 | 0 | 14,2 | 15,5 | 16,7 | 18,0 | 19,3 | 20,6 | 21,9 | 23,2 | 24,5 | 25,8 | 27,2 | 28,5 | |
| 5,0 | 5,8 | 0 | 14,5 | 15,8 | 17,2 | 18,5 | 19,9 | 21,2 | 22,6 | 24,0 | 25,4 | 26,8 | 28,2 | 29,6 | |
| 6,0 | 6,9 | 0 | 14,8 | 16,2 | 17,6 | 19,1 | 20,5 | 22,0 | 23,4 | 24,9 | 26,4 | 27,8 | 29,3 | 30,8 | |
| 7,0 | 8,0 | 0 | 15,1 | 16,6 | 18,1 | 19,7 | 21,2 | 22,8 | 24,3 | 25,9 | 27,5 | 29,1 | 30,7 | 32,3 | |
| 8,0 | 9,1 | 0 | 15,5 | 17,1 | 18,8 | 20,4 | 22,1 | 23,7 | 25,4 | 27,1 | 28,8 | 30,5 | 32,2 | 33,9 | |
| 9,0 | 10,1 | 0 | 16,0 | 17,7 | 19,5 | 21,2 | 23,0 | 24,8 | 26,6 | 28,5 | 30,3 | 32,1 | 34,0 | 35,8 | |
| 10,0 | 11,1 | 0 | 16,5 | 18,4 | 20,3 | 22,2 | 24,2 | 26,1 | 28,1 | 30,1 | 32,1 | 34,1 | 36,1 | 38,1 | |
| Gerçek Çıkış Sıcaklığı (°C) | | | 121 | 149 | 177 | 204 | 232 | 260 | 288 | 316 | 343 | 371 | 399 | 427 | |
| Ortam Sıcaklığı (°C) | | | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | |

Referans: Greg Harell, Ph.D., P.E. tarafından geliştirilen yanma modeli

Şekil 5.4. ABD EB SSAT yazılımında baca kaybı hesaplayıcı
(Referans: Greg Harell tarafından geliştirilen yanma modeli)

| Buhar Sistemi Değerlendirme Aracı | | |
|--|--------|--|
| Baca Kaybı Hesaplayıcı | | |
| Baca sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve baca oksijen içeriğine bağlı olarak kazan bacasından olan ısı kaybı için bir tahmin yapılacaktır. Kayıplar yakılan yakıtın üst ısı değerinin yüzdesi olarak ifade edilecektir. | | |
| Baca kayıpları SSAT kazan verimi ile şu şekilde bağlantılıdır. SSAT kazan verimi = %100 - %baca kaybı - %kabuk kaybı Kabuk kaybı kazandan olan radyant ısı kaybıdır. Genellikle < %1 tam yükte, %1-2 azaltılmış yükte | | |
| Giriş Verisi | | |
| Baca Gaz Sıcaklığı (°F) | 200 °C | Baca Sıcaklığı - Ortam Sıcaklığı = 180°C |
| Ortam Sıcaklığı (°F) | 20 °C | |
| Baca Gazı Oksijen İçeriği (%) | %5 | |
| <small>Not: Baca gazı oksijen içeriği molar ya da volümetrik bazlıdır.</small> | | |
| Sonuçlar | | |
| Varsayılan her yakıt türü için tahmin edilen kayıplar şu şekildedir: | | |
| Doğal gaz | | %18,3 |
| No.2 Yağ yakıt (fuel-oil) | | %14,0 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (düşük sülfürlü) | | %13,5 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (yüksek sülfürlü) | | %13,7 |
| Tipik Doğu kömürü (bitümlü) | | %12,0 |
| Tipik Batı kömürü (düşük bitümlü) | | %13,6 |
| Tipik yaş odun | | %24,7 |

Örnek:

20 T/h'da çalışan kazanın baca kaybını aşağıdaki koşullar için tahmin ediniz.

| | |
|---------------------------|---|
| Doğal gazın HHV değeri | = 54.220 kJ/kg (40.144 kJ/m ³) |
| Yakıt besleme debisi | = 1.693 m ³ /h (28 m ³ /dk) |
| Yakıt maliyeti | = 1,0 \$/m ³ |
| Baca sıcaklığı | = 200°C |
| Baca gazı oksijen içeriği | = %5 |
| Ortam hava sıcaklığı | = 20°C |

Baca gazı analizinde ihmal edilebilir yanıcı maddeler bulunmuştur.

Şekil 5.5. Örnek kazan - baca kaybı

| Giriş Verisi | | |
|--|--------|--|
| Baca Gaz Sıcaklığı (°F) | 200 °C | Baca Sıcaklığı - Ortam Sıcaklığı = 180°C |
| Ortam Sıcaklığı (°F) | 20 °C | |
| Baca Gazı Oksijen İçeriği (%) | %5 | |
| <small>Not: Baca gazı oksijen içeriği molar ya da volümetrik bazlıdır.</small> | | |
| Sonuçlar | | |
| Varsayılan her yakıt türü için tahmin edilen kayıplar şu şekildedir: | | |
| Doğal gaz | | %18,3 |
| No.2 Yağ yakıt (fuel-oil) | | %14,0 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (düşük sülfürlü) | | %13,5 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) (yüksek sülfürlü) | | %13,7 |
| Tipik Doğu kömürü (bitümlü) | | %12,0 |
| Tipik Batı kömürü (düşük bitümlü) | | %13,6 |
| Tipik yaş odun | | %24,7 |

λ_{stack}

Örnek:

Önceki bölümlerdeki 20 T/h doğal gazlı çalışan kazanda hesaplanan farklı kayıplara bağlı olarak kazan verimini (Dolaylı Verim Hesabı) tahmin ediniz.

$$\eta_{kazan} = 100 - \lambda_{kabuk} - \lambda_{blöf} - \lambda_{bacagazi} - \lambda_{diğer}$$

$$\eta_{kazan} = 100 - 0,50 - 0,79 - 18,3 - 0,0$$

$$\eta_{kazan} = \%80,4$$

Dolaylı yöntemle kazan veriminin hesaplama sonuçları (%80,4) ile dolaysız yöntemle hesaplanan verim sonuçları (%80) karşılaştırıldığında yakınlığın çok iyi olduğu görülmektedir. Bu değerler, ölçümlerin doğruluk düzeylerini gösteren belirsizlik sınırları içinde bulunmaktadır.

5.5. Buhar Üretimi Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları

Buhar üretim alanında çeşitli optimizasyon imkânları vardır:

- Fazla havanın minimize edilmesi,
- Isı geri kazanım ekipmanı kurulması,
- Kazan ısı transfer yüzeylerinin temizlenmesi,
- Su arıtmanın iyileştirilmesi,
- Otomatik kazan blöf kontrolörünün kurulması,
- Kazan blöfünden enerji geri kazanımı,
- Kazan refrakterinin eklenmesi/yenilenmesi,
- Çalışan kazanların sayısının minimize edilmesi,
- Farklı yakıt geçişin araştırılması,
- Degazör işlemlerinin optimize edilmesi.

İlerleyen bölümlerde yukarıda sayılan bu optimizasyon seçenekleriyle ilgili olarak daha ayrıntılı bilgi sunulmaktadır.

5.5.1. Fazla havanın minimize edilmesi

Uygun yanma yönetimi, tüm yakıtı yakmak için yanma bölgesine yeterince oksijen eklenmesini gerektirir; ancak ısıl enerji kaybının minimize edilmesini sağlamak için, çok fazla hava eklenmemesi lâzımdır. Yanma yönetimi, yanma sürecinin kontrol metodolojisini değerlendirir ve ölçümler ile başlar.

Genellikle kazanlarda yakıt debisi, buhar kollektörü basıncı tarafından kontrol edilir. Eğer buhar basıncı azalır, yakıt akış kontrolörü, kazan için daha fazla buhar üretmek için yakıt akışını artıracaktır (ayar noktasına buhar basıncını geri ayarlayarak). Bunun aksine, eğer buhar basıncı artarsa, buhar üretimini azaltmak için yakıt debisi azaltılacaktır.

Kazan içine olan yakıt akışı, yanmayı değiştirdiğinde, hava akışının da buna uygun olarak yanmayı korumak için değişmesi gerekir. İki ana biçimde yanma kontrolü vardır:

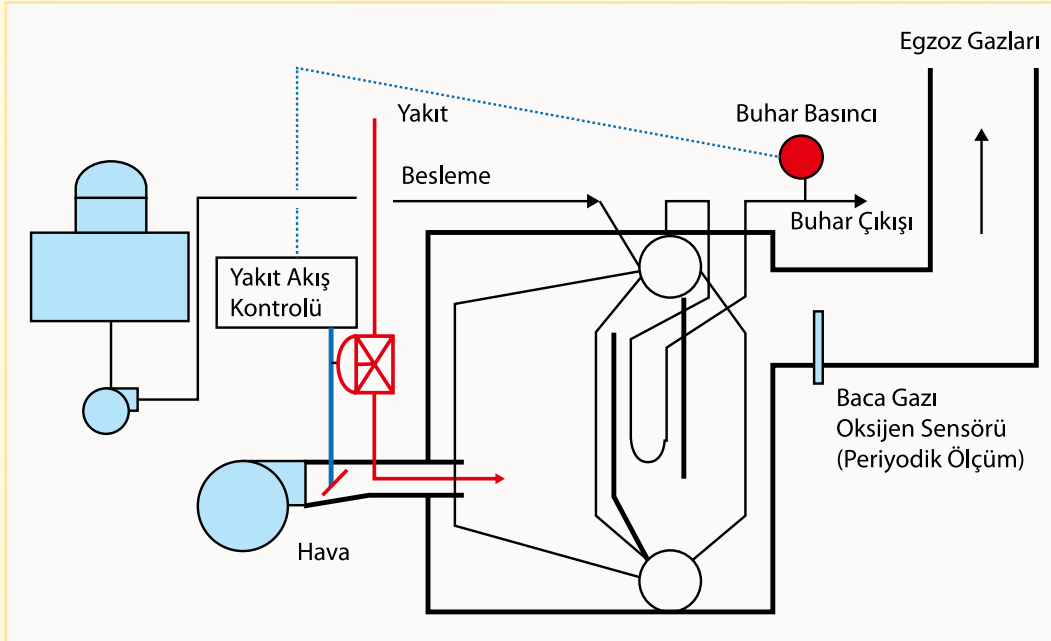
- Konumlandırma kontrolü
- Otomatik oksijen ayar kontrolü

5.5.1.1. Konumlandırma kontrolü

Yanma havası akış kontrolü, mekanik olarak yakıt akış kontrol cihazına bir hava akışı kontrol aygıtı (damper) bağlayarak gerçekleştirilir. Bu yaygın olarak konumlandırma kontrolü diye adlandırılır; çünkü hava akışı kontrol aygıtı, sadece yakıt akış kontrol cihazının pozisyonuna dayalı olan bir konuma sahip olacaktır. Şekil 5.6'da konumlandırma kontrolü mekanizmasının bir şekmi görülmektedir. Bu kontrolün herhangi bir aktif oksijen veya yanıcı madde ölçümleri ile ilgisi olmadığını belirtmek gerekir. Oksijen ve yanıcı madde ölçümleri, sadece, yakıt kontrolörü ve hava kontrolörü arasındaki konum ilişkisini kurmak için periyodik olarak alınır.

Şekil 5.6. Konumlama kontrol sistemi

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



"Kazanı ayarlama", hava ve yakıt arasındaki konumsal ilişkiyi yeniden kurmak için periyodik olarak yapılması gereken bir en iyi uygulamadır. Bu durum, yanma havasının konumlandırma kontrolü limitleri dâhilinde minimize edilmesini sağlayacaktır.

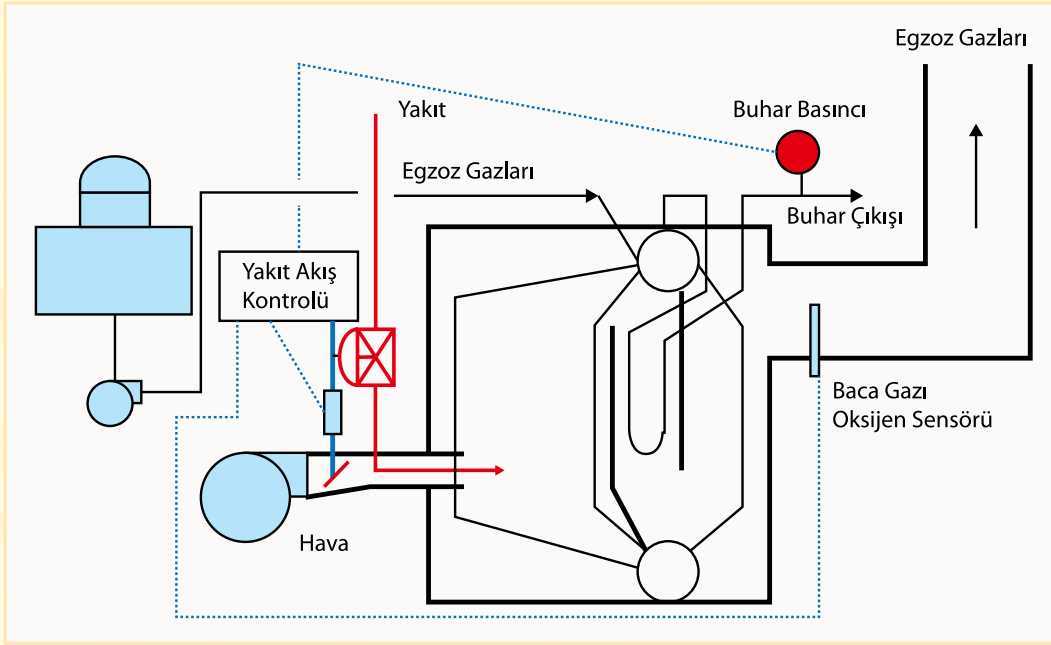
5.5.1.2. Otomatik oksijen ayar kontrolü

Otomatik oksijen ayar kontrol metodolojisinde, yanma havası akışı; yakıt akış kontrol vanası ve bacadaki baca gazı oksijen izleyicisi kombinasyonu ile kontrol edilir. Brülör üreticisinin yanma eğrisine göre, ana hava akışı kontrol cihazı (damper), yakıt akış kontrol vanasına bağlı bir sinyal ile konumlandırma kontrolü metodolojisinde olduğu gibi kontrol edilmektedir. Buna ek olarak, baca gazı oksijeni sürekli olarak ölçülür ve fazla hava miktarını minimize etmek için daha sıkı bir ilişki kurulabilir. Bu ilâve kontrol, yanma havasının miktarını ayarlar ve böylece fazla hava mik-

tarını minimize eder. Bu otomatik oksijen ayar kontrolü, konumlandırma kontrolü ile karşılaştırıldığında çok daha etkili ve verimlidir. Şekil 5.7'de, otomatik oksijen ayar kontrol mekanizmasının şematik bir gösterimi verilmiştir. Birçok kurulumda, konumlandırma kontrolü durumunda olduğu gibi, bir damper kontrolü ile karşılaştırıldığında, ilâve elektrik enerjisi tasarrufu sağlayacak şekilde otomatik oksijen ayar kontrolü, değişken hız sürücülü (VSD) cebri çekişli yanma fanı ile birleştirilmiştir.

Şekil 5.7. Otomatik oksijen ayar kontrol sistemi

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Ticari olarak mevcut en iyi kontrol teknolojisine bağlı olarak, Tablo 5.4'te iki tip kontrol metodolojisine göre farklı yakıtlarla çalışan kazanlar için baca gazı oksijen (ve fazla hava) çalışma düzeyi gösterilmiştir. Genellikle, yüksek baca gazı oksijen içeriği değerleri, düşük brülör yüklerine ve düşük baca gazı oksijen içeriği, yüksek brülör yüklerine karşılık gelmektedir. Fazla hava, referans amaçlı olarak tabloda belirtilmiştir. Baca gazı oksijen içeriği ölçülen değerdir. Fazla hava, yakıt kompozisyonu ve ölçülen oksijen değerinden hesaplanır.

Tablo 5.4. Baca gazı kontrol parametreleri

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)

| Tipik Baca Gazı Oksijen İçeriği Kontrol Parametreleri | | | | | | | | |
|---|---|-----------|---|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| Yakıt | Otomatik Kontrol Baca Gazı O ₂ İçeriği | | Konumlandırma Kontrolü Baca Gazı O ₂ İçeriği | | Otomatik Kontrol Fazla Hava | | Konumlandırma Kontrolü Fazla Hava | |
| | Min. (%) | Maks. (%) | Min. (%) | Maks. (%) | Min. (%) | Maks. (%) | Min. (%) | Maks. (%) |
| Doğal gaz | 1,5 | 3 | 3 | 7 | 9 | 18 | 18 | 55 |
| No. 2 Yağ yakıt (fuel-oil) | 2 | 3 | 3 | 7 | 11 | 18 | 18 | 55 |
| No.6 Yağ yakıt (fuel-oil) | 2,5 | 3,5 | 3,5 | 8 | 14 | 21 | 21 | 65 |
| Pulverize kömür | 2,5 | 4 | 4 | 7 | 14 | 25 | 25 | 50 |
| Besleme kömürü | 3,5 | 5 | 5 | 8 | 20 | 32 | 32 | 65 |

Hava fazlalığını minimize etmenin potansiyel faydasını tahmin etmek için, toplam kazan işletim maliyeti ile mevcut ve yeni işletim kazan verimini değerlendirmek gerekli olacaktır. Aşağıdaki denklem enerji tasarrufu fırsatı için maliyet tasarrufunu hesaplama imkânı sağlar.

$$\sigma = K_{kazan} \left(1 - \frac{\eta_{mevcut}}{\eta_{yeni}} \right)$$

Burada $\sigma_{yakıt}$ maliyeti tasarruflarını, K_{kazan} kazanın mevcut işletim maliyetini, η_{mevcut} ve η_{yeni} sırasıyla mevcut ve yeni kazan çalışma verimlerini göstermektedir.

Örnek:

20 T/h buhar üretim kapasiteli ve doğal gazla çalışan kazanın, periyodik olarak tekrar ayarlanmış bir konumlandırıcı kontrolörü vardır. Kazan üzerindeki fazla havayı yönetmek için otomatik oksijen ayar kontrolörü uygulandığında ortaya çıkacak yıllık enerji maliyeti tasarruf fırsatını tahmin ediniz. Kazan verim hesapları için kabuk ve blöf kayıplarını ihmal ediniz.

| | |
|---|---|
| Doğal gazın HHV değeri | = 54.220 kJ/kg (40.144 kJ/m ³) |
| Yakıt besleme debisi | = 1.693 m ³ /h (28 m ³ /dk) |
| Yakıt maliyeti | = 1,0 \$/m ³ |
| Baca sıcaklığı | = 200°C |
| Baca gazı oksijeni | = %5 |
| Ortam hava sıcaklığı | = 20°C |
| Baca gazı analizinde ihmal edilebilir yanıcı madde bulunmuştur. | |

Daha önceki bölümde hesaplanan kazan işletim maliyeti şu şekildedir:

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 = 1.693 \text{ \$/saat}$$

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 \times 8.760 = 14.830.680 \text{ \$/yıl}$$

ABD EB SSAT Baca Kaybı Hesaplayıcıda hesaplanan, %5 baca gazı oksijeni, 200°C baca sıcaklığı ve 20°C ortam sıcaklığında mevcut baca kaybı %18,3'tür. Bu nedenle, mevcut kazan verimi, η_{mevcut} %81,7'dir.

Tablo 5.4'te, ticari olarak mevcut otomatik oksijen ayar kontrolörleri, değerlerin %3'ü dâhilinde baca gazı oksijeni kontrol edilebilir. Baca sıcaklığı değişmediği varsayılarak, yeni baca kaybının %17,4 olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle, yeni kazan verimi, η_{yeni} %82,6 olmuştur.

Otomatik oksijen ayar kontrolörü uygulayarak fazla havayı minimize etmek için enerji maliyet tasarrufu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{FazlaHava} = K_{kazan} \left(1 - \frac{\eta_{mevcut}}{\eta_{yeni}} \right)$$

$$\sigma_{FazlaHava} = 14.830.680 \times \left(1 - \frac{81,7}{82,6} \right)$$

$$\sigma_{FazlaHava} = 161.593 \text{ \$/yıl}$$

5.5.2. Baca gazı ısı geri kazanımı ekipmanının kurulması

Endüstriyel kazanlarda bulunan baca gazı ısı geri kazanım ekipmanı başlıca üç çeşittir:

- Besleme suyu ekonomizörleri
- Hava ön ısıtıcıları
- Yoğuşmalı ekonomizörler

Endüstriyel kazanlarda bulunan ısı geri kazanım ekipmanının tipi, kullanılan yakıt ve ilgili kazan tasarımına çok yakından bağlı olacaktır. Hemen hemen bütün endüstriyel kazanlar besleme suyu ekonomizörüne sahip olacaktır (ya da olmalıdır). Çoğu katı yakıt kazanı ve önemli miktarda nem içeriğine sahip yakıtlar, hava ön ısıtıcılarına sahip olacaktır. Endüstriyel kazanlar ve güç santrali kazanlarının önemli bir kısmında besleme suyu ekonomizörleri ve hava ön ısıtıcılarının her ikisi de vardır. Temiz yanan yakıtları (doğal gaz, metan, dizel, vb.) yakan kazanlar, sistemin genel ısı ihtiyaçlarına bağlı olarak yoğunlaşmalı ekonomizörlerden yararlanabilirler.

5.5.2.1. Besleme suyu ekonomizörü

Bir besleme suyu ekonomizörü, baca gazından kazan besleme suyuna ısı enerjisi transfer etmek için kurulan bir ısı değiştiricisidir. Bu, kazanlarda kurulu en yaygın enerji geri kazanım bileşenidir. Kazan tasarımında besleme suyu ekonomizörü olmasa bile, belki mevcut kazanın bacasına bir modüler besleme suyu ekonomizörü kurmak çok uygun olabilir. Son teknoloji modern ısı değiştirici tasarımı ve malzeme teknolojileri, minimum ısı transfer alanı ile ısı geri kazanımını maksimize etmek için minimum baca gazı tarafı basınç düşümü ve çok iyi bir sıcaklık yaklaşımı sağlar. Ayrıca, besleme suyu ekonomizörü kompakttır ve genellikle herhangi bir "mekân" ya da boyut kısıtlaması getirmez.

5.5.2.2. Hava ön ısıtıcı

Bir yakma havası ön ısıtıcısı, baca gazından enerji transfer ederek yanma havasını ısıtır. Isı değişimi, besleme suyu yerine yanma havasının ısıtılması dışında besleme suyu ekonomizörü ile benzerdir. Bunun net sonucu, yakıt kullanımında bir azalma ve dolayısıyla buhar kazanı veriminde bir artıştır.

Havadan havaya ısı transferinin doğası gereği, hava ön ısıtıcıları büyüktür ve genellikle çok daha büyük basınç düşüşüne sahiptirler. Hava ön ısıtıcısı olan çoğu endüstriyel kazanda, hemen hemen her zaman bu basınç düşüşünün üstesinden gelmek ve yanma odasının üzerinde önemli miktardaki karşı basınçtan kaçınmak için, tahrikli çekişe sahip bir fan kullanılır.

Asit çığ noktasının altında egzoz baca gazı sıcaklığına ulaşılmasından kaçınmak için ilâve önlemler alınmalıdır. Bu minimum sıcaklık sınırı, yakıttaki sülfür içeriğine bağlıdır. Bacadaki (veya baca gazındaki) yoğunlaşma, çok aşındırıcı olan ve metal bozulmasına ve kazanın daha düşük operasyonel güvenilirliğine yol açacak olan sülfürik asit oluşturacaktır. Sülfürik aside ek olarak, baca gazı sıcaklığının daha da azaltılması, karbonik asit oluşumuna yol açar. Karbonik asit zayıf bir asit olduğundan kısa süreler için büyük bir endişe kaynağı değildir; ancak, baca gazı içindeki yoğunlaşma için metalürji düzgün yapılandırılmamış ise, zamanla kesinlikle bir işletim sorunu haline gelecektir.

5.5.2.3. Yoğuşmalı ekonomizör

Su buharı genellikle yanma ürünü olarak gaz halinde kalır ve bacadan çıkar. Bununla birlikte, bu su buharının yoğunlaşmasına izin verilmesi halinde, su buharı önemli bir miktarda geri kazanılabilir enerji içerir. Baca gazındaki su buharının gizli ısısının geri kazanımı için özellikle temiz yanan yakıtlar (doğal gaz, metan gazı, propan, No. 2 yağ yakıt (fuel-oil), vb.) için tasarlanmış, uygun ısı geri kazanım ekipmanı ticari olarak mevcuttur. Bu birimler, genellikle yoğunlaşmalı ekonomizör olarak adlandırılır.

Yakıtla bağlı olarak yoğunlaşmalı ekonomizörlerle kazan verimini %10'dan fazla artırmak mümkündür. Baca gazı akışında yoğunlaşma elde etmek için, baca gazı sıcaklığı, çığ noktasının altında ol-

malıdır. Bu sıcaklık genellikle doğal gaz yanması için 60°C olup, baca gazı sıcaklığı düştükçe daha fazla su buharı, daha çok ısı geri kazanımı sağlayarak yoğunlaşır.

Çiğ noktası, baca gazı içinde yoğunlaşma işlemi kontrol ettiği için, tesiste düşük sıcaklığa sahip ısıya ihtiyaç olduğu unutulmamalıdır. Yoğuşmalı ekonomizörler ısının büyük miktarını geri kazanabilir, fakat bu ısı çok düşük kalitededir. Gıda işleme tesisleri, %100 takviye suyu olan buhar tesisleri, tekstil tesisleri veya bölgesel ısıtma gibi düşük kaliteli ısıtma gerektiren sektörlerdeki uygulamalar genellikle yoğuşmalı ekonomizörler için iyi hedeflerdir.

Yoğuşmalı ekonomizörlerin değerlendirilmesi genellikle kısmi basınç bazlı yanma modeli gerektirir ve bu kitabın kapsamında değildir. Bununla birlikte, yoğuşmalı ekonomizör üreticileri ve ders kitapları belirli temiz yanan yakıtlar için geliştirilmiş ısı geri kazanım grafikleri sağlayabilir.

Örnek:

20 T/h buhar üretim kapasiteli ve doğal gazla çalışan kazanın, bir besleme suyu ekonomizörü vardır, fakat bu ekonomizör bakım ve pullanmanın giderilmesi için sökülmüştür. Söküm işleminin üzerinden birkaç yıl geçmiştir ve şu anda kazan, besleme suyu ekonomizörü olmadan çalışmaktadır. Kazana besleme suyu ekonomizörünü geri takmanın yıllık maliyet tasarrufunu tahmin ediniz.

Doğal gazın HHV değeri = 54.220 kJ/kg (40.144 kJ/m³)

Yakıt besleme debisi = 1.693 m³/h (28 m³/dk)

Yakıt maliyeti = 1,0 \$/m³

Baca sıcaklığı = 200°C

Baca gazı oksijeni = %5

Ortam hava sıcaklığı = 20°C

Baca gazı analizinde ihmal edilebilir yanıcı maddeler bulunmuştur.

Kazanın işletim maliyeti daha önceki bölümde şu şekilde hesaplanmıştır:

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 = 1.693 \text{ \$/saat}$$

$$K_{kazan} = 1.693 \times 1,0 \times 8.760 = 14.830.680 \text{ \$/yıl}$$

ABD EB SSAT Baca Kaybı Hesaplayıcıda hesaplanan, %5 baca gazı oksijeni, 200°C baca sıcaklığı ve 20°C ortam sıcaklığında mevcut baca kaybı %18,3'tür. Bu nedenle, mevcut kazan verimi, η_{mevcut} %81,7'dir.

Daha önceki çalışma (tasarım) şartlarına dayanarak, besleme suyu ekonomizörünün yerinde kalması durumunda baca sıcaklığının yaklaşık 160°C olacağı bilinmektedir. Baca Kaybı Hesaplayıcıyı kullanarak Şekil 5.8'de yeni baca kaybı %16,3 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, yeni kazan verimi η_{yeni} %83,7'dir.

Şekil 5.8. Örnek kazan – besleme suyu ekonomizörü ile baca kaybı hesaplaması

| Giriş Verisi | | |
|--|--------|--|
| Baca Gaz Sıcaklığı (°F) | 160 °C | Baca Sıcaklığı - Ortam Sıcaklığı = 140°C |
| Ortam Sıcaklığı (°F) | 20 °C | |
| Baca Gazı Oksijen İçeriği (%) | %5 | |
| Not: Baca gazı oksijen içeriği molar ya da volümetrik bazlıdır. | | |
| Sonuçlar | | |
| Varsayılan her yakıt türü için tahmin edilen kayıplar şu şekildedir: | | |
| Doğal Gaz | | %16,3 |

Besleme suyu ekonomizörü takılmasından sonra yakıt enerji maliyet tasarrufu şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\sigma_{FazlaHava} = K_{kazan} \left(1 - \frac{\eta_{mevcut}}{\eta_{yeni}} \right)$$

$$\sigma_{FazlaHava} = 14.830.680 \times \left(1 - \frac{81,7}{83,7} \right)$$

$$\sigma_{FazlaHava} \approx 354.375 \text{ \$/yıl}$$

5.5.3. Kazan ısı transfer yüzeylerinin temizlenmesi

Isı transfer yüzeyleri zamanla kirlenir. Isı transfer yüzeylerindeki kirlenme, yüksek baca çıkış sıcaklıklarına neden olan ilâve ısı transfer direncine yol açar. Önceki bölümlerde görüldüğü gibi, bu enerjinin önemli bir miktarı bacadan çıkan gazlarda kaldığından, kazan verimi daha düşük olur. Bu nedenle, periyodik olarak kazan ısı transfer yüzeylerini temizlemeyi amaçlayan bir kesirimci ve koruyucu bakım prosedürü olması gerekir.

Yanma tarafı ısı transfer kirlenmesi yakıta bağlıdır ve pek çok gaz ve temiz yanan yakıt için belki ihmal edilebilir bir değerdedir veya yoktur. Kazanda ağır sıvılar ve katı yakıtlar (kömür, odun, siyah likör, vs.) kullanıldığında, önemli miktarda kül ve karbon kurum, kazan borularında birikebilir. Bu durumun etkin bir kurum üfleme sistemi ile giderilmesi gerekir. Kurum üfleçleri, boruların üzerinde oluşan kurumu kırmak için yüksek basınçlı buhar veya basınçlı hava kullanan nozulları olan metal borulardır. Kurum üfleçleri olan endüstriyel kazanlar, kazan borularının farklı kesimlerinde (bölgeler) kurum üfleme için kurulmuş zamanlama bazlı periyodik ayara sahiptir. Sistemin düzgün çalıştığından emin olmak çok önemlidir. Yanma tarafı kirlenmesinin doğrudan göstergesi baca gazı egzoz sıcaklığındaki artış olacaktır ve bunu izlemek, kurum-üfleme sisteminin etkin performansı hakkında değerli bilgiler sağlayacaktır.

Su tarafı ısı transfer kirlenmesi, kazan suyu kimyası tarafından kontrol edilir ve kazan basıncının, besleme suyu kalitesinin ve blöf oranının doğrudan bir fonksiyonudur. Su tarafı kirlenmesi, boru yüzeylerinde ısı transfer direncini yükselten "pullanma"dır. Pullanma, kazan kapalı iken kimyasal ya da mekanik olarak temizlenmelidir. Pullanma boru duvar sıcaklıklarının artmasına ve sonunda kazan borularının delinmesine yol açar. Bu nedenle, su tarafı kirlenmesinin kazan operasyonlarının güvenilirliğinin yanı sıra genel kazan verimi üzerinde de doğrudan etkisi vardır. Yıllık olarak kazan çalışmasının durdurulduğu dönemde, pullanma için kazan boruları kontrollerini gerçekleştirmek ve periyodik olarak kazan borularındaki yeniden pullanmaları kontrol altında tutmak çok önemlidir.

Kazan ısı transfer yüzeylerinin temizliğinin kontrolü için Baca Kaybı Hesaplayıcı kullanarak enerji tasarrufu hesaplamaları yapılabilir.

5.5.4. Su arıtmanın iyileştirilmesi

Genellikle, besleme suyu kalitesi, en fazla takviye suyundan etkilenir. Kondens (yoğuşma suyu) genel olarak buhar sistemindeki en temiz sudur. Sisteme ilâve edilmeden önce takviye suyunun şartlandırılması gerekir. Takviye suyu arıtma sisteminin iyileştirilmesi, takviye suyunun da iyileştirilmesini sağlayabilir.

Kazan takviye suyu, güvenilir kazan işlemleri sağlamak için, su kimyası ihtiyaçlarına göre uygun şekilde iyileştirilmelidir. Blöf yönetimi iki faktöre bağlıdır: Kazan çalışma basıncı ve su arıt-

ma. Mevcut olan en yüksek kalitede takviye suyu, sağlanması gereken blöf miktarını azaltacaktır. Blöf miktarındaki azalma, blöf akışındaki kayıp ısıl enerjide orantılı bir azalmaya yol açar.

Bununla birlikte, bir demineralizasyon veya ters osmoz sistemi gibi ek altyapı ve sermaye yatırımı ihtiyacı gerektiriyorsa, su arıtmasını iyileştirmek için önemli bir maliyet söz konusu olabilir. Çoğu endüstriyel kazan sisteminde, kazan suyu kimyası korunmasından sorumlu olacak bir su kimyageri (veya bir yüklenici) olacaktır. Bu durumda tesis için gerekli su arıtmasının optimum kalitesinin ne olduğundan emin olmak için onlarla birlikte çalışmak en iyisidir. Su arıtma kalitesinde yaygın olarak yapılan iyileştirmeler, sodyum-çevriminin yumuşatılmasından demineralizasyonuna ya da ters osmoz şartlandırmasına kadar olan bir seri iyileştirmeyi içerir.

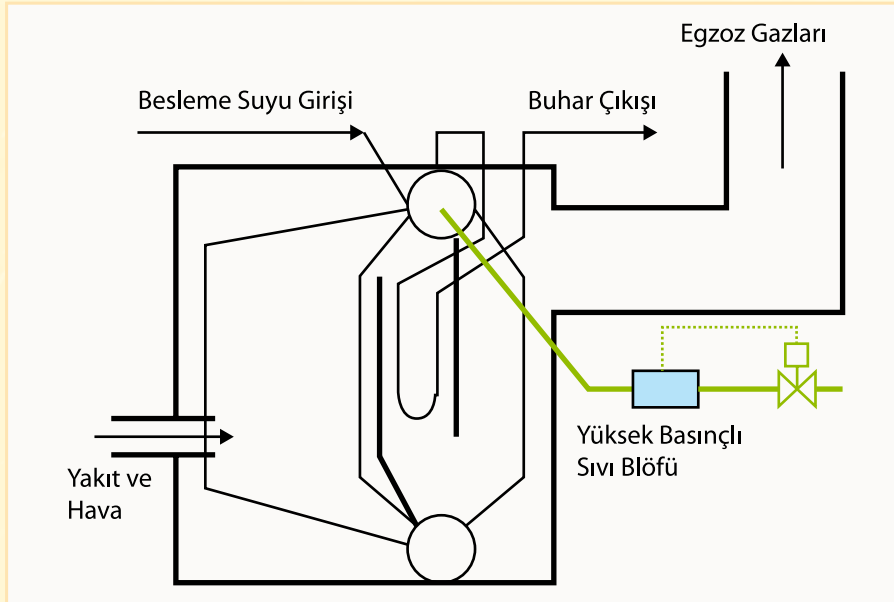
5.5.5. Otomatik blöf kontrolörü takılması

Endüstriyel kazan sistemlerinde iki tür blöf vardır: Yüzey blöfü ve dip (çamur tamburu) blöfü. Yüzey blöfü aralıklı veya sürekli olabilir. Dip blöfü, daima aralıktır ve ağır yerleşik kirleri çıkarmak için vardiyada bir defa yapılır. Bu optimizasyon fırsatı, sadece yüzey blöfü için ve özellikle de elle kontrol edilen blöf için geçerlidir. Kazan yükleri zamanla değişir ve ideal olarak blöf debisini, uygun kazan suyu kimyasını korumak için buna göre değiştirmek gerekir. Çoğu kez kazan suyu için kontrol aralığı (genellikle iletkenlik veya toplam çözünmüş katı madde [TDS]) su kimyageri tarafından ayarlanacaktır ve kazan operatörleri kazan suyu kontrol parametrelerinin istenen aralıkta olduğundan emin olmak için periyodik olarak su örneği alacaktır.

Çoğu durumda, el ile blöf kontrolü fazla blöfe yol açar ve bu büyük bir enerji israfıdır. Ama bazen el ile blöf de yeterli olmayabilir ve güvenilir kazan operasyonları ile ilgili sorunlara yol açan kazan suyu kimyasının kontrolünde zayıflıklara neden olabilir. Otomatik kazan blöf kontrolörü takılması, gereksiz enerji kayıplarını azaltır. Bu sayede, güvenilir kazan işlemleri için gerekli olan minimum ve tam miktarda blöf yapılır. Otomatik kazan blöf kontrolörü, kazan suyu iletkenliğini gerçek zamanlı ve sürekli olarak takip eder ve gerekli blöfü korumak için bir modülasyonlu veya on/off (aç/kapa) vanayı kontrol eder. Bu durum aşağıda, Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Şekil 5.9. Otomatik kazan blöf kontrolörü

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Otomatik kazan blöf kontrolörü takarak (ve/veya su arıtması iyileştirilerek) elde edilen birincil enerji ve maliyet tasarrufu şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q_{bd_tasarrufu} = (m_{blöf_mevcut} - m_{blöf_yeni}) \times (h_{blöf} - h_{ilavesu})$$

$$K_{bd_tasarruf} = \left(\frac{Q_{bd_tasarruf}}{\eta_{kazan} \times HHV_{yakıt}} \right) \times k_{yakıt} \times T$$

Burada $m_{blöf_mevcut}$ ve $m_{blöf_yeni}$ buhar debileri ve blöf oranlarından hesaplanabilir. T değeri tasarrufun hesaplandığı çalışma saati süresidir. Daha ayrıntılı bir analiz için ABD EB SSAT sistem tipi modeli gerekebilir.

5.5.6. Kazan blöfünden enerji geri kazanımı

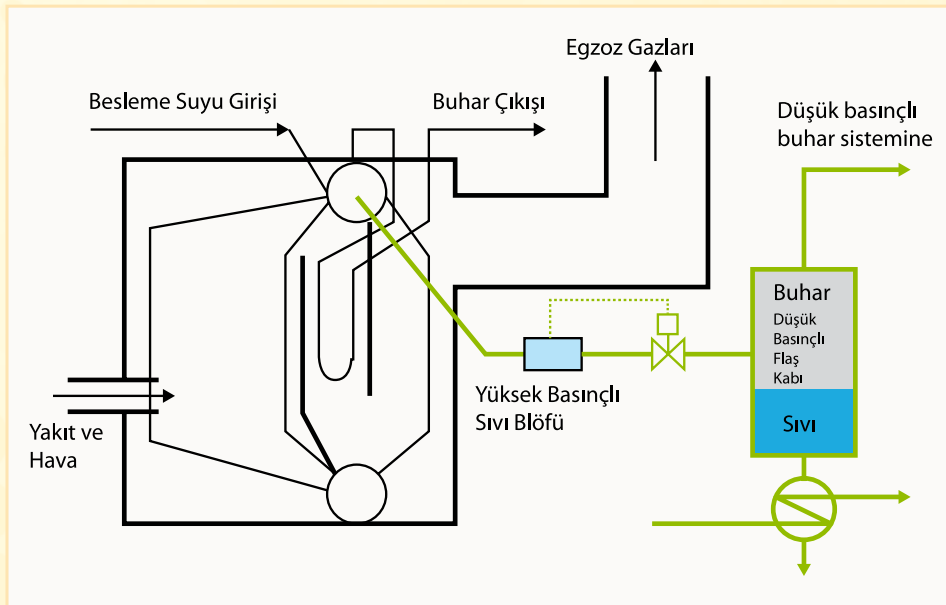
Blöf ısı enerjisi geri kazanımının iki biçimi vardır ve bu iki metodolojinin bir kombinasyonu kullanılarak kazan blöfünde kaybedilen enerjinin neredeyse tümü geri kazanılabilir:

- Flaş buhar geri kazanımı
- Takviye suyu ön ısıtma

Yüksek basınçlı blöf akışı, önce düşük basınçta (genellikle degazör basıncının biraz üzerinde) çalışan bir basınç kabı (flaş tankı) içerisine aniden buharlaşır. Blöf sıvısının bir kısmı, düşük basınçta aniden buhara (flaş buhar) dönüşür. Bu flaş buhar temizdir ve düşük basınçlı buhar kolektörünü besleyebilir veya besleme suyu ısıtma sistemine veya degazöre buhar sağlayabilir. Flaş kabı içinde kalan sıvı, doyma sıcaklığındadır (>100°C) ve hâlâ takviye suyu eşanjöründe, takviye suyunun ön-ısıtılması için kullanılabilir. Blöf suyu, sonuç olarak, takviye suyu (ya da ortam) sıcaklığına çok yakın bir sıcaklıkta sistemden boşaltılır. Blöf kaybı, sağlam bir ekipman ile, çok basit olarak fiilen ortadan kaldırılabilir. Şekil 5.10'da blöf enerji geri kazanım sisteminin şeması gösterilmiştir.

Şekil 5.10. Blöf enerjisi geri kazanımı

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamaları Son Kullanıcı Eğitim Programı)



Flaş buhar geri kazanımı ve takviye suyu ön ısıtması ile olası enerji ve maliyet tasarrufları, daha önce "Blöf Kaybı" bölümünde, genel sistem etkisi olarak hesaplanmıştır. Bu bölümde el hesaplamaları sunulmasına rağmen, genellikle enerji tasarrufunu doğru şekilde tahmin etmek için ABD EB SSAT gibi ayrıntılı bir buhar sistemi modeli gereklidir.

Bir ekipman olarak bakıldığında, flaş tankı çok basit bir birimdir ve çok ucuz olarak temin edilebilir. Bununla birlikte, eşanjör dikkatle seçilmelidir. Burada seçilen eşanjör temizlenebilmelidir, çünkü blöf akışı ısı değişim yüzeyini kirlitebilir. Bu uygulamada, iki tip eşanjör iyi şekilde çalışır:

- Boru tarafında blöflü, gövde-borulu düz boru eşanjör
- Plakalı eşanjör

5.5.7. Kazan refrakterinin eklenmesi/yenilenmesi

Kazan yalıtımı ve refrakter, tesis personelini güvenli tutmayı ve aynı zamanda ısınım ve taşıyım yoluyla kabuk kayıplarını azaltmayı amaçlamaktadır. Ortam koşulları veya işletim esnasında hasar nedeniyle, dış yüzeyler için periyodik onarım gerekebilir. Buna ek olarak, yıllık kontroller sırasında, refrakter, arızalar ya da çatlaklar ve kırıklar için kontrol edilmelidir. Isıl döngü veya sıcak malzemenin doğrudan darbe alması, refrakterde bir kırılmaya yol açmış olabilir. Bu fırsat, güvenilir buhar sistemi işlemleri için kestirimci ve önleyici bakım en iyi uygulamaları altında yer alır. Tesis personelinin termal kamera kullanması, sıcak noktaları (sıcaklıklar > 70°C) araması ve herhangi bir onarım gerekli olup olmadığını görmek için zaman zaman bu görüntüleri karşılaştırması gerekir.

5.5.8. Çalışan kazan sayısının minimize edilmesi

Kabuk kayıpları diğer endüstriyel kazan kayıpları ile karşılaştırıldığında (miktar olarak) genellikle küçüktür. Çalışan birden fazla kazan olduğunda, kayıplar önemli derecede artabilir. Bazı kazan(lar) sadece "sıcak hazırda bekleme modunda" olduğunda bile bu kayıplar fazla olabilir. Genellikle, çoğu endüstriyel tesis, en az bir "n+1" yedekle, tesis toplam buhar ihtiyacını karşılamak için gerekli olandan en az bir tane daha fazla buhar üreten kazanla (veya sıcak hazırda bekleme modunda) çalışır. Bu, esas olarak, operasyonların güvenilirliğini artırmak ve üretimin herhangi bir kazan yer değişimi ya da uygunsuz koşullardan etkilenmemesini sağlamak için yapılır.

Genellikle, tesisdeki buhar sistemi tasarruf fırsatları ve optimizasyonu, çalışan bir kazanın kapanmasına neden olmayabilir. Bu fırsat buhar talebinde değişiklik olduğu her durumda araştırılmalıdır. Bir endüstriyel tesisin faaliyet gösteren kazanların sayısına etki eden üretim döngüleri, mevsimsellik, hafta sonu/hafta içi ve tatil işlemleri, gündüz/gece çalışmalarına dayalı fırsatları olabilir. Çoğu zaman bu fırsat, bir kazanın on/off dönüşlerinin karmaşıklığı ve gerekli devreye alma süresi nedeniyle ihmal edilmektedir. Bu durum, büyük katı yakıtlı kazanlar için sorun olabilir. Özellikle, doğal gaz, metan gazı, vb. ile çalışan daha küçük kazanlar, hızlı devreye almaya çok daha yatkın olmalıdır.

Bunu potansiyel bir optimizasyon stratejisi olarak analiz ederken, sonlu bir zaman dönemi için, buhar üretiminde belirli bir düşüşe neden olacak şekilde, üretim tarafında meydana gelebilecek her türlü ana problemi belirlemek için, kapsamlı bir risk analizi yapılmalıdır. Bu risk analizi, ayrıca, ürüne ve muhtemel düzeltme stratejilerine göre potansiyel parasal zararı da ortaya çıkarır. Buna ek olarak, bu optimizasyon stratejisi uygulanırken ilâve kontrollerin veya uyarı enstrümanlarının (alarmlar, sıcaklık sinyalleri, basınç sinyalleri) maliyeti de göz önüne alınmalıdır.

5.5.9. Yakıt değişikliğinin araştırılması

Yakıt seçimi, enerji maliyetleri ve kazan verimindeki farklılıklar nedeniyle işletme maliyetlerinde önemli azalmalar sağlayabilir. Yakıt değiştirirken yakıt verimi genellikle etkin bir faktör olacaktır. Bazen enerji maliyetleri ve bakım maliyeti dengelenmez; fakat optimize fırsat için ilâve gerekli özen gösterildiği sürece, bu durum çok belirli olmayacaktır. Buna ek olarak, çevre sorunları, yakıt seçimi ile ilgili önemli bir husus haline gelebilir. Her uygulama bağımsız bir değerlendirme gerektirir. Yakıt değişikliği mutlaka "bütünüyle" yakıtların değişimi anlamına gelmez. Endüstriyel buhar üretim tesislerinde birden fazla faaliyet gösteren kazan ve yakıt değişikliği şöyle olabilir:

- Belirli bir yakıt ile çalışan bir kazanının kapatılması,
- Yakıt 1 ile çalışan Kazan A'nın buhar çıkışının azaltılması ve buna karşılık Yakıt 2 ile çalışan Kazan B'nin çıkışının artırılması,
- Çift veya çoklu yakıt ateşlemeli herhangi bir kazanın ve kazanda yakılan yakıtların oranlarının değiştirilmesi.

Yakıt değişimi maliyet tasarrufu aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\sigma_{Yakıtdeğişimi_tasarrufu} = \text{Mevcut İşletme Maliyeti} - \text{Yeni İşletme Gideri}$$

$$\sigma_{Yakıtdeğişimi_tasarrufu} = m_{buhar} (h_{buhar} - h_{beslemesuyu}) \left(\frac{k_{yakıt_1}}{\eta_{kazan_1}} - \frac{k_{yakıt_2}}{\eta_{kazan_2}} \right) \times T$$

Burada $k_{yakıt_1}$ ve η_{kazan_1} sırasıyla mevcut yakıt maliyeti ve kazan verimidir, $k_{yakıt_2}$ ve η_{kazan_2} sırasıyla yeni yakıt maliyeti ve kazan verimidir. Değişen buhar kütleli debisi m_{buhar} ve T değeri de değişen yakıt için değerlendirilen zaman süresidir.

Örnek:

1 T/h buhar üreten doğal gazlı kazan ($k_{yakıt_1} = \text{GJ başına } 25\$$; $\eta_{kazan_1} = \%80$), ağır yağ (fuel-oil) yakıtlı (HFO) kazana ($k_{yakıt_2} = \text{GJ başına } 18 \$$; $\eta_{kazan_2} = \%84$) dönüştürüldüğünde, ortaya çıkan yakıt değişim fırsatı kaynaklı yıllık enerji maliyet tasarrufunu tahmin ediniz. Buhar ve besleme suyu entalpileri daha önceden elde edilmiş olup şu şekildedir:

$$h_{buhar} = 3.181 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{beslemesuyu} = 463,5 \text{ kJ/kg}$$

Yakıt değişimi yıllık enerji tasarrufu şu şekilde hesaplanabilir:

$$\sigma_{Yakıtdeğişimi_tasarrufu} = m_{buhar} (h_{buhar} - h_{beslemesuyu}) \left(\frac{k_{yakıt_1}}{\eta_{kazan_1}} - \frac{k_{yakıt_2}}{\eta_{kazan_2}} \right) \times T$$

$$\sigma_{Yakıtdeğişimi_tasarrufu} = 1.000 \times (3.181 - 463,5) \left(\frac{25}{0,80} - \frac{18}{0,84} \right) \times \frac{1}{10^6} \times 8.760$$

$$\sigma_{Yakıtdeğişimi_tasarrufu} \approx 234.000 \text{ \$/yıl}$$

5.5.10. Degazör işlemlerinin optimize edilmesi

Degazör (hava alıcı) bir endüstriyel buhar sisteminde birçok fonksiyonu yerine getirmektedir:

- Besleme suyundan (en önemli fonksiyon) çözünmüş oksijenin giderilmesi ya da ortadan kaldırılması,
- Takviye suyunun ön ısıtılması,

- Geri dönüş kondensinin takviye suyu ile karıştırıldığı bir tank görevi ifa etmesi,
- Besleme suyu için depolama tankı olarak hizmet etmesi ve pompaya kazan besleme suyu tedarik etmesi.

Degazör sabit bir basınçta çalışmaktadır. Bu basınç, degazör tasarımı yapılırken belirlenir. Degazörün başlıca fonksiyonu -çözünmüş oksijenin sudan uzaklaştırılması- ayırma işlemidir. Ayırma işlemi buhar tarafından yapılır. Buna ek olarak, buhar, çözünmüş sudaki oksijenin çözünürlüğünü azaltacak şekilde takviye suyuna ön ısıtma sağlar ve sonra ayırma işlemini meydana getirir. Degazör taze buharın doğrudan enjeksiyonuna ihtiyaç duyar. Kullanılan buharın miktarı şunlara bağlıdır:

- Degazör basıncı
- Geri dönen kondensin ve takviye suyunun miktarı
- Geri dönen kondensin sıcaklığı
- Takviye suyunun sıcaklığı
- Degazörün boşaltma hızı

Degazör basıncı arttığında, daha fazla buhar gerekir ve ayrıca boşaltılan buharın (deliklerden) miktarı da artar. Bununla birlikte, eğer yüksek sıcaklıklı kondens geri dönüş yaparsa ya da takviye suyuna ön ısıtma sağlayan atık ısı geri kazanımı uygulaması varsa, degazörü yüksek basınçta çalıştırmak daha faydalı olabilir. Yüksek basınçta çalışma, aynı buhar yükü için daha küçük boyutta degazör gerektirecektir. Endüstriyel tesislerde proseslerin zaman içinde değiştiği veya iyileştirildiği birçok örnek vardır. Bu durum, geri dönüşteki kondens miktarını, kondens sıcaklığını ve takviye suyu ön ısıtmasını değiştirebilir. Bu nedenle, degazör işlemlerini değerlendirmek, degazörün mümkün olan en düşük basınçta çalıştığından ve mümkün olan en yüksek verimlilik ile suda çözünmüş oksijeni ve diğer gazları giderdiğinden emin olmak çok önemlidir.

Ayrıca, degazör basıncının azaltılması, besleme suyu ekonomizörü besleme suyu giriş sıcaklığını düşürür ve bu olay, yüksek kazan verimine neden olabilecek baca gazı sıcaklığının düşürülmesine yardımcı olabilir. Besleme suyu sıcaklığının düşürülmesinin, baca gazı sıcaklığını, asit çığ noktasının altına düşürmemesi için önlem alınmalıdır.

Bu fırsat için enerji ve maliyet tasarrufunun hesaplanması, ABD EB SSAT benzeri ayrıntılı bir sistem modeli gerektirir.



Bölüm 6

Buhar Dağıtım Optimizasyon Fırsatları

Bu bölümde, buhar dağıtım bölgesi ve optimizasyon fırsatları ile bir endüstriyel buhar sistemindeki en iyi uygulamalara odaklanılmıştır.

6.1. Genel

Üretim alanından son kullanım alanına buhar taşımak için nakil boru hattı olarak hizmet verdiğinden, buhar dağıtım bölgesi çok önemlidir. Bazı endüstriyel buhar sistemleri çok küçüktür ve bu tesislerde buhar dağıtım ağı olmayabilir. Ancak çoğu endüstriyel tesiste, buhar, geniş bir dağıtım kollektörü üzerinden dağıtılmaktadır. Buhar, yüksek basınç altında üretilir ve daha sonra buhar kollektörlerini beslemek üzere basıncı düşürülebilir. Alternatif olarak, bazı durumlarda sadece tek bir basınç kollektörü olabilir ve buhar basıncı her bir kullanım noktasında azaltılır. Buharın kollektörlere dağıtılması için herhangi bir mekanik cihaza (kompresör, pompa, vs.) ihtiyaç olmadığına dikkat edilmelidir. Buhar basıncı, her nerede gerekiyorsa, buharı dağıtmak için itici güç olarak işlev görür.

Bir buhar dağıtım sisteminin ana bileşenleri şunlardır:

- Buhar boru tesisatı ve bağlantı elemanları
- Basınç düşürme istasyonları
- Vanalar
- Yalıtım
- Emniyet vanaları
- Kondens kapanları
- Ölçüm cihazları (basınç, sıcaklık, debi)

Bir proses açısından bakıldığında, prosesin gerekli olan buharı doğru miktarda aldığından emin olmak son derece önemlidir; ama aynı zamanda, buharın prosesin gerektirdiği şekilde sıcaklık ve basınç özelliklerine de sahip olması gerekir. Bu proses ihtiyaçları ve kullanım alanları zamanla değişebilir, ancak dağıtım sistemi değişmeden kalabilir. Bu nedenle, dağıtım sistemine odaklanmak, onu değerlendirmek ve sürekli olarak optimize etmek önemlidir. Bu da güvenilir sistem operasyonlarının anahtarıdır. Üretim alanı optimize edilse ve prosesin gerektirdiği buhar üretilse bile, dağıtım sistemindeki sorunlar nedeniyle proses alanları için aşağıdaki gibi birçok problem ortaya çıkabilir:

- Son kullanıcı yakınındaki kollektörde buhar basıncının düşük olması,
- Son kullanıcı için kollektördeki buhar miktarının yetersizliği,
- Buhar kalitesi sorunları (prosese giren ıslak buhar),
- Kollektörlerdeki su koçu.

Buhar dağıtım sisteminin sürekli olarak değerlendirilmesindeki amaç, güvenilir işlemler (son kullanımda) için sistemin optimizasyonuna dikkat etmek ve tüm buhar sisteminin optimize edilmesi için enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemektir.

6.2. Buhar Dağıtım Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamalar

Endüstriyel bir tesiste, buhar dağıtım sistemini optimize etmek için birçok farklı alana odaklanılabilir. Bu alanlar, enerji yönetimi alanında temel teşkil eder ve tasarruf imkânları tespit edildiğinde, genellikle, ilgi çekici ekonomik sonuçlar doğurur. Bu alanlar, aynı zamanda herhangi bir buhar sisteminin sürekli verimli ve güvenilir çalışması için gereklidir.

Buhar dağıtım bölgesinde çeşitli optimizasyon imkânları vardır:

- Buhar kaçaklarının giderilmesi,
- Dışarı kaçan buharın minimize edilmesi,
- Buhar sistemi boru tesisatının, vanalarının, bağlantı elemanlarının ve hatlarının iyi şekilde yalıtılması,
- Kullanılmayan hatlardan buharın izole edilmesi,
- Basınç indirgeme istasyonlarında akışların minimize edilmesi,
- Kollektörlerdeki basınç düşüşünün azaltılması,
- Buhar kollektörlerinden kondensin boşaltılması.

6.2.1. Buhar kaçaklarının giderilmesi

Buhar, oldukça pahalı bir yardımcı hizmettir; kaçaklar nedeniyle sistemden buhar kaybedilmesi önemli ekonomik zararlara yol açabilir. Buhar kaçakları her yerde gerçekleşir ama en yaygın yerler şöyledir:

- Flanşlar ve contalı bağlantılar
- Boru bağlantı elemanları
- Vanalar, gövde ve contalar
- Buhar kapanları
- Emniyet vanaları
- Boru arızaları

Boru arızalarından kaynaklanan buhar kaçakları, bir sanayi tesisinde buhar kaybının ana sebebi olabilir. Bununla birlikte, özellikle tesis personelinin sıklıkla yakınında olduğu alanlarda ise, buhar kaçakları genellikle bir "güvenlik sorunu" olarak ortaya çıkar. Boru demetlerinde olduğu gibi ulaşamayacak kadar uzak yerlerde meydana gelen buhar kaçakları fark edilmez ve devamlı olabilir.

Buhar kapağı arızaları da, bir sanayi tesisinde, kaçakların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Nitekim, bu konu, ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır. Genellikle, buhar kapağı arızalarını gözlemlemek, özellikle de kapalı kondens sistemlerinde boru arızalarını gözlemlemekten daha zordur.

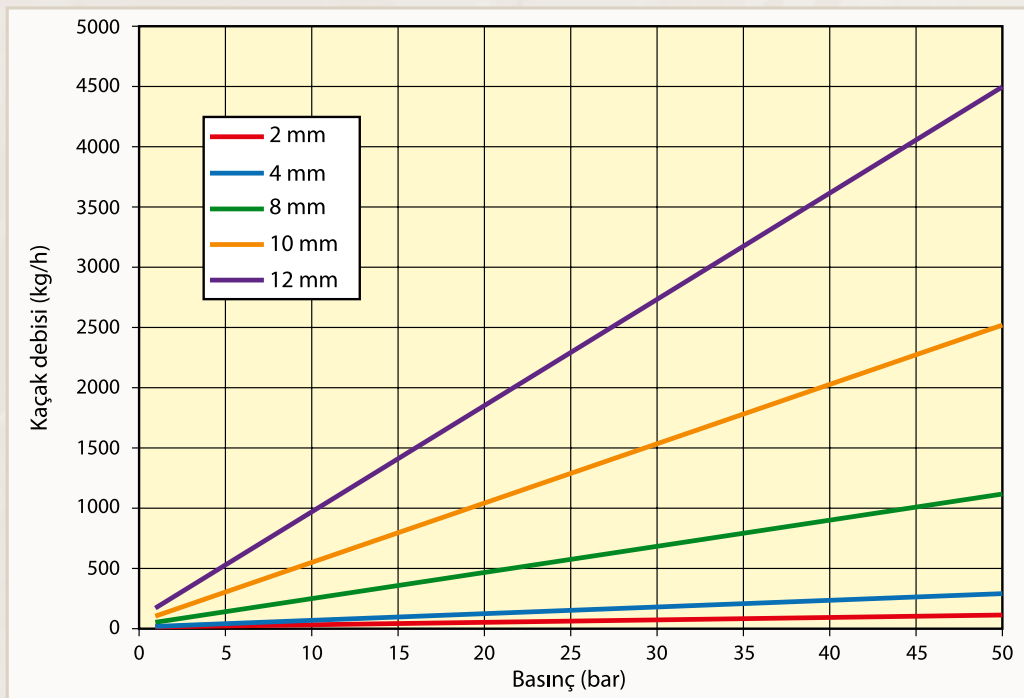
Buhar sisteminin verimli çalışması için, buhar kaçaklarını bulmaya ve ortadan kaldırmaya dayalı sürekli bir bakım programı gereklidir. Çoğu kez, bu tür bakım programları, kendi maliyet etkinlikleri ve operasyonlara genel etkileri açısından endüstriyel tesiste sorgulanır. Ancak, her halükârda, buhar kaçakları yönetim programına sahip olmanın, hem ekonomiklik açısından hem de operasyonları güvenilir kılmak açısından sanayi tesisi için çok yararlı olduğu gözlenmiştir.

Genellikle, uygun bir prosedür takip edilmediği sürece, kaçak yoluyla oluşan buhar kaybı büyüklüğünü belirlemek zordur. Buna rağmen, buhar kaçağı büyüklük sıralaması, onarım stratejisini planlamak için gereklidir. Bunlarla sınırlı olmasa da, çeşitli teorik ve ampirik yöntemler brüt buhar kaybını tahmin etmek için geliştirilmiştir:

- ABD EB SSAT modeli
- Bulut (Plume) yükseklik ölçümü
- "Napier tıkanık akış" denklemi
- Sahada Pitot tüpü ölçümü
- Üretici protokollerine sahip ultrasonik teknikler
- Termodinamik kütle ve enerji dengesi metodolojileri

Şekil 6.1, belirli bir çalışma basıncı ve orifis boyutu için, keskin kenarlı bir orifisten geçen doymuş buharın yaklaşık kaçak debisini göstermektedir.

Şekil 6.1. Bir orifisten buhar kaçak debisi



Şekil 6.1, Napier tıkanık akış denkleminde elde edilmiştir. Bu denklem şu şekildedir:

$$m_{\text{buhar}} = 0,695 \times A_{\text{orifis}} \times P_{\text{buhar}}$$

Burada, m_{buhar} buhar kaçak debisi (kg/h), A_{orifis} buharın kaçtığı orifisin alanı (mm^2 olarak) ve P_{buhar} kollektör basıncıdır (mutlak bar). Ayrıca, bu ilişkinin, ancak çıkış basıncı kollektör basıncından 0,51 kat daha az olduğunda, tıkanık akış koşullarında geçerli olduğunu da unutmamak gereklidir.

Örnek:

2 barlık kollektörde yaklaşık 4 mm çaplı orifisten bir buhar kaçağı olduğu tespit edilmiştir. Buhar kaçağının debisini ve bu buhar kaçağının giderilmesi ile yıllık ne kadar enerji tasarruf edileceğini hesaplayınız. "Üretim" alanında hesaplanan buhar maliyeti, buharın tonu başına 91,67 \$'dır. Bu buhar kaçağının tüm yıl boyunca (8.760 saat) faaliyet gösteren buhar kollektöründe bulunduğunu varsayınız.

Verilen bu bilgilerden:

$$A_{\text{orifis}} = \frac{\pi}{4} d_{\text{orifis}}^2 = \frac{\pi}{4} \times (4,0)^2 = 12,56 \text{ mm}^2$$

$$P_{\text{buhar}} = 2 + 1,013 = 3,013 \text{ bar (mutlak)}$$

"Napier tıkanık akış" denkleminde:

$$m_{\text{buhar}} = 0,695 \times A_{\text{orifis}} \times P_{\text{buhar}}$$

$$m_{\text{buhar}} = 0,695 \times 12,56 \times 3,013$$

$$m_{\text{buhar}} \approx 26,2 \text{ kg / saat}$$

Buhar kaçağı debisi tahmini 26,2 kg/saat'tir ve bu buhar kaçağının tamiri ile ilişkili yıllık enerji maliyet tasarrufu da aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{\text{buharkaçağı}} = m_{\text{buhar}} \times k_{\text{buhar}} \times T$$

$$\sigma_{\text{buharkaçağı}} = 26,2 \times \frac{91,67}{1.000} \times 8.760$$

$$\sigma_{\text{buharkaçağı}} \approx 21.000 \text{ \$/yıl}$$

Buhar kaçakları zamanla ortaya çıkar. Buhar kaçaklarını bir kez gidermenin ve daha sonra onları unutmamanın bir dağıtım sistemini optimize etmek için çözüm olmadığını anlamak önemlidir. Bunun yerine, sürekli izleme ve periyodik onarımları içeren bir buhar kaçakları yönetim programına sahip olmak, dağıtım sistemlerini optimize etmenin en etkili yoludur.

6.2.2. Dışarı atılan buharın minimize edilmesi

Buharın dışarı atılması, buhar kaçakları ile karıştırılmamalıdır. Buharın dışarı atılması, emniyet tahliye vanalarının veya diğer basınç kontrol cihazlarının buhar kollektöründen ortama buhar boşaltması sırasında olur. Bu durum, genellikle, son kullanım proseslerinde ihtiyaç duyulandan daha fazla buhar üretildiği zaman, kollektörlerde ortaya çıkan buhar dengesizliği nedeniyle meydana gelir. Böyle durumlarda yakıtın tipine bağlı olarak enerji ve maliyet tasarrufu potansiyeli çok önemli düzeylerde olabilir. Buhar kollektöründeki basınç sınırlarına ulaşıldığında, buharın dışarı atılması, çoğunlukla otomatik olarak gerçekleşir. Bazen buharın dışarı atılması, proses tarafındaki bozulma ya da ayar şartları yüzünden gerekebilir; bu durumda "delik" veya "atmosfer vanası (nefeslik)" manuel yolla açılarak dışarı atılma gerçekleştirilir.

Buhar türbinlerine sahip endüstriyel birleşik ısı ve güç (CHP-*combined heat and power*) tesislerinde, özellikle sadece proses yüklerini sağlayan veya sabit güç üretimi (veya buhar akışı) koşulları altında çalışan karşı basınçlı buhar türbinleri varsa, diğer tesislere göre buharın daha sık dışarı atıldığını görmek mümkündür. Yoğuşmalı türbin(ler) için maksimum çalışma kapasitesi limitlerine ulaşılmadıkça, yoğuşmalı türbinlere sahip endüstriyel tesislerde hemen hemen hiçbir zaman buhar dışarı atılmaz. Birçok durumda, dışarı atılan buharın gerçek değerini belirlemek için, marjinal yakıt ve elektrik maliyetlerine dayalı olarak bir ekonomik analiz yapılmalıdır. Çoğu kez, buharın dışarı atılmasının CHP birimleri için ekonomik olmadığı tespit edilir. Ancak, güç üretiminin dışarı atılan buharın marjinal maliyetinden daha yararlı olduğu tepe/puant talep zamanları gibi durumlar da olabilir. Bu konu hakkında daha ayrıntılı bilgi 9'uncu bölümde sunulmuştur.

Buharın dışarı atılmasının minimize edilmesinde (veya ortadan kaldırılmasında) kullanılan enerji ve maliyet fayda hesaplamaları, "Buhar kaçakları" bölümünde belirtilen yöntemlerle aynıdır; bu yüzden, hesaplamalar burada tekrar edilmeyecektir.

6.2.3. Buhar boru tesisatı, vanalar, bağlantı elemanları ve kazanların (basınçlı kaplar) yalıtılması

Yalıtım, sürekli bakımın konusuna giren diğer bir alandır ve tüm sanayi tesislerinde periyodik olarak değerlendirilmesi gereken bir husustur. Yalıtım "buhar dağıtımı" alanında tartışılıyor olsa da, bu konunun tüm buhar alanlarında etkileri olduğuna dikkat edilmelidir. Konunun bu bölümde tartışılmasının ana nedeni, yalıtımın "dağıtım alanında" en büyük etkiye sahip olmasındandır.

Yalıtım, aşağıdaki nedenlerden dolayı buhar sistemlerinde son derece önemlidir:

- Tesis personelinin güvenliği,
- Enerji kayıplarının minimize edilmesi,
- Süreçte son kullanım ihtiyacı için buhar koşullarının korunması,
- Ortam koşullarında donanımların, boruların vb. korunması,
- Genel sistem bütünlüğünün korunması.

Hasarlı veya eksik yalıtımın birkaç nedeni vardır. Bunlardan bazıları şöyledir:

- Bakım faaliyetleri nedeniyle yalıtımın eksik olması,
- Kötü kullanım nedeniyle kayıp/hasarlı yalıtım olması,
- Kazalar nedeniyle hasarlı yalıtım olması,
- Ortam koşulları nedeniyle yalıtımın aşınması ve yırtılması,
- Tasarımında hiçbir yalıtım öngörülmediği için vanalar ve diğer bileşenlerin yalıtımsız olması.

Eksik veya hasarlı yalıtımın en yaygın bulunduğu alanlar şunlardır:

- Buhar dağıtım kolektörleri
- Vanalar
- Muayene bölgeleri
- Son kullanım ekipmanı
- Depolama tankları ve kazanlar (basınçlı kaplar)
- Kondens geri dönüş hatları

Enerji kaybı miktarının birinci mertebeden belirlenmesi ve buhar sisteminde yalıtılmamış (ya da kötü yalıtılmış) alanlardan maliyet tasarrufu, bir yalıtım projesinin yürütülmesi ihtiyacını belirlemek için temel teşkil eder. Yalıtımsız ya da kötü yalıtılmış alanlarda kaybolan enerji miktarını etkileyen temel faktörler şunlardır:

- Proses akışkan sıcaklığı
- Ortam sıcaklığı
- Ortam şartlarına maruz kalan yüzey alanı
- Rüzgâr hızı
- Çalışma saatleri
- Boru (veya ekipman) malzemesi ısı iletkenliği
- Yalıtım malzemesi (eğer varsa) ısı transfer direnci

Birinci merteye bir ısı transfer modeli geliştirilebilir ve bu model, yalıtımsız ya da kötü yalıtılmış tüm alanlardan olan taşınım ve ışıma ısı transferi enerji kayıplarını belirlemek için kullanılabilir. Bununla birlikte, bu durum hem kullanışsız olabilir hem de geometriye ve taşınım ısı transferi modlarına göre -doğal veya cebri- değişen ısı transfer korelasyonları gerektirir. Belirtilen zorluklara rağmen, enerji ve maliyet tasarrufu sağlanabilecek ekonomik yalıtım kalınlığının saptanması için bir analiz yapılmalıdır. Yalıtım projelerinin değerlendirilmesinde, yardımcı olmak için, birçok ampirik ve bilgisayar destekli araç kullanılabilir. Bu araçlara örnek olarak, Kuzey Amerika Yalıtım İmalatçıları Birliği (NAIMA) tarafından geliştirilen 3EPlus® yalıtım değerlendirme yazılımı verilebilir.

3EPlus® Yalıtım Kalınlığı Bilgisayar Programı, enerji ve maliyet tasarrufunun yanı sıra ekonomik yalıtım kalınlığının belirlenmesi görevini kolaylaştırmak için kullanılan bir endüstriyel enerji yönetim aracıdır. Ekonomik yalıtım kalınlığı, sistem için en düşük ömür maliyeti sağlayan yalıtım miktarının belirlenmesi anlamına gelir.

3EPlus® programına, ısı özellikleri de dâhil olmak üzere, yaklaşık 30 yalıtım malzemesi önceden yüklenmiştir. Ayrıca pek çok farklı malzemeler ve vana ceketleri de (farklı emisiviteleri olan), çekme menülerle kullanılabilecek şekilde, kullanıcıya kendi uygulamaları için özel malzeme seçebilmesi için yazılıma dâhil edilmiştir. Son olarak, yazılımda farklı geometriler ve uygulamalar da modellenabilmektedir. Bu yazılım aracının yetenekleri aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

Örnek:

10 barlık buhar kollektörünün 10 m uzunluğundaki bir bölümünün yalıtımsız olduğu görülmektedir. Kollektör 10 inç (25,4 cm) nominal çapa sahiptir ve buhar sıcaklığı yaklaşık 362°C'dir. Bu buhar kollektörüne yalıtım yapmanın ekonomik etkisini tahmin ediniz.

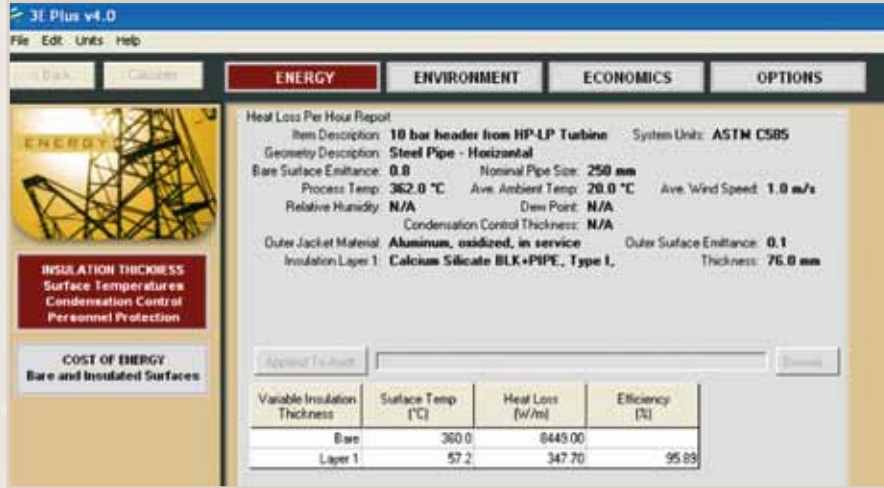
Şekil 6.2'de, bu yalıtımsız dağıtım hattında meydana gelen enerji kaybını hesaplamak için giriş ekranı, Şekil 6.3'te ise, 3EPlus® sonuçlar ekranında "saat başına ısı kaybı" gösterilmektedir.

Şekil 6.2. 3EPlus® giriş ekranı

The screenshot shows the 3E Plus v4.0 software interface. The main window is titled "3E Plus v4.0" and has a menu bar with "File", "Edit", "Units", and "Help". Below the menu bar are four tabs: "ENERGY", "ENVIRONMENT", "ECONOMICS", and "OPTIONS". The "ENERGY" tab is selected. The interface is divided into several sections:

- ENERGY**: A sidebar on the left with a yellow background and a red button labeled "INSULATION THICKNESS Surface Temperature, Condensation Control, Personnel Protection". Below it is another red button labeled "COST OF ENERGY Bare and Insulated Surfaces".
- Insulation Thickness**: A section with a yellow background containing input fields for "Item Description" (10 bar header box HP-LP Turbine), "System Application" (Pipe - Horizontal), and "System Units" (ASTM C585). Below this is a "Calculation Type" dropdown menu set to "Heat Loss Per Hour".
- Process Temp.**: 362 °C
- Ambient Temp.**: 30 °C
- NPS Pipe Size**: 250
- Wind Speed**: 1.0 m/s
- Insulation Layers**: A table with columns for "Type", "Name", "Lock Thickness", and "Thickness, mm". The table contains three rows: "Base Metal" (Steel), "Insulation" (Calcium Silicate BLK-PIPE, Type I, C533-07), and "Jacket Material" (0.1 Aluminum, oxidized, in service).

Şekil 6.3. 3EPlus@ sonuçlar ekranı



Enerji tasarrufu şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q_{\text{kazanilan_yalitim}} = (\text{Isıkaybı}_{\text{çıplak}} - \text{Isıkaybı}_{\text{yalıtlı}}) \times \text{Uzunluk}$$

$$Q_{\text{kazanilan_yalitim}} = (8.449 - 347,7) \times 10 = 81,0 \text{ kW}$$

Burada Isıkaybı_{çıplak} ve Isıkaybı_{yalıtlı} 3EPlus® programından elde edilen değerlerdir. Maliyet tasarrufu, yakıt maliyetine ($k_{\text{yakıt}}$), yakıt kazan verimine (η_{kazan}), yakıtın HHV değerine ($\text{HHV}_{\text{yakıt}}$) ve çalışma süresine (T) bağlı olarak şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{\text{yalitim}} = \frac{Q_{\text{kazanilan_yalitim}} \times k_{\text{yakıt}} \times T}{\eta_{\text{kazan}} \times \text{HHV}_{\text{yakıt}}}$$

$$\sigma_{\text{yalitim}} = \frac{81 \times 1,0 \times 3.600 \times 8.760}{0,80 \times 40.144}$$

$$\sigma_{\text{yalitim}} \approx 77.895 \text{ \$/yıl}$$

Endüstriyel tesislerde yalıtım tamiri ve bakımı, belki dışarıdan birilerine yaptırılabilir. Çoğu kez, yalıtım onarımına ihtiyaç duyan birçok alanın aynı anda ele alınması maliyet açısından daha verimlidir. Bu durum, tesis personelinin periyodik olarak tesiste bir yalıtım etüdü yapması ve yalıtım yükseltme veya eklemenin yarar sağlayacağı ana alanları belirlemesi gerektiğini gösterir. Bu işlem periyodik olarak yapılan sürekli bir etkinlik olmalı, buhar sisteminin her zaman iyi yalıtılması ve ısı kaybının minimize edilmesi sağlanmalıdır.

6.2.4. Kullanılmayan hatlardan buharın izolasyonu

Endüstriyel prosesler değiştiğinde, buhar talebi de değişir ve bazen belirli bir proses, tesis veya hava-işleyici için buhar ihtiyacı ortadan kalkar. Bununla birlikte, buhar hatları hâlâ yerindedir ve prosesin sonundaki ilk blok (izolasyon) vanasına kadar taze buhar içerir. Belirli bir ekipmanın çalıştırılmayacağı ve hiçbir zaman tekrar kullanılmayacağı, ama bu ekipmana bağlı buhar hatlarının hâlâ taze buhar kollektörlerine bağlı kalacağı ve sıcak olacağı zamanlar da vardır. Aynı durum, mevsimsel değişimler sırasında da gerçekleşebilir. Tesis ısıtma konumundan (kışın) soğutma konumuna (yaz aylarında) geçtiğinde, buhar hatları soğutma sistemine daha fazla yük ekleyerek hâlâ sıcak olarak çalışırlar. Endüstriyel tesislerde bu türden durumlar çok sayıda olabilir. Dağıtım sistemi proses son kullanımlarıyla birlikte sistematik biçimde analiz edildiğinde, bütün bu durumlar, buhar sistemi optimizasyonunun sağlayabileceği önemli enerji ve maliyet tasarruf fırsatlarına işaret eder.

Enerji ve maliyet tasarrufu açısından bakıldığında, kullanılmayan hatlardan buharın izole edilmesi ile şunlar sağlanabilir:

- Isı transfer kayıplarının ortadan kaldırılması,
- Buhar kaçaklarının ortadan kaldırılması,
- Kollektörlerde koç darbesine yol açabilecek her türlü kondensin ortadan kaldırılması,
- Bu bölümdeki buhar sistemi bileşenlerinin bakım ihtiyaçlarının azaltılması.

Buna ek olarak, buharın kalitesinden etkilenebilecek akış aşağısı prosesleri ve ilâve buhar gerektiren, operasyonların maliyetini artıran üretim etkileri olabilir.

Daha önce açıklanan tüm yöntemler, kullanılmayan hatlardan buharın izolasyonu ile elde edilecek enerji ve maliyet tasarrufunu belirlemek için kullanılabilir. Bu yöntemler burada tekrar edilmeyecektir.

6.2.5. Basınç düşürme istasyonlarında akışın minimize edilmesi

Genellikle, buhar daha yüksek bir basınçta üretilir ve farklı, daha düşük basınçlı kollektörlerle veya tek bir basınç kollektörü üzerinden dağıtılır. Bununla beraber, buhar basıncını uygun biçimde azaltan basınç düşürme istasyonları bulunmaktadır. Buhar, basınç düşürme vanasından geçtiğinde, (basıncı düşürülmesi) ile genişler ve sıcaklık azalır. Bununla beraber, buhar bir basınç düşürme vanasından geçtiğinde, "izentalpik" bir süreç olmasından dolayı, enerji içeriğini (kJ/kg) kaybetmez ve buhar entalpisi değişmez. Aynı zamanda, buharın entropisi değişir ve bu da mil döndürme işini yapmak için buhar yeteneğinin azalması anlamına gelir. Bu durum, endüstriyel tesiste buhar türbinleri yoksa büyük bir sorun değildir. Buna mukabil, basınç düşürme vanalarında sürekli ve önemli bir buhar akışı mevcutsa, her endüstriyel tesis için buhar türbinlerinin olası kullanımını değerlendirmek gerekir. Türbinler ve ekonomik faydaları daha sonra 9'uncu bölümde ele alınacaktır.

Bu optimizasyon fırsatı, endüstriyel tesislerde buharın ihtiyaca uygun basınçta üretilmesini sağlamak ve buhar genişmesi nedeniyle herhangi bir verimsizliğin meydana gelmediğinden emin olmak için bu alanda listelenmiştir. Bir basınç düşürme istasyonu, periyodik bakım gerektirir ve çoğu durumda yalıtılmamıştır. Ayrıca, proses tarafında değişken buhar taleplerinden dolayı gövdenin hareketi ve ısıl çevrim nedeniyle, vana gövdesi ve contalar buhar kaçaklarının sık görüldüğü yerler haline gelir.

6.2.6. Kollektörlerde basınç düşüşünün azaltılması

Bu optimizasyon fırsatı, zamanla prosesin değişmesi ve buhar kullanımının çeşitlenmesi gerçeğinden kaynaklanır. Ayrıca, dağıtım sistemi verimi, aşınma ve yıpranma nedeniyle azalır ve buhar kollektöründeki basınç düşmesinde de bir artış söz konusudur. Doymuş buhar sisteminde, bu olay, doğrudan prosesi etkileyebilen buhar besleme sıcaklığında bir azalma olduğuna işaret eder. Alternatif olarak, bu durum, ısı kayıplarının buhar entalpisinde bir azalma meydana getirmesi nedeniyle daha fazla buhara ihtiyaç duyulduğu anlamına gelebilir.

Kollektörlerde basınç düşüşü için bir sanayi standardı yoktur, ancak buhar kollektörlerinde basınç düşümü artışının üç ana sebebinden bahsetmek mümkündür:

- Aynı kollektördeki buhar talebindeki artış ve bu nedenle daha fazla buhar akışı,
- Buhar kollektör basıncındaki azalma,
- Buhar kollektöründe yoğunlaşma ve iki fazlı akış,
- Yukarıdakilerin bir kombinasyonu.

Buhar debisi arttıkça, buhar akış hızı da artar ve basınç düşüşü hızın karesi ile doğru orantılıdır. Buhar sisteminin optimizasyonu yapılırken, kollektör tasarımının ve kollektöre gelen tasarım buhar yüklerinin bilinmesi önemlidir. Genellikle, buhar tasarım akış hızları herhangi bir yerde 15-25 m/s olabilir. Bu hızların çok fazla aşılması, özellikle dirseklerde ve destek yerlerinde önemli ölçüde gürültüye ve yapısal titreşimlere yol açacaktır.

Buharın düşük yoğunluğu nedeniyle (yüksek özgül hacim) buhar basıncı azaldığında, aynı kütleli debi için buhar hızı artar. Bununla birlikte, yukarıda açıklandığı gibi bu durum aşırı basınç düşüşlerine neden olur. Birçok endüstriyel tesiste, enerji tasarrufu için yaygın öneri, kazan çalışma basıncını düşürmektir. Bu işlem çok dikkatli şekilde yapılmalı ve buhar kollektörü aşırı kapasite için tasarlanmadıysa (çok nadiren görülen bir durumdur) bu öneri uygulanmamalıdır.

Eksik yalıtım vb. nedenlerle kollektörden küçük miktarda bir ısı kaybı olduğunda, doymuş buharda yoğunlaşma meydana gelir. Bu durum kollektörde iki fazlı akış koşullarının olduğunu gösterir. Eğer buhar kapağı uygun şekilde çalışmıyorsa, bu durum kollektörde buhar ve suyun aynı hızda hareket ettiğini gösterir. Akış rejimi ile birleştirildiğinde (suyun miktarına bağlı olarak), bu durum, çok yüksek basınç düşüşlerine ve önemli miktarda koç darbesi sorunlarına yol açar. Bu konu hakkında daha fazlası, bu bölümde aşağıda sunulmaktadır.

Buhar kollektörlerindeki basınç düşüşünü azaltmak için optimizasyon fırsatı aşağıdaki stratejilerden bir ya da daha fazlasını değerlendirmeye almayı gerektirebilir:

- Mevcut kollektörü daha büyük boyuttaki bir kollektörle değiştirmek,
- Aynı basınç seviyesi için bir başka kollektör ilâve etmek,
- Diğer basınç seviyelerine buhar talebini kaydırarak kollektördeki buhar talebini azaltmak,
- Vanaların boyutunu büyütme ya da tekrar ayarlamak,
- Kollektörlerdeki her türlü kısıtlamayı ortadan kaldırmak,
- Bu bölümdeki bütün optimizasyon stratejilerini uygulamak:
 - Buhar kaçaklarını ortadan kaldırmak,
 - Yalıtımı iyileştirmek,
 - Kondens boşaltma vanalarının doğru şekilde çalışmasını sağlamak, vb.

6.2.7. Buhar kollektörlerindeki kondensin boşaltılması

Buhar dağıtım sistemi çok yoğun olabilir ve bir endüstriyel tesiste kilometrelerce buhar tesisatı borusu bulunabilir. Buhar hatları iyi şekilde yalıtıldığında bile, buhar kollektörlerinde, özellikle doymuş buhar sistemlerinde yoğunlaşmaya neden olan belirli bir miktarda ısı kaybı olur. Kazandan buhar naklinin problem olduğu belirli sistemlerde, bu problem daha kötü hale gelmiştir ve üretim alanının yanı başında iki fazlı akış vardır.

Çoğu endüstriyel tesiste, kollektörde oluşan herhangi bir miktarda kondens ya da bu kondensin hepsini uzaklaştırmak için kondensstoplar (buhar kapanları) bulunur. Buhar kollektöründeki kondensin uzaklaştırılması ile yüksek güvenilirlikte buhar sistemi işletimi ve aşağıdaki en iyi uygulamalar elde edilecektir:

- Buhar kollektöründe aşırı basınç düşüşü oluşmaz,
- Buhar kollektöründe iki fazlı akış rejimi nedeniyle hiçbir şekilde koç darbesi oluşmaz,
- Proses son kullanıcısı kuru buhar çeker,
- Türbinler gibi ana ekipmanlar kuru buhar çeker,
- Boru bağlantı elemanlarında, vanalarda vb. korozyon, aşınma ya da yıpranma oluşmaz.

Buhar kollektörlerinden boşaltılan kondens, düşük basınçlı buhar kollektörüne doğru bir flaş buhar tankı/separatör kap içinde aniden buharlaşabilir. Kondensin arta kalanı ya doğrudan kazan tesisine ya da kaskat kondens geri dönüş sistemine gönderilebilir.

Bazı endüstriyel tesisler, kondensin buhar kollektörlerinden mükemmel bir şekilde atılmasını sağlarlar; fakat kondens geri dönmeyebilir ve onun yerine boşa atılabilir. Enerji ve buhar kollektörlerinden boşa atılan kondens, hem enerji kaybına yol açar hem de ekonomik kayıp oluşturur. Bu değerlendirme 8'inci bölümde yapılacaktır. Bununla birlikte, bu durum, kondensin toplanabileceği, toplanmasının ve geri kazan tesisine iade edilmesinin zorunlu olduğu buhar dağıtım alanında potansiyel fırsatları belirlemek için çok önemlidir.



Bölüm

7

Buhar Son Kullanıcı Optimizasyon Fırsatları

Endüstriyel buharın son kullanımı çok çeşitlidir ve hatta aynı temel işlem, bir sanayiden diğere farklıdır. Bunun bir sonucu olarak, herhangi bir çalışmada buhar son kullanımlarının tamamının kapsanması çok zordur. Bununla birlikte, buharın son kullanımı, endüstriyel bir tesiste buhar sistemine sahip olunması için ana nedendir ve göz ardı edilmemelidir. Son kullanımları çalışmak ve anlamak için gerekli özen gösterilmelidir. Çünkü buharın optimize edilmesi, yakıt, enerji ve maliyet tasarrufunun yanı sıra üretim ve verim iyileştirmeleri açısından da önemli yararlar sağlayabilir. Endüstriyel tesislerde, buhar sistemlerinde çalışan fabrika personeli, buharın kendi tesislerinde nasıl kullanıldığını anlamak için eğitilmelidir. Bu durum, onların gerçekten kendi özel tesis işlemleri için kendi buhar sistemlerini optimize etmelerine imkân sağlayacaktır.

7.1. Buhar Dengesine Genel Bakış

Buhar talepleri endüstriyel tesislerde pek çok farklı biçim alabilir. Genel olarak, buhar, süreç ısı kaynağı sağlar. Endüstriyel işlemlerin çoğu, bir termal ısı yüküne veya işine (kW) karşılık gelecek belirli bir buhar kütleli debisi gerektirir. Ama sanayide, buharın hem kütleli debisini (ısı yükü) hem de hacimsel debisini birlikte gerektiren bazı prosesler vardır. Bunlar, genellikle, endüstriyel tesiste son kullanım işlevlerini gerçekleştirmek için belirli buhar hızına ihtiyaç duyan cihazlardır. Burada, buhar türbinlerinin buharın son kullanıcıları olarak kabul edilmediğini ve bu bölümün kapsamına girmediğini unutmayınız. Bunlar, daha sonra 9'uncu bölümde müstakilen ele alınacaktır. Buhar son kullanım bileşenlerinden bazıları aşağıda listelenmiştir. Çok kapsamlı olmayan bu liste, genel bir rehberlik sağlama amacını gütmektedir.

Buharın kütsel debisine (ısı yükü) dayalı olarak belirtilen ve tasarlanan buhar son kullanıcıları şunlardır:

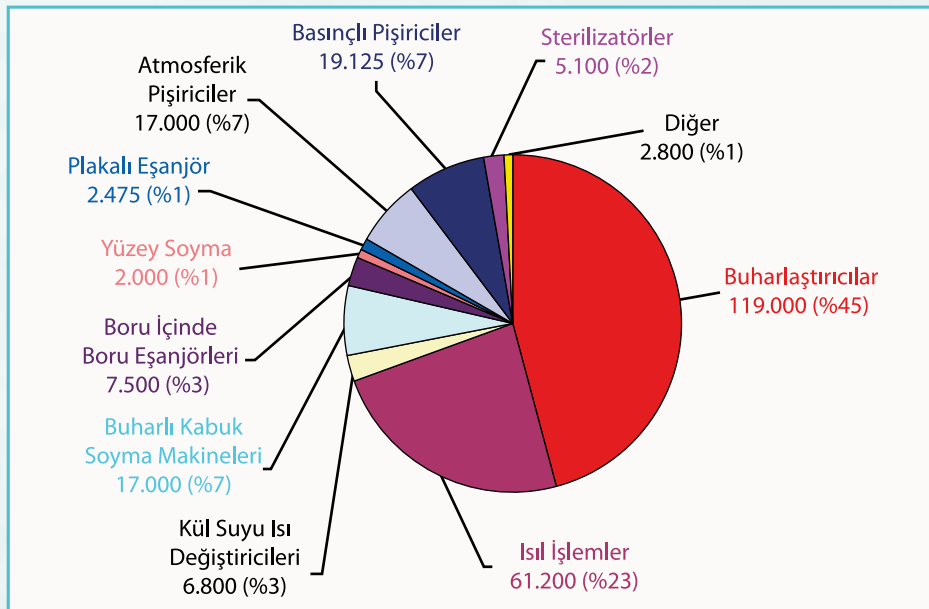
- Eşanjörler
- Kurutucular
- Buharlaştırıcılar
- Düşük basınç kazanı (reboylar) eşanjörleri
- Dönüştürücüler
- Absorpsiyonlu soğutucular
- Hava nemlendiriciler
- Ön ısıtma/tekrar ısıtma klima santrali serpantinleri

Buharın hacimsel debisi ve kütsel debisine (ısı yükü) dayalı olarak belirtilen ve tasarlanan buhar son kullanıcıları şunlardır:

- Buhar jeti ejektörleri/edüktörleri (boşaltıcı)
- Ayırma sütunları
- Damıtma kuleleri
- Termokompresörler

Herhangi bir buhar sistem optimizasyon analizi için, endüstriyel tesisteki her bir son kullanıcının ne kadar buhar kullanıldığını anlamak çok önemlidir. Bu bilgiler genel bir buhar sistemi seviyesinde (Şekil 7.1'de gösterildiği gibi) ya da her bir basınç kollektörü seviyesinde ya da endüstriyel tesis içindeki her bir alan bazında elde edilebilir. Çoğu zaman buhar son kullanım dağılımını gösteren böylesi bir pasta grafik oluşturmak zordur, çünkü süzme sayaçlar ve debimetreler her son kullanıcı için mevcut olmayabilir. Tesis personelinin, tasarım bilgileri ile birlikte işlemleri anlaması ve işlem yükü koşullarına göre son kullanıcıların buhar taleplerini (ve ısıtma görevlerini) atayabilmesi önerilir. Bu metodoloji, buhar son kullanımına genel bir bakış geliştirmede ve endüstriyel buhar sistemi optimizasyonunu üstlenen kişinin dikkatini çekerek temel son kullanıcıları tanımlamada çok yardımcı olacaktır. Bu bölümdeki örnekler, kütle ve enerji denklemlerinin temel prensiplerini kullanarak proseslerdeki buhar akışını belirlemede bazı fikirler vermektedir.

Şekil 7.1. Yiyecek ve içecek endüstrisi için tipik bir buhar son kullanım grafiği



(Sayılar kg/h olarak buhar kullanımını göstermektedir.)

Örnek:

Bir gövde-borulu eşanjör 600 litre/dk debideki suyu 25°C sıcaklıktan 75°C sıcaklığa ısıtmaktadır. Atmosferik basınçta doymuş buhar ısıtma için kullanılmaktadır. Kondens 100°C sıcaklıkta eşanjörden çıkmaktadır. Isı yükünü ve dolaylı ısı alışverişi işlemi için gerekli olan buharın miktarını hesaplayınız.

Suya aktarılan ısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Q_{su} = m_{su} \times C_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş})$$

$$Q_{su} = \frac{600}{60} \times 4.183 \times (75 - 25) = 2.091 \text{ kW}$$

- Notlar: 1) Cp'nin birimi kJ/kg°C'dir.
 2) 600 litre suyun 600 kg geldiği kabul edilmektedir.
 3) 600'ün 60'a bölünmesi nihai değer in kW cinsinden çıkması içindir.

Enerji dengesinden, bu ısı, buhar tarafından sağlanır ve şu şekilde yazılabilir:

$$Q_{su} = Q_{buhar} = m_{buhar} \times (h_{buhar} - h_{kondens})$$

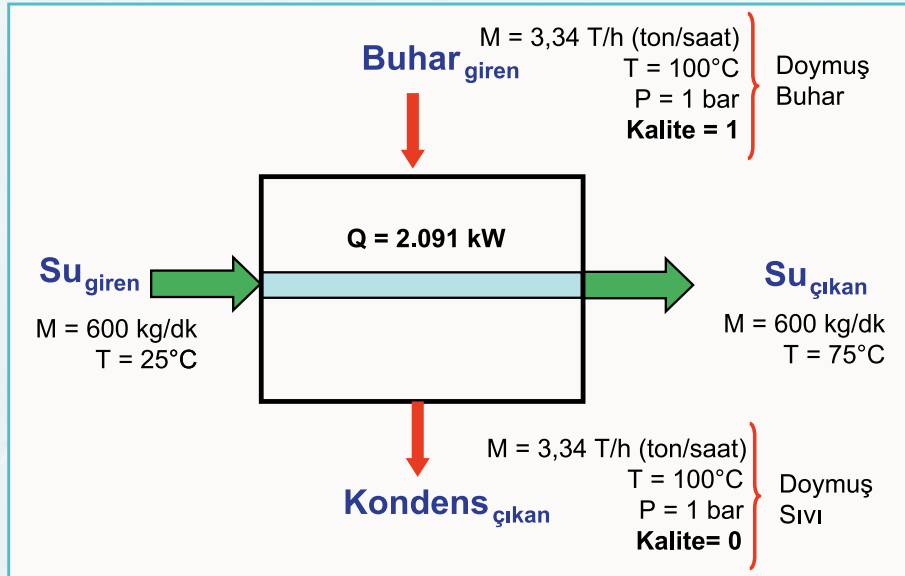
Burada h_{buhar} (2.676 kJ/kg) atmosferik basınçta doymuş buharın entalpisidir ve $h_{kondens}$ (419 kJ/kg) 100°C sıcaklıkta kondensin entalpisidir (tablolardan).

$$Q_{su} = 2.091 = m_{buhar} \times (2.676 - 419)$$

$$m_{buhar} = \frac{2.091}{2.257} = 0,927 \text{ kg/s} = 3,34 \text{ Tph}$$

Şekil 7.2'de eşanjör, ısı yükü ve değişik debiler şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 7.2. Buhar/su dolaylı ısı değişimi

**Örnek:**

Suyun 25°C sıcaklıktan 75°C sıcaklığa ısıtılması için bir kazana atmosferik basınçta doğru-doymuş buhar enjekte edilmektedir. Proses 600 litre/dk ısıtılmış su gerektirmektedir. 600 litre suyun 600 kg geldiğini kabul ediniz ve doğrudan ısı değişim süreci için gerekli buhar miktarını hesaplayınız.

Kazandaki su akışı ($m_{su_giriş}$) ve buhar akışı (m_{buhar}) bilinmemektedir. Bu durumda, kütle korunum denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$m_{su_çıkış} = m_{su_giriş} + m_{buhar}$$

Kazanda bir mil döndürme işi olmadığından, enerjinin korunumu denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$m_{su_çıkış} \times h_{su_çıkış} = m_{su_giriş} \times h_{su_giriş} + m_{buhar} \times h_{buhar}$$

Burada h_{buhar} (2.676 kJ/kg) atmosferik basınçta doymuş buharın entalpisidir; $h_{su_giriş}$ (104,8 kJ/kg) 25°C sıcaklıkta kaba giren suyun entalpisidir ve $h_{su_çıkış}$ (314 kJ/kg) 75°C sıcaklıkta kaptan çıkan suyun entalpisidir (Buhar Tablolarından).

Bu denklemlerde bilinen değerleri yerine koyarsak ve çözümlerse, bilinmeyenler ortaya çıkmış olur.

$$m_{su_çıkış} = m_{su_giriş} + m_{buhar} = \frac{600}{60} \times \frac{974,9}{1.000} = 9,75 \text{ kg/saniye}$$

$$m_{su_çıkış} \times h_{su_çıkış} = m_{su_giriş} \times h_{su_giriş} + m_{buhar} \times h_{buhar}$$

$$9,75 \times (314) = m_{su_giriş} \times (104,8) + m_{buhar} \times (2.676)$$

$$m_{su_giriş} \times (104,8) + m_{buhar} \times (2.676) = 3.061,5$$

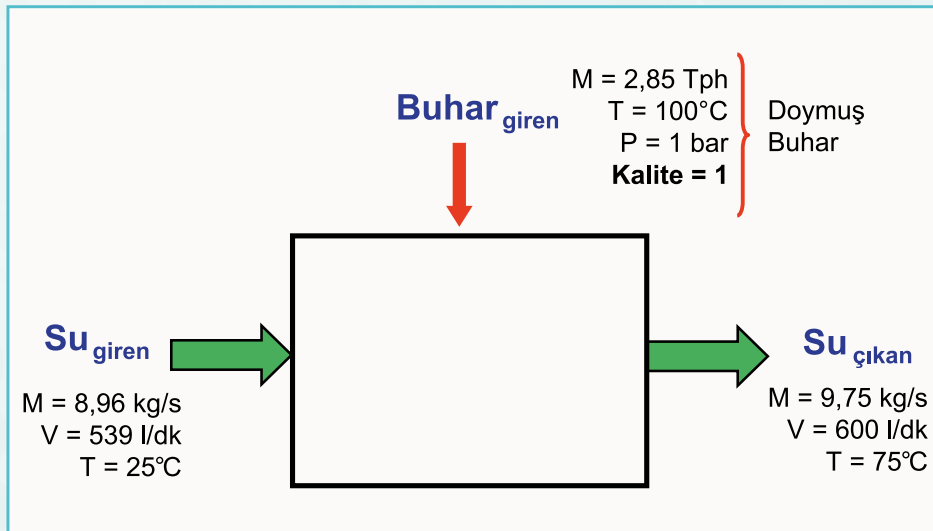
$$\text{Not: } m_{buhar} = 9,75 - m_{su_giriş}$$

$$\therefore m_{su_giriş} = 8,96 \text{ kg/saniye} = \frac{8,96}{997,1} \times 1.000 \times 60 = 539 \text{ litre/dk}$$

$$\therefore m_{buhar} = 0,793 \text{ kg/s} = 2,85 \text{ Tph (ton/saat)}$$

Şekil 7.3'te doğrudan ısı değişim prosesi ve değişik akışlar şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 7.3. Buhar/su doğrudan ısı değişimi



7.2. Buhar Son Kullanım Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları

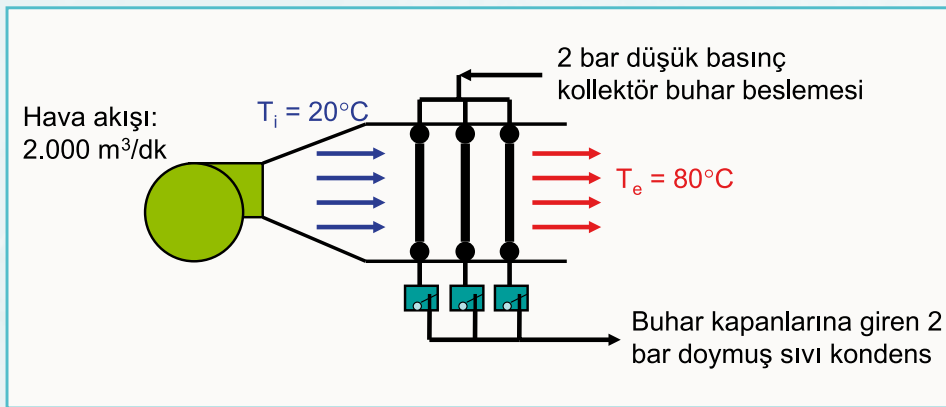
Daha önce de belirtildiği gibi, endüstriyel proseslere ve tesislere özel olan son kullanımları karşılamak son derece zordur. Bu nedenle, buhar son kullanımını anlamak ve optimizasyon fırsatlarını belirlemek için genel yöntemler burada açıklanmıştır. Ayrıca burada, buhar son kullanım fırsatlarının optimizasyonundan elde edilen faydaların değerlendirilmesi de sunulmuştur. Proses entegrasyonunun, tesisin toplam enerji sistem optimizasyonunu belirlediği ve faydalarının geniş kapsamlı olacağı gerçeği hakkında hiçbir şüphe yoktur. Ama bu fırsatları uygulamadan önce önlemler alınmalı ve titizlik gösterilmelidir. Çünkü, yanlış uygulandığı takdirde, bu fırsatlar proses parametrelerini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, ne yazık ki endüstriyel tesislerde çok fazla meydana gelir. Bazen belirli alanlarda mükemmel ve kanıtlanmış olduğu halde, yanlış uygulandığı için teknolojinin adı kötüye çıkmıştır.

Klasik konfigürasyonda, son kullanım proseslerinde buhar kullanımını optimize etmek için temel strateji, bu proseste kullanılan buhar miktarını azaltmak ya da ihtiyacı ortadan kaldırmaktır. Proses veriminin geliştirilmesiyle, uygun olmayan buhar kullanımı yok edilmiş olacaktır. Optimizasyon stratejisi, bu adımdan sonra, basınç azaltılırken güç üretimine izin verebilen olabildiğince düşük basınçta bir buhar kullanılması ile ilgilidir. Son olarak, optimizasyon stratejisi, atık ısı kaynağına olan buhar talebinin bir kısmını ya da tamamını başka yere kaydırmayı amaçlar. Bu son aşamanın bir başka konfigürasyonu, aksi halde çok fazla yüksek basınçlı buhar kullanacak olan proses talebini beslemek için düşük basınçlı (ya da atık) buharı iyileştirmeye çalışmaktır.

Örnek:

Proses fırınında 2.000 m³/dk ortam havasının 20°C sıcaklıktan 80°C sıcaklığa ısıtılması gerekmektedir. Bu durum 2 bar doymuş buhar kullanılarak sağlanmaktadır. Şekil 7.4'te bu proses şematik olarak gösterilmiştir. Eğer birleşim noktalarından, atık ısı enerjisi, ortam havasını 40°C sıcaklığa ön ısıtma yapmak için kullanılsaydı, enerji tasarrufu fırsatı ne olurdu?

Şekil 7.4. Buhar serpantinli (coil) hava ısıtıcı (mevcut işletim)



Havaya transfer edilen ısı enerjisi şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{hava-1} = m_{hava} \times C_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş})$$

$$Q_{hava-1} = V_{hava} \times \rho_{hava} \times C_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş})$$

$$Q_{hava-1} = \frac{2.000}{60} \times 1,188 \times 1,006 \times (80 - 20) = 2.391 \text{ kW}$$

Burada Q_{hava_1} mevcut operasyonda buhardan havaya transfer edilen ısı; V_{hava} havanın hacimsel debisi; ρ_{hava} hava yoğunluğu; C_p havanın özgül ısısı; $T_{giriş}$ ve $T_{çıkış}$ sırasıyla havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır.

Optimize edilmiş konfigürasyonda, yakındaki bir proses atık ısı kaynağı olarak kullanılarak havanın 40°C sıcaklığa ön ısıtması yapılmıştır. Optimize edilmiş konfigürasyonda buhardan havaya iletilen ısı şu şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned} Q_{hava_2} &= m_{hava} \times C_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş}) \\ Q_{hava_2} &= V_{hava} \times \rho_{hava} \times C_p \times (T_{çıkış} - T_{giriş}) \\ Q_{hava_2} &= \frac{2.000}{60} \times 1,188 \times 1,006 \times (80 - 40) = 1.594 \text{ kW} \end{aligned}$$

Burada Q_{hava_2} bir atık ısı kaynağından ön ısıtma yapılmış havanın bulunduğu optimize edilmiş konfigürasyondaki buhardan havaya transfer edilen ısı; V_{hava} havanın hacimsel debisi; ρ_{hava} hava yoğunluğu; C_p havanın özgül ısısı; $T_{çıkış}$ ve $T_{giriş}$ sırasıyla optimize edilmiş konfigürasyonda havanın çıkış ve giriş sıcaklıklarıdır.

Buhar tarafından transfer edilen ısının miktarındaki tasarruf Q_{hava_1} ve Q_{hava_2} arasındaki farktır ve 796 kW'a eşittir. Bu enerji tasarruf miktarı, tasarruf edilen buhar miktarına şu şekilde dönüştürülebilir:

$$\begin{aligned} m_{kazanilan_buhar} &= \frac{(Q_{hava_1} - Q_{hava_2})}{(h_{buhar} - h_{kondens})} \\ m_{kazanilan_buhar} &= \frac{796}{(3.181 - 561,5)} \\ m_{kazanilan_buhar} &= 0,304 \text{ kg/saniye} = 1,094 \text{ Tph (ton/saat)} \end{aligned}$$

Burada h_{buhar} buhar serpantinli (*coil*) hava ısıtıcıya giren buhar entalpisi ve $h_{kondens}$ buhar serpantinli (*coil*) hava ısıtıcıdan çıkan (2 bar) doymuş kondensin entalpisidir.

Eşdeğer maliyet tasarrufu şu şekilde hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \sigma_{buhar} &= m_{kazanilan_buhar} \times k_{buhar} \times T \\ \sigma_{buhar} &= 1,094 \times \frac{91.67}{1,000} \times 8,760 \\ \sigma_{buhar} &\approx 878,000 \text{ \$/yıl} \end{aligned}$$

Bu analizin aynısı, ABD EB SSAT yazılımı gibi ayrıntılı bir buhar sistem modeli ile de yapılabilir. Bununla birlikte, son kullanıcı alanında optimizasyon fırsatlarını önceliklendirmek için, birinci mertebeden araştırma çalışmalarını yürütmek önemlidir. Çoğunlukla, proses entegrasyonu ile ilgili optimizasyon fırsatlarını uygulamadan önce, önemli ilâve araştırmalar yapmak gerekli olacaktır.



Bölüm 8

Buhar Kondens Geri Kazanımı Optimizasyon Fırsatları

Bu bölüm, kondens geri kazanım alanı ve endüstriyel buhar sisteminde optimizasyon fırsatları ile en iyi uygulamalar üzerine odaklanmıştır.

8.1. Genel Bakış

Buhar, ısı enerjisini transfer ettiğinde, kondens oluşturur. Endüstriyel bir tesiste işlemlerin devam edebilmesi için, kondensin sürekli biçimde ayrılması gerekir. Yoğuşma, bir atık akıntısı değildir, fakat endüstriyel tesisteki suyun en saf (damıtılmış) şeklidir. Aşağıdaki nedenlerle önemli miktarda ekonomik değeri vardır:

- Kondens, takviye suyundan daha sıcaktır ve bu nedenle önemli bir ısı enerjisiye sahiptir.
- Kondensin, kondens arıtma işlemi dışında herhangi bir kimyasal su arıtma işlemine ihtiyacı yoktur.
- Kondens toplandığında, atık şebekesine gönderilmesine gerek yoktur ve kanalizasyon akışının kanalizasyon çıkışında herhangi bir ısı sınırlama nedeniyle soğutulması gerekmez.

Kondens geri kazanım bölgesinde, bir endüstriyel tesisin nasıl bir performans sergilediğini belirlemek için temel yöntem, kazan tesisine aslında mevcut kondensin ne kadarının geri dön-

dürüldüğünü belirlemektir. Mevcut kondens miktarı, dolaylı ısı değişim proseslerinde ve yoğunlaşmalı türbinlerde kullanılan buhar miktarıdır. Bu hesaplama, genellikle, geri döndürülen kondens miktarının üretilen buhar miktarına oranı ile gösterilir. Endüstriyel tesise bağlı olarak, bazen birden fazla kollektör olması nedeniyle, bu oran ayrıca her kollektör düzeyinde ve daha sonra tüm buhar tesisi için hesaplanır.

Kondens geri kazanımı %80'i aştığında, iyi olarak kabul edilir. Orijinal endüstriyel tesis tasarımına ve tesisin büyüklüğüne bağlı olarak, kondens geri kazanımı önemli ölçüde düşük olabilir ve bu durum buhar sistem optimizasyonunun önemli bir alanı haline gelir. Proses eşanjörü içindeki kondens kirlenme olasılığı gibi endüstriyel proses kısıtları, bazen, kondensin kazan tesisine geri dönmemesine neden olabilir. Bu durum bir vaka olarak ayrıca değerlendirilmelidir ve bu bölümde daha sonra daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Kondens geri kazanım sisteminin ana bileşenleri şunlardır:

- Buhar kapanları
- Kondens boru hattı ve bağlantı elemanları
- Flaş tankı
- Toplama tankları
- Pompalar
- Kondens yükseltme istasyonları
- Arıtıcılar ve filtreler

Buhar kapanları, bir kondens geri kazanım sisteminin ayrılmaz ve başlıca parçasıdır. Bu nedenle, burada ayrıntılı biçimde tartışılacaktır.

8.2. Buhar Kapanları

Buhar kapanları, her zaman güvenilir buhar sistemi operasyonlarının ana ilgi alanlarından biridir. Bunlar, çoğunlukla, tesis bakım ekiplerinin kaynaklarının, buhar kapanları ve çalışmasına ilişkin bilgi ve deneyimlerinin yetersizliğine bağlı olarak ihmal edilmektedir. Buhar kapanları, buhar sistemi içinde, birçok hayati işletme fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Bunlardan önemlileri şunlardır:

- Prosesi devreye alma sırasında, hava ve büyük miktarlarda kondensin çıkmasına izin verir,
- Normal çalışma sırasında, buhar kaybını minimize ederken (veya ortadan kaldırırken) toplanan kondensin, kondens geri dönüş sistemine geçmesini sağlar.

Buhar kapanlarının farklı türleri vardır. Buhar kapanlarının işlevsellik ve işletim prensiplerinin; tasarım mühendisleri, tesis operatörleri ve bakım takımları tarafından anlaşılması gereklidir. Tüm endüstriyel buhar tesislerinin etkili bir buhar kapanı yönetim programı olmalıdır. Buhar kapanı arızaları, her zaman kendi başına enerji kaybına neden olmasa da, hemen hemen her zaman sistemin çalışması ile ilgili sorunlara ve güvenilirlik sorunlarına yol açar. Endüstriyel tesislerde sistem artıkları, yanlış boyutlandırma ve yanlış uygulama, buhar kapanı arızalarının en sık görülen nedenleridir.

Değişik tip ve kombinasyonları ile birlikte çeşitli buhar kapanı türleri vardır. En yaygın kullanılan kapanlar (* ile gösterilen) operasyon ilkelerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

- Termostatik kapanlar
 - Körükler *
 - Bimetalik *

- Mekanik kapanlar
 - Küresel şamandıra
 - Şamandıra ve kol
 - Ters kovalı *
 - Açık kovalı
 - Şamandıra ve termostatik*
- Termodinamik kapanlar
 - Disk
 - Piston
 - Kol
- Orifis kapanlar
 - Orifis levha
 - Venturi borusu

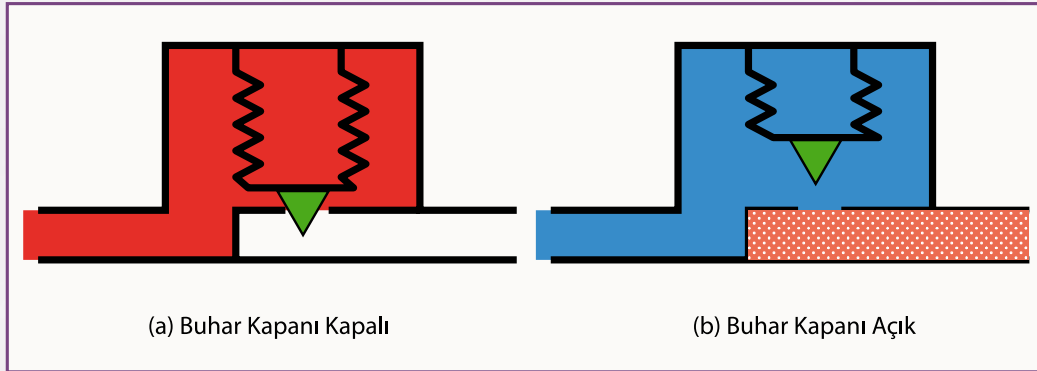
8.2.1. Termostatik kapanlar

Bir termostatik buhar kapaını işlemi, belirli bir sıcaklık farkına dayanmaktadır. Genellikle, sıcaklık yükseldiğinde dâhili bileşenin genişlemesinden (veya bükülmesinden) ve sıcaklık azaldığında daralmasından (ya da düzleşmesinden) kaynaklanan hareket oluşur. Kapan dâhili elemanları sıcakken termostatik kapan vanası kapalıdır.

Şekil 8.1'de (a) sol alt kısımdan buhar kapaınına buharın girdiği görülmektedir. Sızdırmaz körük gibi dâhili bir bileşen (ya da bi-metal şerit) artan sıcaklıkla beraber genişleyecek (ya da bükülecek), böylece mekanizmanın tabanındaki kapakla kapaını kapatacaktır. Bundan sonra, ilgili şeklin sağ tarafında (b)'de görüldüğü gibi, hatta ve buhar kapaını içerisinde bulunan kondensin sıcaklığının düşmesi sonucunda körük içerisindeki basınç düşecek ve kapağı kaldırarak kondensin ve flaş buharın kapaını dışına akmasını sağlayacaktır.

Şekil 8.1. Termostatik buhar kapaınının çalışması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



Termostatik buhar kapaını ile ilgili olarak önemli bir operasyonel konu da, kapaının açık duruma gelmesi için, kapaını dâhili bileşenlerinin doymuş buhar sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar soğuması gerektiğidir. Doymuş buhar ve doymuş kondens tamamen aynı sıcaklıkta olabilir. Bu noktada, kapaını açılmayabilir. Kapaını, ancak bekleme sonucunda, kondens belirli bir sıcaklığın altına soğuduğunda açılacaktır. Genellikle kapaınıların açılması için 5-20°C sıcaklık farkı gereklidir.

8.2.2. Mekanik kapanlar

Bu kapanlar kaldırma kuvveti temel prensibi ile çalışmaktadır. En yaygın olanları şöyledir:

- Şamandıra ve termostatik (F&T)
- Ters kovalı

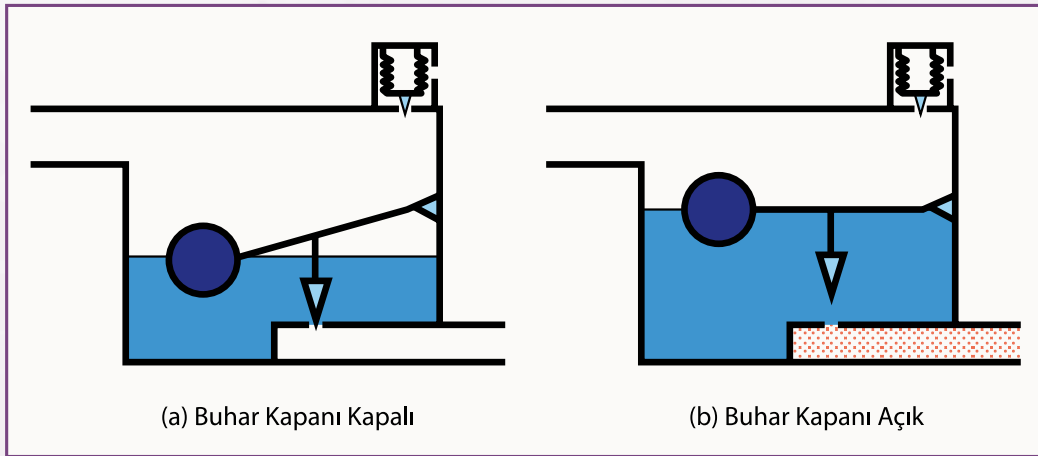
8.2.2.1. Şamandıra ve termostatik (F&T) kapanlar

Adından da anlaşılacağı üzere F&T kapanları iki tip kapanın birleşimidir: şamandıra ve termostatik. Şamandıra, kondensin kapandaki rezervuara girmesiyle yukarı doğru yükselmeye başlar. Çıkış vanası bir şamandıra mekanizması ile harekete geçer ve rezervuardaki kondens seviyesi arttığında açılır. Bu tip kapanlar, eşanjörlerde ve kondensin ne pahasına olursa olsun engellenmesinin gerektiği diğer uygulamalarda kullanılmak için tasarlanmıştır ve kondensin sistemden hızlı biçimde çıkmasını sağlar. Vana, rezervuardaki kondens seviyesi düştüğünde kapanır. Şekil 8.2'nin sol tarafında (a) kapalı konfigürasyonda kapan ve sağ tarafında (b) açık konfigürasyonda kapan görülmektedir.

Şamandıra tipi kapanda, sadece sıvı dışarı çıkabilmekte ve mekanizma hava ya da yoğuşturulamayan gazların çıkmasına izin vermemektedir. Bununla birlikte, endüstriyel uygulamalarda, şamandıra tipi buhar kapağı, her zaman termostatik kapan elemanı ile birlikte bir çift oluşturur. Termostatik elemanın orada bulunmasının başlıca sebebi; açık kalmak suretiyle prosesin devreye alınması sırasında hava ve yoğuşturulamayan gazların uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte termostatik eleman kapanır ve buhar çıkışına izin vermez. Bu birleşim düzenlemesi F&T kapağı olarak bilinir.

Şekil 8.2. F&T mekanik buhar kapağının çalışması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



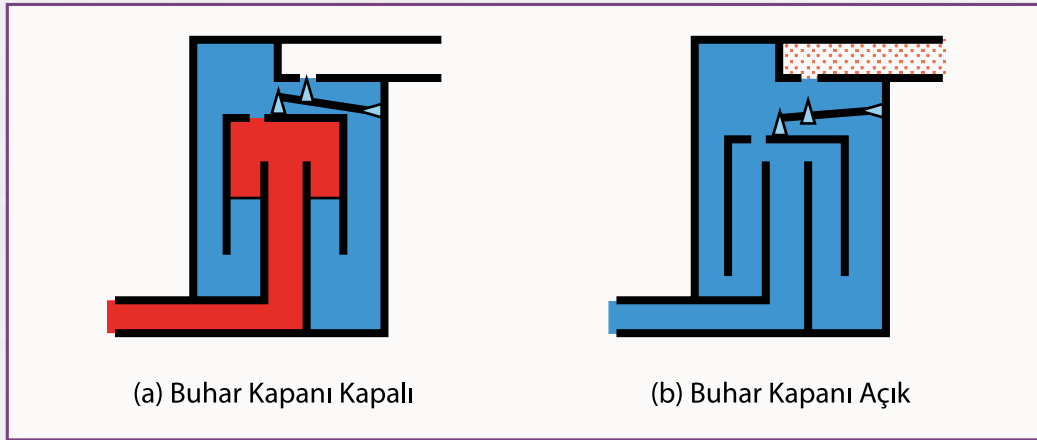
8.2.2.2. Ters kovalı buhar kapağı

Ters kovalı buhar kapağı, kaldırma kuvveti prensibi ile çalışan mekanik kapanın en yaygın örneklerindedir. Ters kovalı bir şamandıra gibi davranır. Kapan gövdesi ve kova kondens ile dolduğunda, kova batar. Çıkış vanası açılır ve kondens boşalır. Hem doymuş hem de soğumuş kondens bu kapağı vasıtasıyla uzaklaştırılabilir. Tüm kondens boşaltıldığında, buhar kovanın altından kapana girer. Bu da çıkış vanası kapanacak şekilde kovayı yukarı iter. Şekil 8.3'ün sol tarafında

(a), ters kova kapanı kapalı durumda görülmektedir. Şekil 8.3'ün sağ tarafında (b) ise, ters kova kapanı açık durumda görülmektedir.

Şekil 8.3. Ters kovalı mekanik buhar kapanının çalışması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)

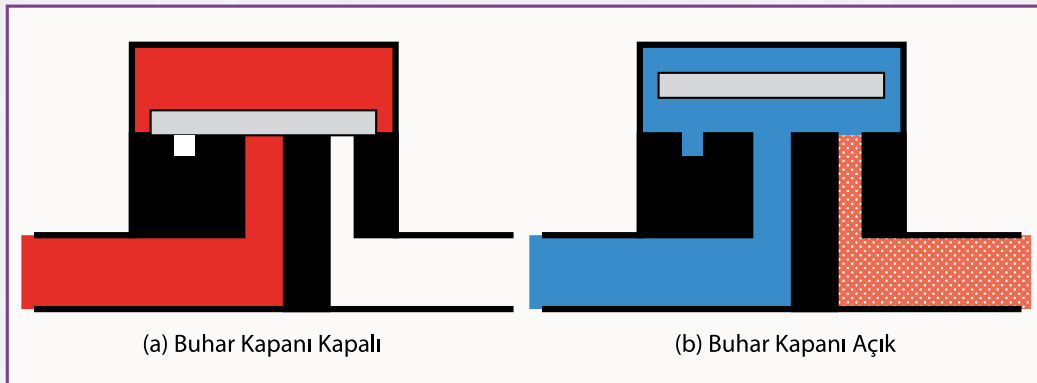


8.2.3. Termodinamik kapanlar

Termodinamik kapanlar, uçak kanadına benzer şekilde ve Bernoulli prensibi ile çalışırlar. Kontrol hacminde belirli bir maddenin hızı arttığında mutlak basınç düşer. Bu basınç farkı, bir diskin bir açıklığı kapatarak vana gibi çalışmasını sağlar. Termodinamik buhar kapanlarında kontrol odası içinde ince bir metal disk vardır. Kondens, kontrol odasına, metal diskin altından diski yukarı doğru itirecek şekilde girer. Kondens, disk yatağı ve kapan gövdesi arasında yapılmış halka şeklindeki bir boşluktan dışarı atılır. Buhar akmaya başladığında, dairesel boşluktan geçen buharın hızı, statik kondens ile karşılaştırıldığında yüksektir. Bu durum, metal diskin üst tarafında, yüksek basınçlı alan varken, yerel olarak düşük basınçlı bir alan oluşturur. Bu da diski oturmaya zorlar ve kapanı kapatır. Şekil 8.4'ün sol tarafında (a), kapalı konfigürasyonda termodinamik kapan gösterilmiştir. Şekil 8.4'ün sağ tarafında (b), açık konfigürasyonda termodinamik kapan gösterilmiştir. Bu kapan çok kesikli çalışır ve küçük kondens yükleri için de kullanılır.

Şekil 8.4. Termodinamik buhar kapanının çalışması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



8.2.4. Orifis kapanları

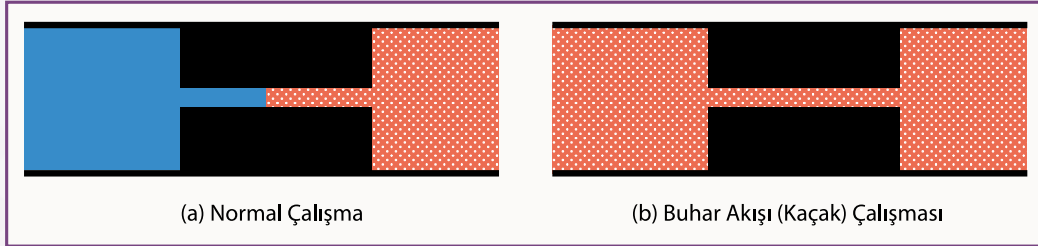
Orifis buhar kapanları, buhar ve kondensin son derece farklı hacimsel özelliklere sahip olması prensibiyle çalışırlar. Orifis kapanlarının herhangi bir hareketli parçası yoktur, ama asli çalışma bileşenleri, bir kısıtlayıcı orifisten, küçük çaplı kısa borudan veya bir Venturi tipi nozoldan oluşur. Kondens yoğunluğu, buharın yoğunluğundan önemli ölçüde daha büyüktür. Bu durum, önemli bir miktarda kondensin çok küçük bir açıklıktan geçmesine (örneğin, bir orifis gibi) ve aynı açıklık içinden az miktarda buharın geçmesine izin verir. Kondens, orifisten geçerken, basınç düşüşü, kondensden flaş buhar üretilmesine neden olur. Bu flaş buhar, ilâve kondens/buhar akışının kapandan geçmesi için bir ayar vanası şeklinde davranır.

Orifis kapanlarında hareketli parçalar yoktur ve bu özellik, diğer kapanlara göre bu kapanın en büyük avantajıdır. Bu özellik, kapanlara minimum bakım yapılması anlamına gelmektedir. Temiz olmayan endüstriyel buhar sistemlerinde, bu tip kapan, korozyon parçacıkları, kir vb. artıklarla kolayca tıkanabilir. Bu nedenle, artıkları periyodik olarak temizlemek için bazı bakım önlemleri alınmalıdır.

Orifis kapanlarının doğru boyutta olması son derece önemlidir. Eğer kapan gerekenden daha büyük ölçekli ise, önemli miktarda taze buhar kondens sisteminde kaybolur. Eğer kapan gerekenden daha küçük boyutlu ise, o zaman kondens sistemin içine yedeklenecektir. Buhar yükü sürekli ve kararlı olduğunda, bu kapanlar da en iyi şekilde çalışır. Aralıklı ve döngüsel buhar yükleme, buharın dışarı atılması veya kondensin yedeklenmesi ile ilgili operasyonel sorunlara yol açabilir. Şekil 8.5'in sol tarafı (a), bir normal çalışma konfigürasyonunda termodinamik kapanı göstermektedir. Şekil 8.5'in sağ tarafı (b), açık (buhar kaçağı) konfigürasyonunda termodinamik kapanı göstermektedir.

Şekil 8.5. Orifis tipi buhar kapanlarının çalışması

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



8.3. Kondens Geri Kazanımı Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları

Kondens geri kazanımı ve bir endüstriyel tesiste bununla ilgili yan birimler, birçok alan üzerine odaklanabilir. Bunlar, enerji yönetimi alanlarıdır ve genellikle tasarruf fırsatları belirlenirken ilgi çekici ekonomik sonuçlar meydana getirirler. Ayrıca, bu alanlar herhangi bir buhar sisteminin sürekli verimli ve güvenilir şekilde çalışması için gereklidir.

Buhar dağıtım alanında aşağıdaki gibi çeşitli optimizasyon fırsatları vardır:

- Etkin bir buhar kapanı yönetimi ve bakım programı oluşturulması
- Mevcut kondensin olabildiğince geri kazanılması
- Mümkün olan en yüksek ısı enerjide kondensin geri kazanılması
- Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması

8.3.1. Etkin bir buhar kapanı yönetim ve bakım programı oluşturulması

Endüstriyel tesiste etkin bir buhar kapanı yönetimi ve bakım programı oluşturulması çok önemlidir. Büyük tesislerde, yüzlerce buhar kapanı bulunur ve bu buhar kapanları, uygun biçimde çalışmaları yönünden periyodik olarak kontrol edilmelidir. Tesisteki her buhar kapanını kontrol etmek ve en azından yılda bir kez nasıl performans gösterdiğini belirlemek gereklidir. Değişik prensiplere bağlı olarak çalışan çok çeşitli birçok kapan vardır. Buhar kapanlarını incelemek için her bir tipin nasıl çalıştığını anlamak önemlidir. Bununla birlikte, bu kontroller, buhar kapanlarının çalışması ve genel olarak buhar sistemi konusunda eğitilmiş personel tarafından yapılmalıdır. Buhar kapanının çalışması, ultrasonik sensörler ve termometreler gibi uygun ölçüm cihazları kullanılarak değerlendirilir.

Buhar kapanları, önemli bir ekonomik ve/veya operasyonel etkisi olan iki temel durumda arıza yaparlar:

- Arızalı-açık
- Arızalı-kapalı

Arızalı-açık bir buhar kapanı, sistemden "taze" buharın boşalmasına izin verir ve böylece buhar kaçağı oluşur. Arızalı-kapalı bir kapan, kondensi uzaklaştırılmaz ve kondens, buhar kapanı öncesindeki proses ekipmanında birikir. Eğer bu ekipman bir proses eşanjörü ise, kondens birikmesi sonucunda ısıtma yüzeyinde azalma olacağı için ısıtma işlemi olumsuz etkilenecektir. Eğer bu kapan, bir buhar dağıtım hattına hizmet ediyorsa, koç darbesine ve bileşenlerde hasara yol açabilir. Çok iyi korunan bir buhar sistemi de olsa, genellikle her yıl %10'luk bir kapan arızası görülür. Eğer kontrol edilmezse, bu durum önemli ekonomik kayıplara ve sistemde sorunlara yol açabilir.

Değerlendirme sonuçları, kapan için olanlar da dâhil olmak üzere, bir veri tabanında toplanmalıdır:

- İyi ve normal şekilde çalışıyor
- Arızalı-açık ve buhar kaçırıyor
- Arızalı-açık ve az buhar kaçırıyor
- Arızalı-kapalı

Değerlendirme sırasında her arızalı ve kaçak yapan kapan için buhar kaybı tahmini yapılmalıdır. Arızalı bir kapandan maksimum buhar kaybını tespit etmenin en mükemmel yolu, bir orifis hesaplamasını tamamlamaktır (Napier Denklemi'ne bakınız). Bu hesap, belirli bir kapan için maksimum buhar kaybı olarak işlev görür. Eğer akışta dâhili engeller olup olmadığı açık değilse, akıştaki belirsizlik artacaktır. Bununla beraber, buhar kaybı büyüklük tahmini, genellikle ortaya çıkan onarım ihtiyacında önceliği belirlemek için yeterlidir.

Sanayide buhar kapanı performansını araştırmak için aşağıdaki gibi çok çeşitli metodolojiler ve teknikler mevcuttur:

- Görsel
- Akustik
- Isıl
- Çevrim içi gerçek zamanlı izleme

Çoğu zaman, bu yöntemlerden birini kullanmak, buhar kapanının uygun şekilde çalışması için nihai kararı oluşturmaya yetmez. Bununla birlikte, yukarıdaki yöntemlerin bir birleşimi önerilmektedir. Buna ek olarak, buhar kapanlarını kontrol etmek için uygun eğitimin alınmış ve kapan operasyonlarının iyi şekilde anlaşılması bir ön gereklilik olduğundan, bu işlemleri periyodik olarak yaptırmak için dışarıdan hizmet almak da çok iyi bir seçenektir.

Buhar kapanı veri tabanı oluşturmak için, etkin bir buhar yönetim programı olması gereklidir. Bu veritabanı, en azından şu alanları içermelidir:

- Kapan etiket numarası
- Konum
- Kapan tipi
- Model numarası
- İmalatçı
- Kapanın performans için en son kontrol edildiği tarih
- Kapanın takıldığı (ya da arıza sonrası tekrar takıldığı) tarih
- Kapan arızasının nedeni
- Arızalanan kapanı takan ya da değiştiren kişinin adı
- Eğer kapan arızalanıp açık kalırsa olası ekonomik kayıp
- Eğer kapan arızalanıp açık kalırsa olası üretim problemleri
- Eğer kapan arızalanıp kapalı kalırsa olası üretim problemleri
- Arızalı-açık durumunun göstergeleri
- Arızalı-kapalı durumunun göstergeleri

Endüstriyel tesiste ayrıntılı bir buhar kapanı değerlendirmesi yapılmadıkça, buhar kapanı yönetim programının potansiyel yararını belirlemek zordur. Bununla birlikte, tarihi ve istatistiksel olarak ispatlandığı üzere, buhar kapanları tekrar arızalanır ve eğer değiştirilmez ya da tamir edilmezse, arızalı kapanlar, önemli enerji kayıplarının kaynağı, üretimdeki sorunların nedeni olur ve sistem güvenilirliğini kötü biçimde etkiler.

ABD EB SSAT aracı, çok yüksek seviyede brüt potansiyel enerji tahmini ve etkin bir buhar kapan yönetimi ve bakım programı uygulanması ile elde edilebilecek tasarrufları sunmaktadır. Bu durum, tesisteki kapanların sayısına, kapanların tarihsel arıza oranlarına ve tesisteki kapanların en son ne zaman tamir sonrası buhar kapan değerlendirmesi yapıldığına ve/veya değiştirildiğine bağlıdır.

8.3.2. Mevcut kondensin geri kazanılması

Kondens, buhar, tüm ısı enerjisini transfer ettikten ve suya dönüştükten sonra üretilir. Kondens hâlâ önemli miktarda ısı enerjisi mevcuttur. Geri kazanılan her birim kondens, daha az miktarda takviye su gerektiği anlamına gelir. Bundan dolayı, ilâve kondensin geri kazanılması ile şunlar elde edilir:

- Degazörde gereken enerji azalır,
- Takviye su ihtiyacı azalır,
- Su arıtma için gerekli kimyasallar azalır,
- Kanalizasyon için gereken soğutma suyu azalır,
- Blöf miktarı azalabilir.

Kondens geri kazanımının optimizasyonu, mevcut geri dönen kondens miktarının değerlendirilmesi ile başlar. Geri dönen kondens, değişik kollektör seviyelerinde değerlendirilir. Çok büyük buhar dağıtım sistemi olan ve buhar son kullanıcılarının çok sayıda olduğu büyük ölçekli endüstri tesislerinde, kondens geri kazanımı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Kirlenme seviyeleri
- Geri kazanım ekipmanı maliyeti
- Kondens boru tesisatı maliyeti

Kondensteki kirlenmeyi anlık olarak takip edebilecek ticari teknolojiler günümüzde mevcuttur. Bu teknolojiler, kondensi, kirlenmiş kondensin olabileceği alanlar da dâhil olmak üzere tüm olası yerlerden tamamen toplamak için, endüstriyel tesislerde çok başarılı biçimde uygulanmaktadır. Söz konusu teknolojilerin işe yarar olmaları, belirli bir kirlenme seviyesinin ya da kondens iletkenliğinin anlık takip edilmesine bağlıdır. Bu seviyeler aşıldığında, bir boşaltma vanası açılarak kondens kanalizasyona boşaltılır ve aynı anda kazan tesisine geri dönüşleri kapatılır. Her durum, kendine özgü ve uygulamasına bağlı olarak değerlendirilmelidir. Bazen, az miktardaki kon-

densi toplamak ve kazan sistemi besleme suyunu kirletme riskini almak, mali açıdan verimli olmaz.

Geri kazanım ekipmanının ve boru tesisatının maliyeti, son kullanımın, fiziksel olarak kazan tesisine göre konumuna ve kondensin kazan tesisine boruyla taşınacağı mesafeye bağlıdır. Buna ek olarak, tasarım yapılırken, kondensin, elektrik pompası kullanılarak mı geri gönderileceği, yoksa buhar basıncı ve yükseltme istasyonu mu kullanılacağı dikkate alınmalıdır. Kondens toplama tankları, yerel toplama noktaları gibi davranır ve her bir son kullanıcıdan, münferiden, geri pompalanan kondensin proje maliyetini azaltır. Buna ek olarak, kondens toplama tankları ve flaş tanklar, kondens geri dönüş boru tesisatına giren buharın miktarını azaltır ve bu durum da geri dönüş borularındaki debi sınırlamalarını hafifletir. Bu durum, aynı zamanda, kondens geri dönüş sistemlerindeki koç darbesinin giderilmesine de yardımcı olur.

Geri kazanılan kondens miktarı çeşitli yollarla belirlenebilir. Bunlardan bazıları şöyledir:

- Buhar debisi
- Buhar kapalı büyüklüğü
- Proses son kullanım eşanjöründeki enerji ve kütle dengesi
- Tasarım şartları
- Kova ve kronometre (çok dikkatli yapılmalıdır)

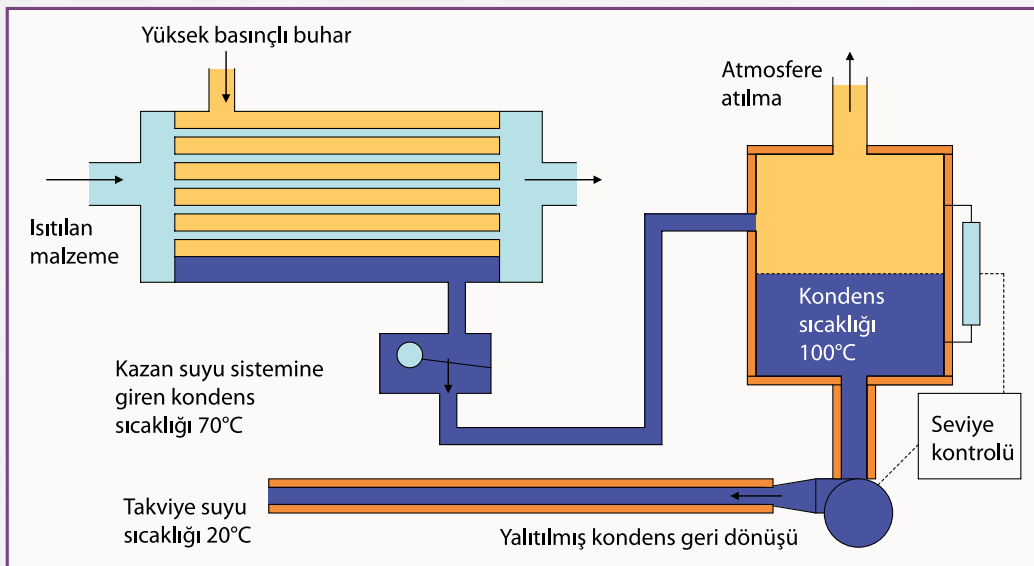
Örnek:

Bir proses tesisinde, son kullanıcı besleme akışını ısıtmak için buhar kullanılmaktadır. Kondens devamlı kanalizasyona atılmaktadır. Kova ve kronometre metodolojisi, kondensin debisinin 50 litre/dk olduğunu ortaya koymaktadır. Son kullanım noktasından kazan tesisine kadar kondensin geri döndürülmesi ve toplanmasının sağlayacağı enerji ve maliyet tasarrufunu tahmin ediniz. Tesiste, herhangi başka bir yerde toplanan mevcut kondens, kazana 70°C sıcaklıkta geri dönmektedir.

Kondens geri kazanım sisteminin bünyeye dâhil edilmesi, tüm kondensi toplayacak ve ortama açılan hava delikli bir kondens tankı gerektirir. Şekil 8.6'da gösterildiği üzere, kondens, daha sonra kazan tesisine pompalanacaktır. Kazandaki kondens geri dönüş sıcaklığının, geri dönen diğer kondenslere benzer şekilde 70°C olacağını varsayınız.

Şekil 8.6. Kondens geri dönüş sistemi

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



Geri döndürülen kondensin kütleli debisi şu şekilde hesaplanabilir:

$$m_{kondens} = V_{kondens} \times \rho_{kondens}$$

Burada $V_{kondens}$ hacimsel debi ve $\rho_{kondens}$ doyma sıcaklığında kondensin yoğunluğudur.

$$m_{kondens} = \frac{50}{60} \times \frac{977,8}{1.000} = 0,81 \text{ kg/s}$$

Eşdeğer takviye su ile karşılaştırıldığında kondensin ısı enerji miktarı şu şekildedir:

$$Q_{kondens} = m_{kondens} \times (h_{kondens} - h_{ilavesu})$$

Burada $h_{kondens}$ 70°C sıcaklıkta kondens entalpisidir (293,1 kJ/kg) ve $h_{takviyesu}$ 20°C sıcaklıkta takviye su entalpisidir (83,9 kJ/kg). Bu değerler, Buhar Tablolarından elde edilmiştir.

$$Q_{kondens} = m_{kondens} \times (h_{kondens} - h_{ilavesu})$$

$$Q_{kondens} = 0,81 \times (293,1 - 83,9) = 169,5 \text{ kW}$$

Endüstriyel buhar sisteminde takviye su, degazördeki buhar ile ısıtılabilir. Bu da gerçek yakıt tasarrufları için kazan verimlerinin de dâhil edilmesi gerektiği anlamına gelir. Bununla beraber, sistem yaklaşımı ile kondens geri dönüşü için yakıt ve maliyet tasarrufları şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{sistem} = \frac{Q_{kondens}}{\eta_{kazan}} = \frac{169,5}{0,80} \approx 212 \text{ kW}$$

$$\sigma_{kondens} = \frac{Q_{sistem} \times k_{yakıt} \times T}{HHV_{yakıt}} = \frac{212 \times 1,0 \times 3.600 \times 8.760}{40.144} \approx 166.500 \text{ \$/yıl}$$

Yukarıda yapılan kondens hesaplamaları, optimizasyon fırsatlarının çok doğru biçimde ölçülmesini sağlar. Buna rağmen, kondens geri dönüşü, tüm sistemi etkiler ve kondensin gerçek etkilerini değerlendirmek için, genelde ayrıntılı bir sistem modeli kullanılması tavsiye edilir. Su maliyetleri (kimyasal arıtma dâhil), maliyet tasarruflarının büyük bir bölümünü oluşturduğundan ihmal edilmemelidir.

8.3.3. Mümkün olan en yüksek ısı enerjide kondensin geri kazanılması

Daha yüksek kondens geri dönüş sıcaklıklarının, degazörde daha az ısı enerjisi gerektirdiği yukarıda açıkça dile getirilmiştir. Bu durum, doğrudan buhar ve enerji maliyeti tasarrufuna dönüşür. Bu optimizasyon fırsatı, çok basit bir yöntemle yukarıdaki fırsatta açıklanmış ve gösterilmiştir. Ancak, yüksek sıcaklıktaki kondens toplamak ve geri dönüşünü sağlamak, özen isteyen bir durumdur. Eğer özen gösterilmezse, bu, operasyonel problemlere neden olabilir. En fazla endişelendiren konu, kondens geri dönüş hatlarında meydana gelebilecek flaş buharlaşma durumudur. Kondensin değişik yerlerden karıştığı ve kondensin geri dönüşleri arasında büyük sıcaklık farkı bulunan basamaklı bir sistemde, bu problem daha büyük yaşanabilir.

Fazladan ısı enerjisi ortadan kaldırmak için bir kondens tankı/flaş tankına (ortama açılan havalandırma delikli) sahip olunması seçeneği ile karşılaştırıldığında, yüksek sıcaklık kondens geri dönüşünün getirdiği ilâve maliyete buhar sistemi optimizasyon stratejisi açısından ağır basar.

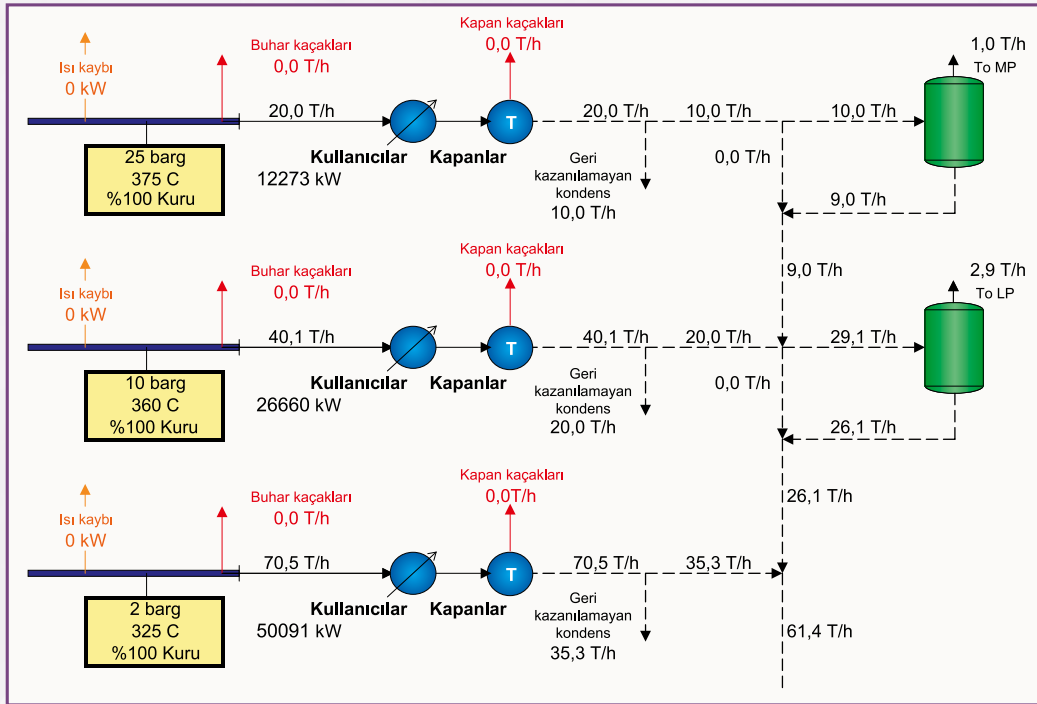
Kondensin miktarına bağlı olarak, bu ısı enerjisi büyük olabilir. Kondens yakalamak ve olabilecek en büyük ısı enerjisi ile kazan tesisine geri döndürmek için her türlü çaba gösterilmelidir.

8.3.4. Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması

Değişik basınç seviyelerinde buhar kullanımı olan endüstriyel tesislerde, bu optimizasyon fırsatı, işletme enerjisini ve maliyetini önemli oranda etkiler. Daha önce belirtildiği üzere, kondens, çok fazla ısı enerjisi içerir ve eğer yüksek basınçtaysa, toplanabilir ve düşük basınçlı buhar üretmek için flaş buharlaştırma yapılabilir. Konumuna ve buhar kollektörlerine ya da son kullanıcılara olan yakınlığına bağlı olarak, bu düşük basınçlı buhar, doğrudan, kazanda üretilen düşük basınçlı buhar kollektöründeki "taze" buhar yerine kullanılabilir.

Bu optimizasyon fırsatı, açık şekilde, gerçek ekonomik etkilerini değerlendirmek için bir katı termodinamik buhar sistem modeline ve fırsat kaynaklarını elde etmek için bir ABD EB SSAT aracı kullanmaya ihtiyaç duyar. Şekil 8.7'de, düşük basınçlı buhar üretmek için, yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırmanın etkilerini göstermek amaçlanmış, bunun için SSAT aracında bir endüstriyel buhar sistemi dengesinin basit bir anlık gösterimi verilmiştir.

Şekil 8.7. Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması





Bölüm 9

Birleşik Isı ve Güç (CHP) Optimizasyon Fırsatları

Buhar, sanayide esas olarak proseslere ısı sağlamak üzere üretilir. Bununla birlikte, buhar, aynı zamanda güç üretmek ya da bir pompa, kompresör, fan gibi dönen mekanik ekipmanı tahrik etmek için de kullanılabilir. Genellikle, bu güç, buhar türbinleri vasıtasıyla oluşturulur. Buhar türbinleri, buhar tüketmezler ve dolayısıyla buhar son kullanıcıları olarak kabul edilmezler. Bu bölümde, sanayi tesislerindeki farklı türde buhar türbinlerinin ayrıntıları ve kojenerasyon olarak da bilinen birleşik ısı ve güç (CHP) ile ilgili optimizasyon fırsatları yer almaktadır.

9.1. Genel Bakış

Bir endüstriyel tesisin işletilmesi için, hem güç hem de ısı enerjisi aynı anda gereklidir. Genellikle bir endüstriyel tesisin, belirli miktarda elektrik arzı için elektrik üreten/satan bir tedarik şirketi ile yapılmış bir anlaşması vardır. Değişik tipte güç anlaşmaları vardır, ancak genelde, bir endüstriyel tesis, elektrik şebekesinden satın aldığı güç miktarı için belirli bir bedel öder. Merkezi güç santrallerinden tipik Rankine çevrimi ile şebekeye sağlanan elektrik %35-42 ısı verime sahiptir. Bu oran, güç üretim sahasında (santralde), ortama (soğutma kulesi, nehir suyu vb. vasıtayla) verilmek yoluyla büyük miktarda bir ısı enerjisi kaybı yaşandığına işaret etmektedir.

Ayrıca endüstriyel tesis, ısı talepleri karşılamak üzere kazanları ya da diğer doğrudan yakılan proses ısıtma ekipmanını çalıştırmak için tedarik şirketinden yakıt satın alır. Alternatif olarak, buhar sistemine sahip bir endüstriyel tesis, buhar türbini vasıtasıyla güç üreten ve daha sonra proseslerdeki ısı talebi sağlamak için egzoz buharı kullanan bir üst çevrimi çalıştırabilir. Birleşik ısı ve güç sistemli bir endüstriyel tesis için, genel ısı verim %70 ya da daha fazla olabilir. Bu durum, endüstriyel sistemlerde CHP optimizasyon fırsatlarının uygulanması için ana nedendir. Endüstriyel tesislerde, CHP ile son derece güvenilir bir güç kaynağı yapılandırması da dâhil olmak üzere, önemli miktarda enerji ve maliyet tasarrufu elde edilebilir. Bununla birlikte, CHP optimizasyon fırsatı ile ilgili, büyük yatırım maliyetinin yanı sıra, bir miktar potansiyel işletim maliyeti de ortaya çıkabilir.

Merkezi elektrik güç üretimi ile karşılaştırıldığında, CHP her zaman enerji bakımından daha verimlidir. Ancak, CHP'nin maliyet etkinliği ve işletme ekonomisi, endüstriyel tesis için her zaman yararlı olmak zorunda değildir. Her endüstriyel tesisin CHP analizi benzersizdir ve genel kurallardan bağımsız olarak yapılmalıdır. CHP işleminin genel ekonomisi şu faktörlere bağlıdır:

- Birim veya marjinal elektrik maliyeti
- Birim veya marjinal yakıt maliyeti
- Kazan verimi
- Buhar türbin verimi
- Isıl talep
- Isıl talebin ve elektrik talebinin zamanlaması

Herhangi bir CHP sisteminin çalışması ile ilgili olarak, genellikle cevaplanması gereken başlıca sorular şunlardır:

- Kojenerasyonun gerçek ekonomik etkisi nedir?
- Ne zaman uygulanabilir?
- Çalıştırmak ya da kapatmak için
 - o Kurmak için
 - o Kapatmak için
- Buhar sisteminde, eğer varsa, ne gibi değişiklikler gerekecektir?
- Elektrik şebekesi sistemi ve bağlantıları için, eğer varsa, ne gibi değişiklikler gerekecektir?

9.2. Buhar Türbinleri

Kazan-buhar türbini CHP sistemlerini optimize ederken, buhar türbini işlemlerinin tam olarak anlaşılması gerekecektir. Buhar türbinleri, buhardaki ısı enerjisiyi mil gücüne dönüştüren cihazlardır. Buhar türbinleri, buharın hızını artıran ve buhar jetini odaklanılan akış yoluna yönlendiren bir nozuldan geçen yüksek basınçlı buharla çalışır. Bu yüksek hızlı buhar jeti, kanada çarpmaya yönlendirilmiştir. Kanat, buhar jetinin enerjisini, kanat üzerinde bir kuvvete dönüştürecek şekilde ayarlanır. Kanat, serbest şekilde dönen bir mil üzerine monte edilir. Bunun bir sonucu olarak, kanat üzerindeki kuvvet, mil torkuna ve mil dönme işine dönüştürülür. Buhar türbinleri, sabit bir dış kabuk ve döner bir iç mil ile donatılmıştır. Dış kabuk, buharı sınırlayarak nozullar ve tüm sabit parçaların tutturulduğu bir mesnet işlevi görür. Döner mil, türbin kanatları ile donatılmış olup, türbinden mekanik gücün toplanması ve aktarılması işlevini görür.

Buhar türbini aynı mil üzerinde tek kanatlı tekerlek veya birden fazla kanatlı tekerlek olarak tasarlanabilir. Tek bir nozul, bir tekerleğe buharı yönlendirir veya birçok nozul, buharı tek tekerleğin segmentlerine yönlendirebilir. Eğer bir türbinin birden fazla kademe kanatları varsa, birden fazla kademe nozulu olacaktır. Nozullar, akış yukarıya kanatlarından buharın toplanması, buhar hızının artırılması, odaklanmış bir jet içine buharın yönlendirilmesi ve kanatlara buharın doğrultulması işlevlerini görür.

Tüm buhar türbinleri, yüksek basınçlı buharı alır ve düşük basınçlı buharı boşaltır. Operasyonlarına ve buhar akış yapılandırmalarına dayalı olarak, buhar türbinleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

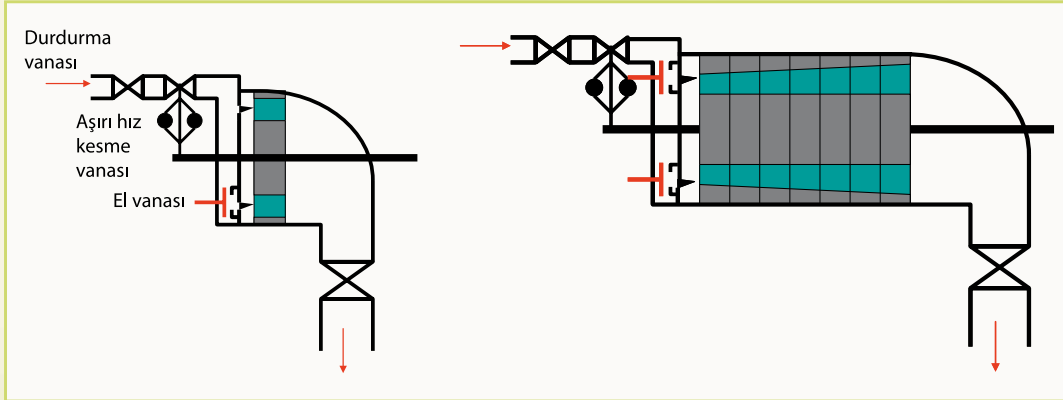
- Karşı basınçlı
- Ara kademeli
- Yoğuşmalı
- Yukarıdakilerin bir birleşimi

9.2.1. Karşı basınçlı türbin

Karşı basınçlı türbin, atmosferik basıncın üzerinde, bir buhar kollektörüne buharı boşaltır. Ayrıca, karşı basınçlı türbinler, üst çevrim türbinleri ya da yoğuşmasız türbinler olarak da bilinir. Karşı basınçlı türbinler, endüstriyel tesislerde en fazla kullanılan türbinlerdir. Karşı basınçlı türbinler, her zaman basınç düşürme istasyonları ile beraber kullanılır ve her zaman basınç düşürme istasyonlarına paralel olarak, iki buhar kollektörünün arasına yerleştirilir. Karşı basınçlı türbinler, tek kademeli (Şekil 9.1'in sol tarafı (a)) ya da çok kademeli (Şekil 9.1'in sağ tarafı (b)) olabilir. Genel olarak, çok kademeli türbinler, tek kademeli türbinlerden daha verimlidir.

Şekil 9.1. Karşı basınçlı buhar türbinleri

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)

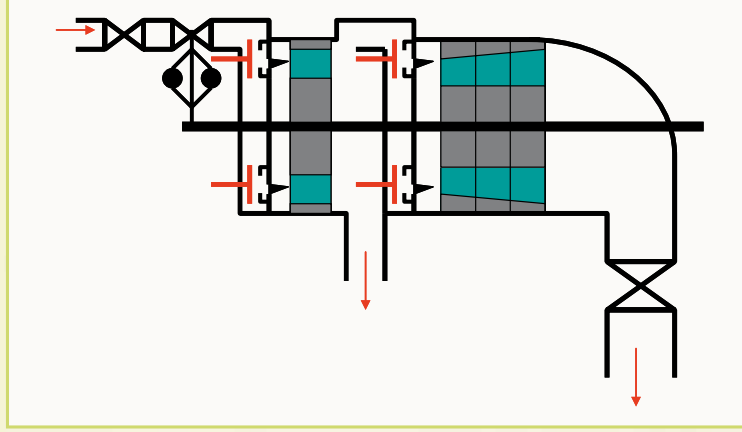


9.2.2. Ara kademeli türbin

Karşı basınçlı ara kademeli türbin, buharın girişi ve çıkışı arasında, ara basınçlarda, ara buhar alımı için, ilâve bir ya da daha fazla deliğe sahip, karşı basınçlı bir türbindir. Karşı basınçlı ara kademeli türbinler, ayrıca, aynı mil üzerinde çalışan çoklu türbinler olarak da düşünülebilir. Çok kademeli basınç kollektörlerine sahip endüstriyel tesislerde, çok yaygın olarak bulunurlar. Buhar kollektörlerini dengelemek ve ara kollektörler üzerinden dışarı atılan buharı ortadan kaldırmak için ara kademeli türbin mükemmel bir adaydır. Şekil 9.2'de, karşı basınçlı ara kademeli türbin şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 9.2. Karşı basınçlı ara kademeli türbin

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)

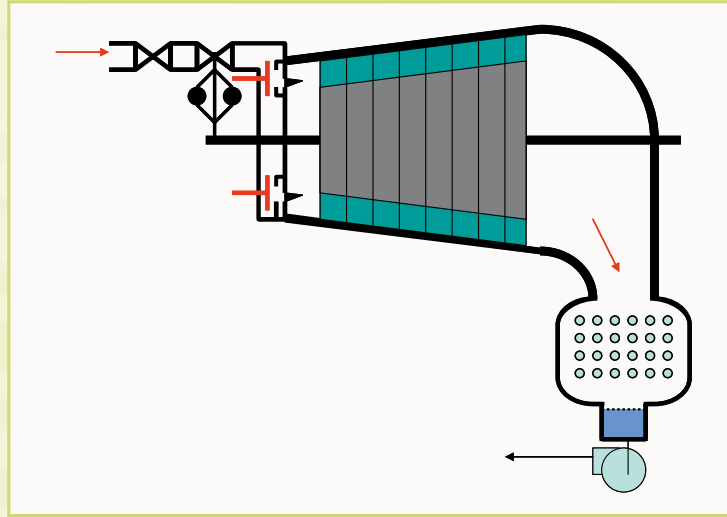


9.2.3. Yoğuşmalı türbin

Yoğuşmalı türbin buhar kollektörüne buhar boşaltmaz, bunun yerine atmosfer basıncının altında yüzey yoğuşturucuya buhar boşaltır. Yoğuşmalı buhar türbininden çıkan buharın termodinamik kalitesi, genellikle % 90'dan fazladır. Buhar, yüzey yoğuşturucuya girdiğinde, önemli miktarda ısı enerjisi içerir. Yoğuşturucu, gövde tarafında buharın yoğuşmasını sağlamak için borularda soğutma kulesi suyu (ya da nehir suyu) kullanır. Doymuş su (kondens) daha sonra yoğuşturucudan çıkarılır ve kazan tesisine geri pompalanır. Yoğuşmalı türbinler büyük birimlerdir ve ağırlıklı olarak enerji üretmek veya santrifüj soğutucular, hava kompresörleri, vb. büyük mekanik ekipmanları tahrik etmek için kullanılır. Şekil 9.3'te şematik olarak bir yoğuşmalı türbin gösterilmiştir.

Şekil 9.3. Yoğuşmalı türbin

(Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi)



Yoğuşmalı-ara kademeli türbin, ara kademeli ve yoğuşmalı türbinin birleşimidir. Buharı ve aynı zamanda güç talebini dengelemek için yaygın şekilde kullanılmaktadır.

9.3. Buhar Türbini Verimi

Buhar türbin verimi, Termodinamiğin Birinci Kanunu'na uyan kazan verimi gibi değildir. Buhar türbin verimi, Termodinamiğin İkinci Kanunu ile ilişkilidir ve aynı giriş koşulları ve çıkış basıncında, gerçek türbin çalışmasının mükemmel türbin çalışması ile karşılaştırılmasıdır. Bununla birlikte, ayrıca türbin izantropik verimi olarak da ifade edilmektedir.

Türbin izantropik verimi, aynı giriş koşulları ve çıkış basıncında (çıkış sıcaklığı değil!), gerçek türbin işletiminin mükemmel (ideal) türbin işletimi ile karşılaştırılmasıdır. Matematiksel olarak bu durum şu şekilde ifade edilir:

$$\eta_{turbine} = \frac{\text{Gerçek Türbin Şaft Gücü}}{\text{İdeal Türbin Şaft Gücü}}$$

$$\eta_{turbine} = \frac{m_{buhar} (h_{giris} - h_{cikis})_{gercek}}{m_{buhar} (h_{giris} - h_{cikis})_{ideal}} = \frac{(h_{giris} - h_{cikis})_{gercek}}{(h_{giris} - h_{cikis})_{ideal}}$$

Örnek:

Buhar giriş koşulları 25 bar ve 375°C olan karşı basınçlı bir buhar türbini tarafından üretilen mil gücünü ve izantropik verimi hesaplayınız. Çıkış koşulları 2 bar ve 271°C sıcaklıktır. Türbinin kısılmış buhar akışı 21 t/h'dır. Buharın termodinamik özellikleri sıcaklık ve basınç koşulları için Buhar Tablolarından şu şekilde elde edilir:

Gerçek Türbin:

$$h_{giris} = 3.180,9 \text{ kJ/kg (25 bar ve 375°C için)}$$

$$h_{cikis} = 3.009,8 \text{ kJ/kg (2 bar ve 271°C için)}$$

İdeal Türbin:

$$h_{giris} = 3.180,9 \text{ kJ/kg (25 bar ve 375°C için)}$$

$$h_{cikis} = 2.692 \text{ kJ/kg (2 bar ve giriş koşullarıyla aynı entropi)}$$

Buhar türbin verimi için elde edilen veriler, yukarıda entalpi farkı cinsinden verilen verim denkleminde konulur:

$$\eta_{turbine} = \frac{(h_{giris} - h_{cikis})_{gercek}}{(h_{giris} - h_{cikis})_{ideal}}$$

$$\eta_{turbine} = \frac{(3.180,9 - 3.009,8)}{(3.180,9 - 2.692)} = 0,35$$

Türbin izantropik verimi %35 olarak hesaplanmıştır. Bu gerçek türbinden elde edilen mil gücü şu şekilde hesaplanır:

$$W_{gercek} = m_{buhar} (h_{giris} - h_{cikis})_{gercek}$$

$$W_{gercek} = \frac{21.000}{3.600} \times (3.180,9 - 3.009,8) = 1.000 \text{ kW}$$

İdeal türbin mil gücü, ayrıca, yukarıdaki denklemden şöyle hesaplanabilir. İdeal türbin mil gücü, teorik olarak buhar giriş şartları ve çıkış basıncı için mümkün olan maksimum iş olacaktır.

$$W_{ideal} = m_{buhar} (h_{giris} - h_{cikis})_{ideal}$$

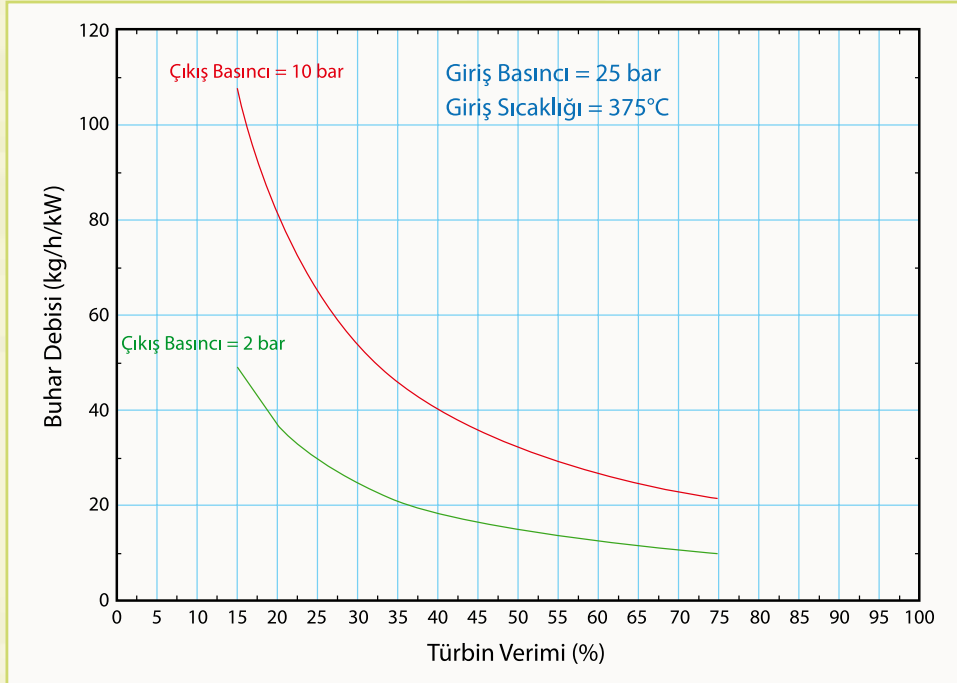
$$W_{ideal} = \frac{21.000}{3.600} \times (3.180,9 - 2.692) = 2.850 \text{ kW}$$

Bir buhar türbini %15-85 aralığında bir verime sahip olabilir. Düşük izantropik verimi olan bir buhar türbini, ısı enerjisi mil gücüne çevirme yeteneğinin iyi olmadığına işaret etmektedir. Bu nedenle, buhar, karşı basınçlı türbinden çıktığında ısı enerjisinin çoğunu muhafaza etmektedir ve bu enerji, sanayi proseslerinin ısı enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılırsa, kazan veriminde olduğu gibi, birinci yasa verimi dikkate alındığında, kayıp olmadığı söylenebilir. Yukarıdaki tartışmaya bir istisna olarak, yoğuşturucu yüzeyindeki soğutulmuş su vasıtasıyla türbinden atılan ısı enerjisinin tamamının kullanıldığı yoğuşmalı türbin sayılabilir.

9.4. Buhar Debisi

Buhar debisi, belirli bir miktar gücü elde etmek için gereken buhar miktarını tanımlamada kullanılan bir ifadedir. Bu tabir sanayide, yaygın olarak, gerçek bir türbinin performansını belirtmek için kullanılır. Verili giriş şartları ve egzoz basıncı için, buhar debisi türbin verimi ile ilişkilendirilebilir. Buna rağmen, buhar debisi, giriş ve çıkış koşullarına oldukça bağlıdır. Türbinin girişini kısmak, türbin izantropik verimini değiştirebilir, ama buhar debisini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, buhar debileri ile çalışırken ve buhar debileri kullanılarak türbin performansları karşılaştırılırken dikkatli olunmalıdır. Şekil 9.4'te buhar debileri ile türbin verimini ilişkilendiren tipik bir grafik görülmektedir.

Şekil 9.4. Buhar debisi ve buhar türbin verimi



9.5. CHP Optimizasyonu ve En İyi Uygulamalar

Endüstriyel buhar sistemlerinde, CHP optimizasyon fırsatı, hemen hemen her zaman buhar türbinlerinin değişen faaliyetlerinin ekonomik faydasını anlamaya dayanır. Endüstriyel CHP uygulamalarında, iki ana türbin konfigürasyonu ile karşılaşılır:

- Karşı basınçlı
- Yoğuşmalı

9.5.1. Karşı basınçlı türbinle CHP optimizasyon fırsatı

Bu fırsat, son kullanıcı proseslerin buhara ihtiyaç duyduğu, birden fazla buhar seviyesi olan endüstriyel tesislerde özellikle ortaya çıkar. Buna ek olarak, basınç düşürme vanalarından geçen sürekli buhar akışı, tesisin bir karşı basınçlı türbin kullanarak CHP optimizasyonu yapılması için iyi bir aday olduğunu göstermektedir. Bu optimizasyon fırsatının değerlendirilmesi, ayrıntılı buhar sistem termodinamik modellerin kullanılmasını gerektirebilir. Değerlendirme metodolojisi, aşağıda bir endüstriyel tesis kullanılarak örneklenmiştir.

Örnek:

%80 verim ile çalışan bir metan gazı kazanı, 25 bar ve 375°C sıcaklıkta kızgın buhar üretmektedir. Son kullanım prosesi için ısıl talep 14.300 kW'tır ve 2 barlık buhar gerektirmektedir. Mevcut durumda, bu buhar, basınç düşürme vanasından (PRV) geçerek akmaktadır. 100 kW'lık bir elektrik gücü gerektiren pompayı doğrudan tahrik eden bir karşı basınçlı buhar türbini kullanarak, bir CHP optimizasyonu uygulamasının ekonomik faydasını tahmin ediniz. Buhar türbin izantropik veriminin %35 olarak gerçekleşeceği beklenmektedir. Birim yakıt maliyeti 1 \$/Nm³ ve birim elektrik maliyeti 0,10 \$/kWh'tir.

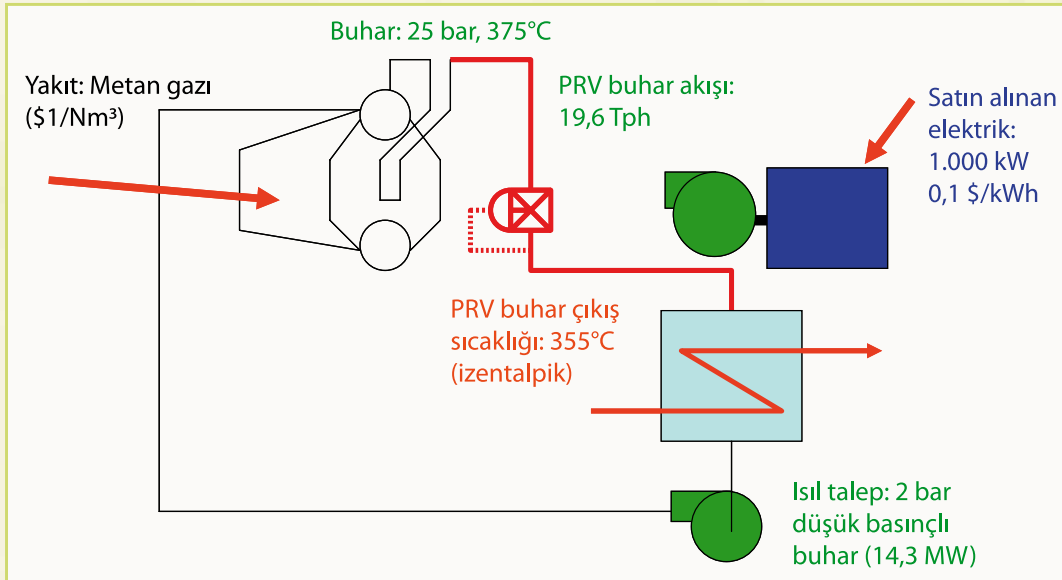
Şekil 9.5'te, bir endüstriyel tesiste mevcut işletim açıklanmıştır. Isıl son kullanıcı talebine göre, basınç düşürme vanasından (PRV) geçen buhar debisi şu şekilde hesaplanır:

$$Q_{\text{sonkullanım}} = m_{\text{PRV}} (h_{\text{PRV}} - h_{\text{kondens}})$$

$$m_{\text{PRV}} = \frac{Q_{\text{sonkullanım}}}{(h_{\text{PRV}} - h_{\text{kondens}})} = \frac{14.300}{(3.180,9 - 562,2)} = 5,45 \text{ kg/s} = 19,63 \text{ Tph}$$

Burada $Q_{\text{sonkullanım}}$ ısıl talep; h_{PRV} PRV'den çıkan ve son kullanıma giren buhar entalpsisi; h_{kondens} ise son kullanımdan çıkan kondensin entalpsisidir.

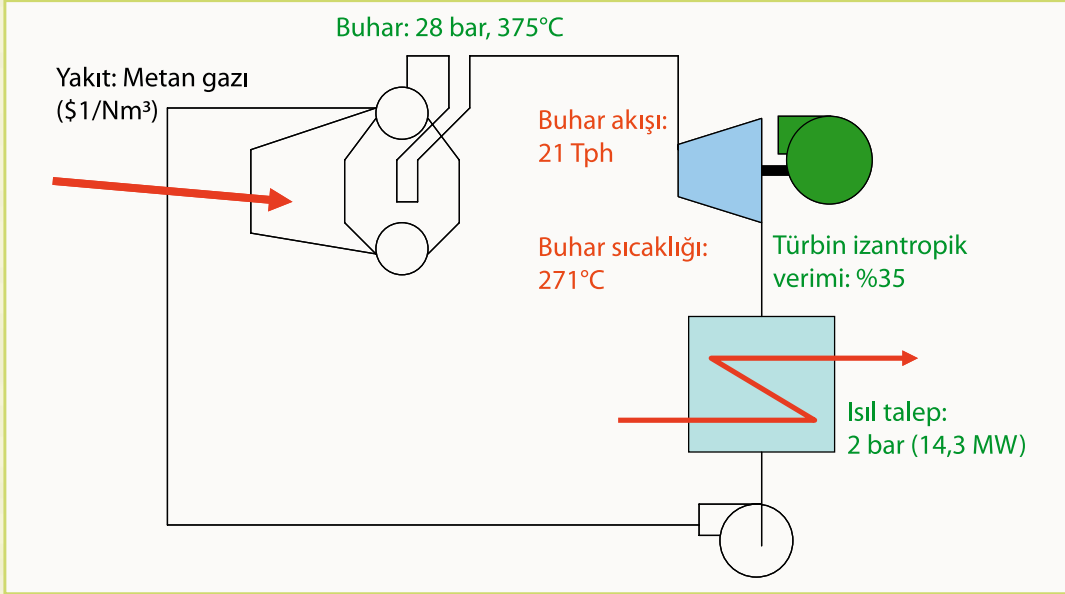
Şekil 9.5. PRV kullanan endüstriyel tesiste mevcut işletim



CHP optimizasyon fırsatı, 25 bardan 2 bara kadar buhar basıncını azaltacak bir karşı basınçlı buhar türbini uygulayacaktır. Bunu gerçekleştirirken CHP ünitesi pompayı tahrik ederek mil döndürme işi yapacak ve şebekeden 1.000 kW'lık elektrik alımını dengeleyecektir. Buhar türbini, buhardan enerjiyi alacak ve türbinden çıkan buhar entalpsisini azaltarak mil enerjisine dönüş-

türecektir. Bunun anlamı PRV ile karşılaştırıldığında, buharın türbinden daha düşük bir sıcaklığa sahip olarak çıkacağıdır. Mevcut işletimde, aynı ısı talebini karşılamak için, buharın hacimsel debisinde net bir artış olacaktır. Bu ilâve buhar, kazanda üretilcek ve operasyonlar için yakıt enerji maliyeti artacaktır. Şekil 9.6, buhar türbini ve CHP endüstriyel uygulaması ile yeni yapılandırmayı göstermektedir.

Şekil 9.6. Buhar türbini kullanan bir endüstriyel tesiste CHP konfigürasyonu



Şekil 9.5 ve 9.6 karşılaştırıldığında, son kullanıcıya giren buhar sıcaklığının 355°C'den 271°C'ye düştüğü görülmektedir. Isıl son kullanıcı talebine bağlı olarak, buhar türbininden geçen buharın debisi şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q_{\text{sonkullanım}} = m_{\text{türbin}} (h_{\text{türbin}} - h_{\text{kondens}})$$

$$m_{\text{türbin}} = \frac{Q_{\text{sonkullanım}}}{(h_{\text{türbin}} - h_{\text{kondens}})} = \frac{14.300}{(3.009,8 - 562,2)} = 5,83 \text{ kg/s} = 21,0 \text{ Tph}$$

Burada $Q_{\text{sonkullanım}}$ ısı talebi; $h_{\text{türbin}}$ buhar türbininden çıkan ve son kullanıcıya giren buhar entalpisi; ve h_{kondens} son kullanıcıdan çıkan kondensin entalpisidir.

Bu CHP optimizasyonu fırsatı ile ilgili enerji maliyeti tasarrufu şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{\text{elektrik}} = kW \times T \times k_{\text{elektrik}}$$

$$\sigma_{\text{elektrik}} = 1.000 \times 8.760 \times 0,10 = 876.000 \text{ \$/yıl}$$

Yakıt enerji maliyeti bu CHP optimizasyon fırsatı ile bağlantılı olarak şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{\text{yakıt}} = (m_{\text{türbin}} - m_{\text{PRV}}) \times \frac{(h_{\text{buhar}} - h_{\text{beslemesuyu}})}{\eta_{\text{kazan}} \times HHV_{\text{yakıt}}} \times k_{\text{yakıt}} \times T$$

$$\sigma_{\text{yakıt}} = (21,0 - 19,63) \times 1.000 \times \frac{(3.180,9 - 463,5)}{0,80 \times 40.144} \times 1,0 \times 8.760$$

$$\sigma_{\text{yakıt}} = 1.038.000 \text{ \$/yıl}$$

Böylece, bu CHP optimizasyon fırsatının net ekonomik yararı şu şekilde ortaya çıkar:

$$\sigma_{CHP} = \sigma_{elektrik} - \sigma_{yakıt}$$

$$\sigma_{CHP} = 876.000 - 1.038.000 = -162.000 \$/yıl$$

Bu örnek açıkça göstermiştir ki, CHP optimizasyon fırsatı, bu endüstriyel tesis uygulamasında geçerli bir çözüm değildir.

CHP optimizasyon fırsatının ekonomik faydasını etkileyen temel parametreler kullanılarak bir parametrik analiz yapılmıştır. Bu parametrik analizin sonuçları aşağıda Tablo 9.1'de verilmiştir. Bu endüstriyel tesis uygulamasında, CHP optimizasyon fırsatının ekonomik olarak mantıklı olduğu açık biçimde görülmektedir.

Tablo 9.1. Karşı basınçlı buhar türbin CHP optimizasyon fırsatı için parametrik analiz

| Güç Maliyeti (\$/kWh) | Yakıt Maliyeti (\$/GJ) | Türbin Verimi (%) | SSAT Kazan Verimi (%) | İlave Güç (kW) | İlave Buhar (Tph) | Maliyet Tasarrufları (1000 \$/yıl) |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 0.100 | 25.0 | 35.0 | 81.7 | 998 | 1.5 | (221) |
| 0.125 | 25.0 | 35.0 | 81.7 | 998 | 1.5 | (2) |
| 0.100 | 12.5 | 35.0 | 81.7 | 998 | 1.5 | 325 |
| 0.100 | 5.4 | 35.0 | 86.7 | 998 | 1.5 | 650 |
| 0.100 | 25.0 | 65.0 | 81.7 | 1,853 | 2.8 | (409) |

Tablo 9.1'de ABD EB SSAT modeli ve buhar türbini uygulama projesi gösterilmiştir. Tablodaki sonuçları elde etmek için birim güç maliyeti, birim yakıt maliyeti, buhar türbini verimi, birim kazan verimi ayrı ayrı değiştirilmiştir. Her bir CHP optimizasyon fırsatını göstermek ve ekonomik olarak uygulanabilirliği ile ilgili tüm soruları cevaplamak için, ayrıntılı bir çalışma ve parametrik analiz gerekecektir.

9.5.2. Yoğuşmalı türbinle CHP optimizasyon fırsatı

Kelimenin tam anlamıyla CHP tanımı açısından bakıldığında, yoğuşmalı türbin işlemleri mutlaka CHP optimizasyon fırsatları altında değerlendirilmez. Bununla birlikte, yine de burada ele alınacaktır. Çünkü analiz ilkeleri, karşı basınçlı buhar türbini olan durumlarda tartışılanlarla aynıdır. Temel fark, yoğuşmalı türbinden geçen buhar, buhar kollektörüne atılmamakta ve herhangi bir ısı talebi de karşılamamaktadır. Aslında buhar, türbin çıkışındaki yüzey yoğuşturucuda yoğuşturulmuştur. Bu nedenle, buhar, tüm ısı enerjisini yüzey yoğuşturucu boruları içinde akan soğutma suyuna kaybeder. Yoğuşmalı türbin, ortama olan ısı enerji kayıplarını minimize etmek için buhardan elektrik üretimini maksimize etmeyi hedeflemektedir.

Yoğuşmalı türbin işlemlerini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Birim güç maliyeti
- Birim yakıt maliyeti
- Türbin verimi
- Kazan verimi
- Türbin çıkış basıncı

Türbin tarafından üretilen güç, giriş ve çıkış basınçları arasındaki basınç oranının bir fonksiyonudur. Genellikle, giriş basıncı, buhar üretim basıncı veya buhar sistemindeki düşük basınç

kollektöründeki basınç olarak alınır. Çıkış basıncı ise üretilen gücün miktarını belirlemede önemli bir rol oynar. Türbinin çıkış basıncı, yüzey yoğuşturucu ile kontrol edilir ve bu basınç tasarım şartlarına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Tasarım şartlarında, yoğuşturucu basıncını elde etmek için hedeflenmesi gereken birçok alan vardır:

- Yoğuşturucudan yoğuşmayan gazların atılması
- Yoğuşturucunun periyodik olarak temizlenmesi
- Sıcaklığı düşürülmüş su ile yoğuşturucunun beslenmesi
- İlâve soğutma suyu ile yoğuşturucunun beslenmesi

CHP optimizasyon fırsatı ile ilgili yoğuşmalı türbinin değerlendirmesi, ABD EB SSAT aracı gibi ayrıntılı bir termodinamik buhar sistemi modeli gerektirecektir. Tablo 9.2'de, 25 bar ve 375°C sıcaklıkta giren ve 0,1 bar (mutlak) basınçta çıkan buhar kullanan bir yoğuşmalı türbin endüstriyel uygulamasının parametrik analizi gösterilmektedir. Kazan verimi %80 olarak elde edilmiştir ve yakıt maliyeti ile türbin verimi değişmektedir.

Tablo 9.2. Yoğuşmalı türbin CHP optimizasyon fırsatı için parametrik analiz

| Yoğuşmalı Türbin Birim Güç Maliyeti | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|-----|
| Yakıt Maliyeti [\$/GJ] | Birim Yoğuşmalı Güç Maliyeti [\$/MWh] | | |
| | Türbin İzantropik Verimi (%) | | |
| | 40 | 60 | 80 |
| 2,0 | 56 | 39 | 30 |
| 4,0 | 111 | 78 | 60 |
| 6,0 | 167 | 116 | 89 |
| 8,0 | 223 | 155 | 119 |
| 10,0 | 278 | 194 | 149 |
| 12,0 | 334 | 233 | 179 |
| Buhar Girişi | 25 | bars | |
| Buhar Girişi | 375 | °C | |
| Buhar Çıkışı | 0,1 | bar(a) | |

Tablo 9.2'de, farklı türbin izantropik verimi ve birim yakıt maliyetlerine bağlı olarak yoğuşmalı türbin elektrik üretim maliyetleri gösterilmektedir. Görüleceği üzere, MWh başına 100 \$'dan elektrik satın alan bir endüstriyel tesis için, analizde dikkate alınan türbin verimliliğinden bağımsız olarak, sadece birim yakıt maliyetlerinin GJ başına 2,0 \$ veya daha düşük olduğu durumlarda yoğuşmalı türbini çalıştırmak maliyet etkin olacaktır. Ama birim yakıt fiyatı GJ başına 4,0 \$'a kadar yükseldikçe, ekonomik açıdan faydalı olması için türbin verimlerinin %60 veya daha yüksek olması gerekmektedir. GJ başına birim yakıt maliyetinin daha da artarak 6,0 \$'a çıkması durumunda, %80 ya da daha yüksek türbin çalışma verimi gerekecektir. Maliyetler GJ başına 8,0 \$ ve daha yükseğe çıktığında ise, eğer elektrik enerjisi MWh başına 100 \$'a şebekeden satın alınabiliyorsa, yoğuşmalı türbin CHP işlemleri hiçbir şartta ekonomik bir seçenek olmayacaktır.

Yoğuşmalı türbinde CHP optimizasyon fırsatları uygulandığında, bunun büyük çaplı buhar akışı değişikliklerine neden olduğu gözönünde bulundurulmalıdır. Yoğuşmalı türbinin açık (on) hale getirilmesi için bir başka kazanın açık (on) hale getirilmesi gerekebilir ve bir yoğuşmalı türbinin kapalı (off) duruma getirilmesi bir kazanın kapanmasına yol açabilir. Bu değişiklikler birim kazan ve birim yakıt maliyetlerini değiştirebilir. Tüm ekonomik analizin, buhar debisindeki büyük değişiklikleri hesaba katarak yapıldığından emin olunmalıdır.



Bölüm 10

Buhar Sistemi Değerlendirme Raporu

Bir sisteme özgü enerji değerlendirmesinin, sanayinin beklentileri ve enerji etütçülerinin sağladığı bildirimler doğrultusunda belirlenen bir protokolü takip etmesi çok önemlidir. Enerji endüstrisinin yıllar içinde önemli ölçüde gelişmesiyle birlikte, birçok farklı tanım, beklenti, ihtiyaç ve istek ortaya çıkmıştır. 2009 yılına kadar, ne sistem-spesifik enerji değerlendirme standardı ne de sistem-spesifik enerji değerlendirme yapmaya uygun protokoller mevcut idi. 2009 yılında ABD Enerji Bakanlığı, sanayideki konuyla ilgili uzmanlar ve Amerikan Makine Mühendisleri Odası (ASME) tarafından yürütülen müşterek çabaların sonucunda, dört yeni sistem-spesifik enerji değerlendirme standardı oluşturulmuştur. Bunlar:

- Proses Isıtma Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-1-2009)
- Pompa Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-2-2009)
- Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-3-2009)
- Basınçlı Hava Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-4-2010)

Bu standartlar Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) tarafından ulusal standartlar olarak onaylanmış olup halihazırda kamuya açıktır.

Kitabın bu bölümünde, Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-3-2009) standardı oldukça yoğun olarak kullanılmıştır. Buhar sistemi enerji uzmanları ve danışmanlarının, standardın bir kopyasına sahip olması beklenmektedir. Bu bölüm, bahse konu değerlendirme protokolünü kısaca tanıtmak ve öne çıkan özelliklerinden bazılarını vurgulamak üzere hazırlanmıştır.

10.1. Endüstriyel Enerji Değerlendirmeleri

Daha önce de belirtildiği üzere, birkaç farklı türde endüstriyel enerji değerlendirmesi mevcuttur. Bunların tanımları, başlıkları, amaçları ve kapsamaları önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Buna ek olarak, bu değerlendirmeler, değerlendiren kişiye ya da etütçüye göre de

değişmektedir. Buna rağmen, çoğunlukla bu değerlendirmeler, hangi amaçla ve ne kapsamda yapıldığına göre ayrılmaktadır.

Endüstriyel değerlendirmeleri kesin biçimde ayırmanın bir yolu da, değerlendirmenin kapsamına odaklanmaktır. Bu, ayrıca, endüstriyel enerji değerlendirmelerini ayırmak için en yaygın şekilde kullanılan düzenlemedir. Kapsama göre, endüstriyel değerlendirmeler üç ana tiptedir:

- Tesise yönelik
- Sisteme özel
- Proses odaklı

Tüm tesise yönelik değerlendirmeler, tüm alanları kapsar ve tesis alanındaki toplam enerji tasarruf fırsatlarına yönelik olarak, bazı çok kaba tahminler sağlamak için genellikle çok yüksek seviyede yapılır. Tüm tesise yönelik yapılan bu değerlendirmeler, ayrıca, daha sonraki ayrıntılı enerji değerlendirmeleri için fikirler üretmede ve yönetimi işin içine dâhil etmede kullanılır. Tüm tesise yönelik olarak yapılan değerlendirmeler, küçük ve orta ölçekli endüstriyel tesislerde çok yaygındır. Çünkü bu tesislerde toplam enerji harcaması çok büyük değildir ve tüm tesisdeki enerji değerlendirmesi nispeten kolayca yapılabilir. Tüm tesise yönelik olarak yapılan bu değerlendirmeler, uzmanlardan kurulu bir takımla ya da tek tek yapılabilir. Genellikle bu değerlendirme; tesisi gezip görme, anahtar tesis personeli ile görüşme ve toplantılar yoluyla, ayrıca elektrik fatura bilgileri, tesisdeki bakım ve işletme seviyesi en iyi uygulamalarını gösteren sayısal kayıtlar üzerinden yapılabilir.

Sistem-spesifik değerlendirmeler; buhar, basınçlı hava, pompalama, proses ısıtması gibi özel olarak enerji tüketen sistemlere odaklanır. Bu değerlendirmeler genellikle, bir günden uzun sürer ve çok fazla planlama, sahada veri toplama, sistem modelleme, üretimin ve mevsimsel etkilerin anlaşılması vb. birçok çalışma gerektirir. Sistem-spesifik bu değerlendirmeler, potansiyel enerji tasarrufu projelerini tanımlamayı sağlayacak kadar ayrıntılı olmalıdır ve bu tür sisteme özel optimizasyon projelerinin ekonomik faydalarını sayısal olarak ortaya çıkarmalıdır.

Proses odaklı değerlendirmeler, genellikle bir sistem-spesifik değerlendirme sırasında fark edilen ve uygulama için iyi bir aday olarak tanımlanan bir proses/yardımcı işletme enerji optimizasyon projesinin çıktısıdır. Bununla beraber, söz konusu optimizasyon projesi, özel olarak ilâve çalışma gerektiren sermaye yoğun bir proje olabilir ya da çok yüksek proses entegrasyonu gerektirebilir. Prosesten güç veya soğutma elde etmek için atık ısı geri kazanımı, bu tür proses odaklı değerlendirmelere klasik bir örnektir. Proses odaklı değerlendirmeler, ayrıca, ana ekipman ya da makineyle etkileşim içindeki çoklu sistemlere sahip özel birim operasyonları için de yapılabilir. Bu tür konfigürasyonlara örnek olarak, tek başına kâğıt makinesini ya da damıtma kolonunu saymak mümkündür.

Bu tip endüstriyel enerji değerlendirmelerinin temel amacı, sistem optimizasyonu sağlayan, (özellikle enerji tüketimini azaltarak) enerji yoğunluğunu iyileştiren, işletme maliyetlerini azaltan ve sera gazları emisyon oranlarını düşüren enerji tasarrufu fırsatlarını tanımlamak ve sayısal olarak ortaya koymaktır.

10.2. Buhar Sistemi Endüstriyel Enerji Değerlendirme Standardı

ASME Standardı (ASME EA-3-2009) - Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi, açık biçimde, süreçleri, protokolleri ve buhar değerlendirme çıktılarını tanımlayan, kuralcı olma-

yan bir standarttır. Bu bölümün amacı, standardın temel özelliklerinden bazılarını vurgulamak, planlama ve buhar sistemi değerlendirilmesine ilişkin raporlama yaparken standardı kullanmak için buhar sistemi uzmanına bir aşinalık geliştirmektir. ASME Standardının değişik bölümleri şu şekildedir:

- Kapsam ve Giriş
- Tanımlar
- Referanslar
- Değerlendirmenin Planlanması
- Değerlendirmenin Yapılması
- Veri Analizi Değerlendirmesi
- Raporlama ve Dokümantasyon
- Ek A – Temel Referanslar

ASME Standardının beraberinde, buhar sistemi uzmanının enerji değerlendirmesi sırasında faydalanacağı ve standardı düzgün biçimde uygulamasına yardımcı olacak bir kılavuz belge bulunmaktadır (ASME EA-3G-2010 - ASME EA-3 İçin Kılavuz, Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi). ASME Kılavuz Dokümanının değişik bölümleri şu şekildedir:

- Kapsam
- Tanımlar
- Standarda Genel Bakış – ASME EA-3 Nasıl Kullanılır?
- Değerlendirmenin Planlanması İçin Kılavuz
- Değerlendirmenin Yapılması İçin Kılavuz
- Veri Analizi Değerlendirmesi İçin Kılavuz
- Raporlama ve Dokümantasyon İçin Kılavuz
- Zorunlu Olmayan Ek-A –Temel Referanslar

ASME Standardının ve beraberindeki Kılavuz Belgenin kullanılmasının, enerji maliyetlerinde azalma ve buhar sistem optimizasyonundaki önemli potansiyel tasarruflarla beraber, yapılan enerji değerlendirmelerinin miktarını ve kalitesini artırması beklenmektedir. Standart ve Kılavuz Belgesi, geniş bir sanayi yelpazesinde, enerji yöneticileri, fabrika yöneticileri, tesis mühendisleri, enerji danışmanları, bakım yöneticileri, tesis yöneticileri, çevre ve işçi sağlığı yöneticileri için tasarlanmıştır.

10.3. Buhar Sistemi Enerji Değerlendirmesinde Tipik Proje Alanları

Her endüstriyel tesis farklı ve kendine özgüdür. Ayrıca, bir endüstriyel tesisteki her buharlı sistem farklı olacaktır ve hatta aynı şirkete ait, aynı ürünü imal eden tesisler için bile bu sistemler değişecektir. Bu nedenle, her bir tesisteki buhar sistemine özel bir fırsat listesi hazırlamak çok zordur. Her fabrika veya endüstriyel tesis ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu çerçevede, her bir tesisteki buhar sistem optimizasyon imkânları, o tesise özel olarak sayısallaştırılmalıdır. Bununla birlikte, her endüstriyel buhar sistemi tesisi, endüstriyel buhar sistemi değerlendirilmesi sırasında aşağıdaki buhar sistem optimizasyon fırsatları için incelenmelidir:

- Kazan veriminin artırılması
- Yakıtın değiştirilmesi
- Kazan blöfü ısı enerjisi geri kazanımı
- Buhar talep azalması
- Genel türbin işlemleri
- Isıl entegrasyon

- Proses/yardımcı işletmeler entegrasyonu
- Türbin-PRV işlemleri
- Yoğuşmalı türbin işlemleri
- Isıl yalıtım
- Kondens geri kazanımı
- Flaş buhar geri kazanımı
- Buhar kaçakları yönetimi
- Buhar kapanı yönetimi
- Atık ısı geri kazanımı

10.4. Enerji Tasarrufu Fırsatları

Buhar sistemi enerji değerlendirmesinin önemli hedeflerinden birisi, buhar sistemi değerlendirmesi tamamlandığında, sanayiye buhar sistem optimizasyon projelerinin belirlenmesinde ve uygulamasında yardımcı olmaktır. Bu durum, her zaman buhar sistemi için yapılan yatırımın geri dönüşünün ne olduğu gibi klasik bir soruyu beraberinde getirir.

Buhar sistemi değerlendirmesi çerçevesinde enerji tasarrufu fırsatlarını, yatırım geri dönüşüne ve sermaye maliyetine dayanarak üç gruba ayırmak mümkündür. Bu üç kategori şunlardır:

- Yakın dönem
- Orta vade
- Uzun süreli

Hangi projelerin hangi kategoride olduğunun belirlenmesiyle ilgili hiçbir özel protokol bulunmadığı gibi her bir endüstriyel tesiste bu durum çok çeşitli faktörlere bağlıdır. Bununla birlikte, aşağıda sunulan Tablo 10.1, her bir enerji tasarrufu fırsatını hangi üç kategoriden birine koyacakları konusunda buhar sistemi enerji uzmanlarına bir genel rehberlik sağlayacaktır.

Tablo 10.1 Enerji tasarrufu fırsatları kategorileri

| | Yakın Dönem | Orta Vade | Uzun Süreli |
|-----------------|--|--|--|
| Tanım | İşletme ve bakım uygulamalarında iyileştirmeler | İlave ekipman satın alınması ve/veya sistem değişikliği ihtiyacı | Yeni teknoloji ya da performansın doğrulanması |
| Para Tasarrufu | Düşük maliyetli eylemler ya da ekipman satın almaları | Genel kural yaklaşımlarıyla tahminler | İlave gerekli durum tespit süreci |
| Geri Ödeme | Bir yıldan az sürede | Bir ilâ iki yılda | İki ilâ beş yılda |
| Proje Örnekleri | <ul style="list-style-type: none"> ○ Kazan yanması ○ Ayarlama ○ Yalıtım ○ Buhar kaçakları ○ Buhar kapanı yönetimi | <ul style="list-style-type: none"> ○ Otomatik yanma kontrolü ○ Blöf enerjisi geri kazanımı ○ Besleme suyu ekonomizörü | <ul style="list-style-type: none"> ○ Birleşik ısı ve güç (CHP) ○ Buhar türbini tahrikli proses bileşenleri ○ Kazan yakıt değişimi |



Bölüm 11

Endüstriyel Buhar Sistemi Değerlendirmesi İçin Taşınabilir Ölçüm Cihazları

11.1. Endüstriyel Buhar Sistemi Değerlendirmesi İçin Veri Toplanması

Endüstriyel buhar sistem enerji değerlendirmesi, önemli miktarda veri toplanmasını gerektirecektir. Veriler çok değişik şekillerde olabilir. Veri doğrudan doğruya ve tesisin kendisine, değerlendirilen buhar sistemine, değerlendirmenin kapsamına ve endüstriyel buhar sistemi için değerlendirilen gerçek buhar sistemi optimizasyon projelerine bağlı olacaktır. Genelde, veri toplama stratejisi, iki veri toplama alanına odaklanır:

- Tasarım bilgisi
- İşletim verisi

11.1.1. Tasarım bilgisi

Tasarım bilgisi, genellikle, buhar sisteminin kabiliyetlerini, minimum ve maksimum çalışma limitlerini, enerji verim parametrelerini vb. anlamak için kullanılır. Çoğunlukla bu bilgiler şunlardan elde edilir:

- Tesisteki (eğer mevcutsa) mühendislik belgeleri
- Ekipman/sistem isim plakası bilgileri

- İmalatçının yayınladığı bilgiler
- Yukarıdaki yöntemlerin birleşimi

Tasarım bilgileri, ayrıca, mevcut işletim şartlarını ve tasarım verimliliğini karşılaştırmak için de kullanılır. Ancak, çoğu zaman, buhar sistemleri tasarım dışı koşullarda işletilmektedir ve dolayısıyla, her zaman “elma ile elmanın” karşılaştırması durumu ile karşılaşılmayabilir. Bununla birlikte tasarım bilgisi, endüstriyel bir buhar sistemi değerlendirmesi sırasında, ihmal edilmesi gereken mükemmel bir veri noktasıdır.

11.1.2. İşletim verileri

Endüstriyel buhar sisteminden alınan gerçek işletim verileri çok önemlidir ve mümkün olan en iyi uygunluk seviyesinde kalibre edilmiş ölçüm cihazlarıyla toplanmalıdır. Gerçek işletim verileri birçok değişik konfigürasyonla toplanabilir, bunların içinde şunlar vardır:

- Hizmete dayalı ölçülmüş bilgiler
- Tesisteki sabit yerel göstergeler
- Tesisteki sabit veri toplama sistemindeki cihazlar
- Tesisin geçmişine dayalı bilgiler
- Taşınabilir ölçüm cihazları (anlık görüntü alabilen)

İşletim verileri frekansı, buhar sistemi değerlendirmesi sırasında veri toplarken uygun şekilde seçilmesi gereken değişkenlerden biridir. Üretim ve buhar sistemi yükleri sabit (zamanla sabitlenmiş) değildir ve prosesin tipine, mevsime, planlamaya vb. göre değişebilir. Bununla birlikte, veri toplamanın frekansını (zaman bazlı) belirlemede olduğu gibi, veri toplamanın zaman periyodunu belirlemeden önce de buhar kullanan endüstriyel proseslerin yük profilini anlamak çok önemlidir. Örneğin, kesikli bir proses için buhar debisi çok değişken olabilir; böyle bir durumda işletim verisi toplama zamanı, kesikli prosesin zaman periyodundan daha küçük olmalıdır.

Veri kaydediciler ve ölçüm cihazlarıyla beraber kullanılan diğer kayıt aletleri olmadan, tesiste sabit göstergelerden ve/veya taşınabilir cihazlar yardımıyla uzun süreli veri toplamak çok zordur. Durum böyle olmakla birlikte, tesisteki sabit vericili cihazlar ve veri kaydediciler, işletim verilerini en uygun formatta tutma yeteneğine sahiptir. Buna ek olarak, veri toplama sistemi ve veri kaydediciler geçmişe yönelik verileri tutarlar; ortalama ve anlık proses değişken değerlerini, istenen herhangi bir frekans/zaman bazında (saniye, dakika, saat, gün) ve istenen herhangi bir zaman periyodunda (saat, gün, ay, yıl) sunabilirler.

Endüstriyel buhar sistemlerinde, prosesin ve yardımcı işletme değişkenlerinin işletim verisi ölçümleri şunları içerir:

- Sıcaklık
- Basınç
- Debi
- Yanma analizi
- Enerji kullanımı
- Su kimyası
- Güç üretimi

Bu ölçümlere ilâve bilgiler, ayrıca, ASME Standart EA-3G Enerji Değerlendirme Standardı İçin Kılavuz Belgesinde sağlanmıştır; dolayısıyla, söz konusu hususlar burada tekrar edilmeyecek olup buhar sistemi uzmanının daha fazla bilgi için bahsi geçen belgeye bakması beklenmektedir. Bu bölüm, ASME Standart EA-3-2009 Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirme Standardına göre ayrıntılı bir buhar sistemi enerji değerlendirmesinin yapılması için, enerji uzmanı tarafından kullanılan taşınabilir ölçüm cihazları üzerine odaklanmıştır.

11.2. Taşınabilir Ölçüm Cihazları

Endüstriyel bir buhar sistemi değerlendirmesinde kullanılmak üzere taşınabilir ölçüm cihazlarına sahip olmanın temel amacı, anında işletim verilerini almak ve buhar sistem optimizasyon fırsatları için bu bilgileri kullanabilme yeteneğine sahip olmaktır. Pek çok endüstriyel tesisin buhar türünden yardımcı işletmelerin envanterinde, ayrıntılı biçimde kütle ve enerji dengesini kontrol etmeye yetecek kadar ölçüm cihazı yoktur. Bu durum, endüstriyel buhar sistemlerini analiz etmeyi, işletim koşullarını anlamayı ve buhar sistemi optimizasyon fırsatlarını belirlemeyi çok zor hale getirir. Böyle bir durumda, enerji tasarrufu tahminleri için göz kararı tahminlerin kullanılması söz konusu olacaktır. Oysa bu tür bir buhar sistemi değerlendirmesi, buhar sistemi değerlendirme raporuna göre yürütülen projelerde itibar kaybına yol açar, ayrıca beklenen enerji ve maliyet tasarrufları da sağlanamamış olur.

Bazen taşınabilir ölçüm cihazları tesisteki sabit cihazlar için mükemmel bir kontrol sağlar. Taşınabilir ölçüm cihazları belki tam 10 puanlık bir kalibrasyon testi olmamakla birlikte, bu cihazlar tarafından yapılan okumalar, tesisin sabit veri toplama sistemindeki cihazların sunduğu değerler ile çok yakınsa, genel olarak tesis enstrümantasyonunun iyi bir işletim verisi sağladığı söylenebilir. İdeal olarak, tek bir noktada tespit edilen uygunluğun, tesisteki sabit cihazların ve verinin doğruluğu için yeterli karine olmadığına dikkat edilmelidir. Genellikle, tesisteki sabit cihazlar ve bunlardan elde edilen değerlerin doğruluğu açısından ilâve güven kazanmak için, farklı işletim koşullarında birden fazla nokta kullanılmalıdır.

Taşınabilir ölçüm cihazları ile ilgili bilgiler, neyi ölçmek için kullanıldığına dayalı olarak kategorilere ayrılmıştır. Belirli bir proses ya da yardımcı işletme değişkenini ölçmek için, belki birden fazla cihaza ihtiyaç duyulabilir. Bir endüstriyel tesiste buhar sistemi enerji değerlendirmesi yaparken, buhar sistemi enerji uzmanının bu ekipmana (taşınabilir ölçüm cihazlarına) erişiminin olması arzu edilmektedir. Diğer yandan, bu bölümün amacının herhangi bir üreticinin imal ettiği ekipmanının reklamını yapmak olmadığına da dikkat edilmelidir. Buradaki en önemli husus, ihtiyaç duyulan saha işletim verilerini sağlamak için, ölçüm cihazlarının işlevselliği ve teknik özellikleridir.

11.2.1. Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık ölçümü, buhar sistem analizi için en yaygın ölçümlerden birisidir. Çok çeşitli yöntemlerle yapılabilir ve ölçümün uygulanmasına ve konumuna bağlı olarak değişik tipte sıcaklık ölçüm ekipmanı gerektirebilir. Endüstriyel buhar sistem değerlendirmesi için gereken taşınabilir sıcaklık ölçüm taşınabilir cihazları şunlardır:

- Termal kamera
- Kızıl ötesi sıcaklık tabancası (ya da termometre)
- Elde taşınan dijital termometre
- Daldırmalı sıcaklık probu

11.2.1.1. Termal kamera

Endüstriyel termal kamera, bir buhar sisteminde enerji değerlendirmesi yapmak için son derece etkili bir araçtır ve işlevselliği tüm ölçüm boyunca önemli ölçüde değişir. Termal kamerayı kullanmanın asli amacı, incelenmekte olan alanın ısıl görüntüsünü sağlamaktır. Bu nedenle, termal kamera, daima incelemeye alınan nesnenin (boru, kazan, eşanjör, buhar kapağı vb.) yüzey sıcaklığı bilgisini sağlar. Termal kameraların farklı sıcaklık aralıkları vardır ve kamerada mevcut seçeneklere ve işlevlere bağlı olarak fiyat aralığı önemli ölçüde değişebilir. Bir buhar siste-

mi enerji değerlendirmesi açısından bakıldığında, termal kameralar için belirli minimum gereklilikler aşağıda verilmektedir:

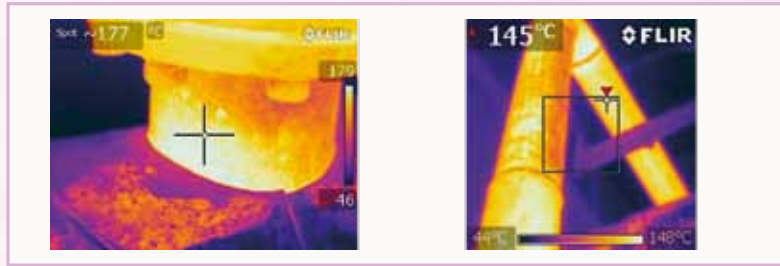
- 500°C'ye kadar sıcaklık aralığı
- Emisivite değiştirme yeteneği
- Kızılötesi detektör çözünürlüğü (piksel) 160 x 120 (19.200)
- Beyaz ışık çözünürlüğü (piksel) 3 MP
- Ekran – 3,5 inç (320 x 240)
- LCD dokunmatik ekran
- %±2 Sıcaklık hassasiyeti
- Lazer görüşü
- Çıkarılabilir hafıza kartı
- Dosya formatı – JPEG
- Kızılötesi ve dijital konfigürasyonlar için görüntü içinde görüntüye izin verme
- Karanlık bölgelerde daha iyi görüntü alabilmek için ışık kaynağına sahip olma

Şekil 11.1'de bir endüstriyel buhar sistemi değerlendirmesi sırasında termal kameradan birkaç görüntü alma işlemi sunulmuştur. Şekil 11.2'de ise, termal kamera ile yalıtımı olmayan bileşenlerden alınan termal görüntüler sunulmuştur.

Şekil 11.1. Buhar sistemi değerlendirmesinde termal kameranın kullanımı



Şekil 11.2. Buhar sistemi değerlendirmesi sırasında alınan termal görüntüler



11.2.1.2. Kızıl ötesi sıcaklık tabancası

Kızıl ötesi sıcaklık tabancası (ya da termometre), endüstriyel termal kameraya ucuz bir alternatiftir. Ayrıca, incelenen nesnenin (boru, kazan, eşanjör, buhar kapağı, vb.) yüzey sıcaklık bilgisini toplamak için çok kullanışlı bir alettir. Kızıl ötesi sıcaklık tabancaları, kameranın seçenek ve işletim koşullarına göre değişik sıcaklık aralıklarında olabilir ve fiyat aralığı da buna bağlı olarak değişir. Buhar sistemi enerji değerlendirmesi açısından bakıldığında, kızıl ötesi sıcaklık tabancaları için belirli minimum gereklilikler aşağıda verilmektedir:

- 500°C'ye kadar sıcaklık aralığı
- Emisivite değiştirme yeteneği

- ± 1 Sıcaklık hassasiyeti
- Lazer görüşü, 1 nokta - halka

11.2.1.3. Elde taşınır dijital termometre

Değerlendirme sırasında yalıtım vb. nedenlerle iyi bir yüzey veya işlem sıcaklığını elde etmenin mümkün olmadığı birçok örnek vardır. Böyle durumlarda yalıtımın altına sokulabilecek bir termokupl ile elde taşınır termometre kullanmak en iyisidir. Eğer söz konusu olan bir akım (hava, su, vs.) ya da ortam sıcaklığı ölçümü ise, ya basit bir termokupl ya da prob, elde taşınabilen bir termometre ile birlikte kullanılabilir. Tesiste sabit termokupl'lar olması durumunda, kontroller yapılırken, lokal elde taşınır termometre okumalar esnasında kullanılabilir. Elde taşınır dijital termometrelerin birkaç farklı türü vardır. Bu cihazlar için tercih edilen bazı özellikler aşağıdakileri içermektedir:

- Okuma süresi boyunca anlık ölçümle birlikte minimum (MIN), maksimum (MAX) ve ortalama (AVG) değerleri gösterme yeteneği
- Yapılmış ve kullanıma hazır bir termokuplun bulunması
- J, K, T, ve E-tipindeki termokupllar ile ölçüm yapılabilmesi

11.2.1.4. Daldırmalı sıcaklık probu

Dijital elde taşınır termometre ile beraber kullanılabilen ve kılıflı paslanmaz çelikten yapılmış suya daldırmalı sıcaklık probudur. Açık sistemlerde sıcaklığı ölçmek için kullanılabilirdiği gibi tesisteki ısı kaynaklarına da uygulanabilir. Genellikle, K-tipi termokupl, sunduğu geniş sıcaklık aralığı nedeniyle daldırmalı sıcaklık probu için iyi bir tercih olacaktır. Prob uzunluğu en az 12 inç, tercihen 18 inç ya da daha fazla olmalıdır. Ölçüm alacak kişinin sıkıca tutmasını ve ısıdan etkilenmemesini sağlamak için, iyi bir tutuş imkânı dâhil çeşitli seçenekler mevcuttur.

11.2.2. Basınç ölçümü

Ölçülecek buhar ya da proses akışkanının basınç algılama cihazı ile temas etmesi gerektiğinden, buhar sisteminde taşınabilir ölçüm cihazları ile basınç ölçümü yapmak, sıcaklık ölçümü yapmaktan daha zordur. Böyle bir ölçüm, yüksek sıcaklık ve basınçlarla ilgili güvenlik konuları nedeniyle genellikle zor olacaktır. Buna ek olarak, taşınabilir ölçüm cihazı veri kaydetmek için uzun bir süre aynı yerde durmadıkça, gösterilen bu çabayı doğrulama şansı da olmayacaktır. Bununla birlikte, bir buhar sistemi enerji değerlendirmesi sırasında, baca gazı (baca çıkışı) gibi gerektiğinde taşınabilir ölçüm cihazları kullanılarak basınç ölçümünün yapıldığı yerler de vardır.

Çoğu durumda, taşınabilir ölçüm cihazları kullanılarak fark basınç ölçümü (toplam ve statik basınçlar arasındaki fark) gerçekleştirilir. Daha sonra bu ölçülmüş hız basıncı, akış hızının tahmin edilmesi için ve buna bağlı olarak yaklaşık bir debi hesaplanması için baca gazı, hava, su, buhar vanaları, vb. alanlarda verimli biçimde kullanılabilir. Taşınabilir ölçüm cihazı çok basittir ve şunları içerir:

- Pitot tüpü
- Dijital manometre
- Şeffaf esnek (vinil) boru

11.2.2.1. Pitot tüpü

Pitot tüpü, toplam basıncı, statik basıncı ve toplam basınç ile statik basınç arasındaki farkı ölçmek için kullanılan çok basit bir cihazdır. Şekil 11.3'te Pitot tüpü örnekleri gösterilmiştir. Pitot

tüpü sabit bir uzunluğu olan (ya da teleskopik şekilde uzayan) geçmeli boru konfigürasyonunda paslanmaz çelikten bir borudur. Pitot tüpleri, geometrik şekillerine bağlı olarak L, S, vb. değişik şekillerde olabilir. Buhar sistemi enerji değerlendirmesi açısından bakıldığında, Pitot tüpleri için belirli olan minimum gereklilikler şöyledir:

- 500°C'a kadar sıcaklık aralığı
- Takılma uzunluğu - 18 inç
- Boru çapı - 5/16 inç

Şekil 11.3. Buhar sistemi değerlendirmesinde kullanılan pitot tüpleri (ve dijital manometre)



11.2.2.2. Dijital manometre

Dijital manometre, Pitot tüpü tarafından ölçülen fark basıncın (hız basıncı) okunabilmesi için gereklidir. Normal su bazlı U-şekilli manometre, ayrıca, bir dijital manometrenin yerine kullanılabilir. Bununla birlikte, dijital manometre daha hassastır ve U-boru manometre ile karşılaştırıldığında taşınması daha kolaydır. Eğer manometrenin ölçüm aralığında ise, dijital manometre varsayılan basıncın ölçülmesinde de kullanılabilir. Manometreler genellikle değişik basınç aralıklarında (10 inç su sütunundan 500 psi (35 bar)'ye kadar) çalışırlar; bu yüzden, ölçümde kullanılacak uygulama için uygun aralığın seçilmesi çok önemlidir. Buhar sistemi enerji değerlendirmesi açısından bakıldığında, dijital manometre için belirli minimum gereklilikler şöyledir:

- Basınç aralığı – 0-10 inç su sütunu
- Çözünürlük - 0,01 inç su sütunu
- Basınç hassasiyeti - \pm %0,5 tam ölçek

11.2.2.3. Şeffaf esnek boru

Bu esnek boru, Pitot tüpü deliklerini dijital manometredeki uygun terminallere bağlamak için kullanılır. Genellikle esnek olan temiz vinil bir boru, bu uygulama için ekonomik bir çözümdür. Hiçbir sorun çıkmaması için borunun boyutu ve dijital manometrenin ve Pitot tüpünün delik bağlantılarının uyumu gerekmektedir.

11.2.3. Baca gazı analizi

Baca gazı analizi, endüstriyel buhar sistemi analizinde son derece önemli bir ölçümdür. Bu ölçüm geliştirilebilir ve herhangi bir yakıt yakan ekipman için taşınabilir ölçüm cihazları kullanılabilir. Bu durum, söz konusu buhar sistemi enerji değerlendirmesi olduğunda, kazanlarla sınırlı değildir. Baca gazı analizi yapılmasının temel amacı, kazanlar için işletim yanma verimi-

ni (veya baca kayıplarını) belirlemektir. Kazan veriminin önemli bir kısmı yanma verimine bağlıdır ve kazan veriminin tahmin edilmesi (dolaylı yöntem kullanılarak) baca kayıplarının hesaplanmasını gerektirir. Baca kayıpları, net baca gazı çıkış sıcaklığına ve baca gazı içindeki oksijen yüzdesine bağlıdır. Baca gazı analizi, buhar enerji uzmanının bu baca kayıplarını hesaplamasına imkân vermektedir.

Taşınabilir baca gazı analiz cihazlarında (baca gazı analizörü) termokupl'a sahip olan bir metal uç (prob) ve baca gazı numunesi almak için bir boru vardır. Elde taşınır bir analizörde, baca gazındaki oksijen miktarını analiz etmek için elektromekanik hücrelere sürekli olarak numune gazı emen küçük bir vakum pompası vardır. Birçok değişik imalatçıya ait ve değişik fonksiyonlara ve seçeneklere sahip taşınabilir baca gazı analiz ya da yanma gazı analiz cihazları mevcuttur. Şekil 11.4'te, çeşitli baca gazı analizörlerinin resimleri ve bunların bir buhar sistemi değerlendirmesinde baca gazı analizi için nasıl kullanıldıkları gösterilmektedir.

Şekil 11.4. Buhar sistemi değerlendirmesinde baca gazı analizörünün kullanılması



Buhar sistemi enerji değerlendirmesi açısından bakıldığında, baca gazı yanma analiz cihazları için belirli minimum gereklilikler şöyledir:

- Dijital elektronik model
- Oksijen yoğunluğunu ölçme kabiliyeti (%0-25)
- Karbon monoksit yoğunluğunu ölçme kabiliyeti (0-4.000 ppm)
- Sıcaklık aralığı (750°C'ye kadar)
- Numune alma pompası, filtreli ve su kapanlı hortum
- Basınç çekişi ± 72 inç su sütunu
- Hafızaya özellikleri yüklenmiş olan ve metan, ağır yağ-yakıt (HFO), vb. içeren yakıt seçilebilme özelliği
- Hafızaya 10 konum depolama kabiliyeti

11.2.4. Enerji ölçümü

Depolama tankında veya depolama alanında harcanan sabit sıvı ya da katı yakıt hacmi zaman bazlı hesaplanmadıkça, taşınabilir cihaz kullanarak yakıt debisini ölçmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, bir buhar sistemi değerlendirmesi için, doğrudan taşınabilir yakıt debisi ölçüm cihazları yoktur. Ayrıca, yakıt dışarıdan satın alınmaktadır ve genellikle endüstriyel tesis çok iyi bir

ölçüm sistemine sahiptir ya da buhar sistemi değerlendirmesi için yardımcı işletmeden veya ya-
kıt tedarikçisinden makul bir doğruluk içinde ortalama değerleri alma imkânına sahiptir.

Eğer buhar sistem değerlendirmesi, kazan ya da buhar sistemi yardımcı ekipmanı olan mo-
torla tahrik edilen fanlar, pompalar vb. elektrik ekipmanının daha alt seviyede ölçümünü gereke-
tiriyorsa, elektrik güç ölçümü gerekebilir. Çoğu durumda, endüstriyel tesis personelinin kullanı-
labileceği elektrikli ölçme ekipmanı mevcuttur. Eğer bu ekipman yoksa, elektrik enerjisi kullanımı
ve talep ölçümü için ampermetre (akım-ölçer) ya da güç ölçer (enerji analizörü) gibi taşınabilir
ölçüm cihazlarına ihtiyaç duyulabilecektir. Ticari olarak, güç ölçümü için birçok taşınabilir ölçüm
cihazı çeşidi (Şekil 11.5) mevcuttur ve bu ekipman için minimum gereklilikler şöyledir:

- Tek faz ve üç faz gerçek güç (kW), görünür güç (kVA) ya da reaktif güç (kVAR), güç faktö-
rü ölçüm yeteneği
- Geçen süreyi göstermek için maksimum ve minimum kaydetme
- AC/DC voltajı otomatik algılama
- 660 Volt'a kadar ölçüm kabiliyeti

Şekil 11.5. Buhar sistemi değerlendirmesinde kullanılan taşınabilir güç ölçüm cihazı



11.2.5. Diğer ölçümler ve yardımcı cihazlar

Endüstriyel bir buhar sisteminin değerlendirilmesi sırasında alınabilecek başka ölçümler de
vardır. Bu ölçümlerde, yardımcı olmak için, taşınabilir cihazlar ve onların müşterileri gereke-
bilir. Bu taşınabilir cihazların bazıları da, yardımcı işletmelerin rutin bakımının yapılması ve ba-
kımli tutulması için bakım personeli ve servis yüklenicileri tarafından kullanılmaktadır. Bu bö-
lümde, taşınabilir bu tür diğer ölçüm cihazları ve destek aksamları özetlenmektedir.

11.2.5.1. Ultrasonik kaçak dedektörü

Ultrasonik kaçak dedektörü, esasen buhar kapalı performansını kontrol etmek ve periyodik
olarak belirlemek için akustik bir teknik olarak kullanılır. Buhar sistemi enerji değerlendirmesi
bakış açısıyla, enerji uzmanlarının bu cihazın kullanımını anlamaları ve "sahip olunması iyi" ka-
tegorisinde bir cihaz olduğunu kavramaları beklenir. Buna rağmen, buhar sistem optimizasyo-
nu, tesiste ayrıntılı bir buhar kapalı kontrolünün eşdeğeri olarak kabul edilmemelidir. Ultrasonik
kaçak dedektörü pahalı bir cihazdır ve buhar kapalı arızalarını sahada tespit etmek üzere etkili
biçimde kullanılması için, öncesinde eğitim gerektirir. Burada bahsedilmeyecek olsa da, bu cihaz
iki amaca hizmet edebilir. Ayrıca, basınçlı hava kaçaklarının tespit edilmesi için de kullanılabilir.
Dolayısıyla, eğer enerji uzmanının ilgisi daha çok kaçakların tespitine ve buhar kapalı arızala-
rına yoğunlaşmışsa, bu cihaz, uzmanın kullandığı setin içinde bulunması gerekli bir cihazdır. Ci-
hazın değişik problemleri (tarama modülleri, stetoskop modülü ve uzun mesafe modülleri) vardır ve
kullanılırken gürültü azaltıcı kulaklıklar gerektirir.

11.2.5.2. Dijital kronometre

Dijital kronometre endüstriyel buhar sistemi enerji değerlendirmesi için mutlak bir zorunluluktur. Bu cihaz, debileri hızlı biçimde belirlemek için toplayıcılar ile çalışırken, zaman bilgisi alınmasında kolaylık sağlar. Sahadaki görev döngülerini anlamak için yardımcı olan proseslerin on/off çevrim sürelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Endüstriyel buhar enerjisi değerlendirmesinde, dijital kronometrenin kullanıldığı birçok örnek vardır.

11.2.5.3. Dijital kamera

Dijital kamera, çok kullanışlı bir cihazdır. Bu cihaz, enerji uzmanına, tesis personeli ile çalışırken ve değerlendirme raporu hazırlarken fırsat alanlarını spesifik olarak tespit etme imkânı verir. Benzer şekilde, değerlendirme raporu veya muhtemel projeler üzerinde çalışırken, enerji uzmanının tesis alanını ve fırsatları sanal olarak değerlendirmesini kolaylaştırır. Bununla birlikte, birçok tesiste kurallar gereği kameraların kullanımı yasaklanmıştır ve tesiste fotoğraf çekmek için önceden tesis yönetiminden izin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, sahada enerji değerlendirmesine başlamadan önce, enerji uzmanı, bu gibi konuları tesis personeli ile konuşup açıklığa kavuşturmalıdır. Dijital kameralar çok çeşitli özelliklerde ve modellerde bulunmaktadır. Teknoloji değiştikçe özellikler ve gereklilikler de değiştiğinden dijital kamera seçimi kullanıcıya bırakılmıştır.

11.2.5.4. Eldivenler

Eldivenler, güvenlik ekipmanıdır ve personel için koruyucu ekipman olarak tedarik edilebilir. Burada eldivenlere özellikle dikkat çekilmesinin nedeni, sıcak yüzeylerde ve elektrikli ekipmanla çalışırken, enerji uzmanının uygun güvenlik donanımını kullanmasının zorunlu olmasıdır. Eldivenler 1.000 V'luk bir elektrik enerjisine dayanıklı olmalıdır.

11.2.5.5. El feneri

Tüm enerji uzmanları endüstriyel tipte bir el feneri taşımalıdır. Endüstriyel tesislerde uygun ışıklandırmanın olmadığı birçok bölge mevcuttur ve şeffaf camlar, seviye göstergeleri vb. yerleri doğru şekilde görmek ve tesiste sabit göstergeleri okumak çok önemlidir.

11.2.5.6. Bataryalar

Elektronik taşınabilir ölçüm cihazlarının neredeyse tamamı bir çeşit batarya gerektirmektedir. Bütün ölçüm cihazları için özel olarak üretilmiş bataryaları taşımak zordur. Ancak, tesiste ve bir enerji değerlendirmesi yaparken, yedek bataryaları taşımak ve gerektiğinde değiştirmek gereklidir. Ölçüm cihazlarının çoğu kendi bataryaları ve şarj sistemleri ile beraber gelir ve bazen bir yedek bulunmaz. Bununla birlikte, enerji uzmanları tüm taşınabilir ölçüm cihazları için yedek batarya taşımalı, şarj edilebilir ve cihaza özel bataryaları sık sık değiştirmelidir.

11.2.5.7. Yalıtım bandı

Klasik siyah yalıtım bandı, elektrik ölçümü için herhangi bir elektrik bağlantısının açılması gerektiğinde kullanılabilir. Alternatif olarak, çok değişik emisiviteye sahip bir yüzeyde, doğru bir sıcaklık ölçümü yapmak için siyah bant kullanmak çok iyi bir yoldur. Ayrıca, yalıtım bandı, fotoğraf çekerken bir fırsatı ya da dikkat çekilecek alanı işaretlemek için de kullanılabilir.



Bölüm 12

Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Raporu

Endüstriyel buhar sistemi değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra, buhar sistemi uzmanının endüstriyel tesis personeline bir rapor sunması beklenir. Bu rapor birçok farklı şekilde olabilir; ancak, en azından değerlendirmenin sonunda tesiste bir genel değerlendirme toplantısı yapılmalıdır. Daha sonra, bunu, ayrıntılı bir Buhar Sistem Değerlendirme Özet Raporu takip etmelidir. Bu bölümde, buhar sistemi değerlendirilmesi raporlama şekilleri konusunda okurlara genel bir bilgilendirme yapılacaktır.

12.1. Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Toplantısı

Buhar sistemi genel değerlendirme toplantısı yapmak için birçok sebep vardır ve bunlardan bazıları şöyledir:

- Buhar sistemi değerlendirmesinin amacı ve hedeflerinin gözden geçirilmesini sağlamak,
- Potansiyel optimizasyon fırsatlarının enerjiyle ilgili ve ekonomik faydalarını sayısallaştırmak için kullanılan tüm kabulleri, enerji fiyatlandırmasını, üretim bilgisini vb. doğrulamak,
- Tüm tesis personelinin, buhar değerlendirme ön bulguları hakkında bilgi sahibi olmasını sağlamak,
- Tesis personeline herhangi bir sürpriz yaratmaması için, sonuç raporunda yer alan potansiyel buhar sistem optimizasyon fırsatlarının listesini kesinleştirmek,

- Ön bulgularla ilgili ayrıntılı çalışma (modelleme, proje maliyet tahmini, vb.) yürütmek için tesis yönetiminden onay almak,
- Final raporu tamamlamak ve tesis personelinin raporu gözden geçirmesi için protokolleri ve zaman çizelgesini belirlemek.

Enerji uzmanının, buhar sistemi değerlendirmesi sonunda, kapanış toplantısının tesis personeli ile yüz yüze gerçekleştirilmesini ve tesis yönetiminin, projelerin uygulanmasına karar verecek olanların ve sahada enerji değerlendirmesine katılan tüm tesis personelinin katılımıyla yapılmasını sağlamak için bütün çabayı göstermesi gerekmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, genel değerlendirme toplantısı, değerlendirme sırasında tespit edilen iyileştirme fırsatları listesiyle ilgili herkesin onayını almak üzere yapılmalıdır.

Bu genel değerlendirme toplantısını düzenlemenin en iyi yolu, daha değerlendirmenin başında, toplantı zamanını belirlemek ve bu toplantıya katılması gereken herkesi davet etmektir. Buna ek olarak, bir sunum projektörü ve sunum tahtasının bulunduğu ya da büyük yazı kâğıtlarının olduğu bir toplantı odası bu toplantı için ayrılmalıdır. Buhar sistemi enerji uzmanı, bu kapanış toplantısını kolaylaştırmak için bir PowerPoint sunumu hazırlamalıdır. Kapanış sunumu en azından şu bilgileri içermelidir:

- Buhar enerji sistemi değerlendirmesinin genel hedefleri
- Değerlendirmeye katılanlar (takım üyeleri)
- Buhar sistemi kapsam belirleme aracının (tesiste hâlihazırda mevcut en iyi uygulamaların seviyesi) sonuçları
- Buhar sistemindeki potansiyel optimizasyon fırsatlarının listesi
- Bu fırsatları; koparılmaya hazır meyve (maliyetsiz ya da en az maliyetle), orta vadede (1-3 yılda geri ödeme) yapılabilecekler ve uzun vadeli (harcama gerektiren ve 3 yıldan fazla yatırım geri ödeme süresi olan) işler şeklinde sınıflandırma,
- Sonraki aşamaların ve zaman çizelgesinin gösterilmesi.

12.2. Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Raporu

Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Raporu, değerlendirme ve sonuçlar hakkında her şeyi kapsayan bir dokümandır. Buhar Sistemi Genel Değerlendirme Raporu için sabitlenmiş bir format ya da şablon yoktur; fakat raporun tesis personelinin toplanan veriyi, yapılan analizi ve belirlenen potansiyel optimizasyon fırsatlarını anlamasına yetecek kadar bilgi içermesi beklenir. Buna ek olarak, raporda nitel öneriler ya da belirlenen fakat faydaları sayısal olarak hesaplanmadan önce ilâve araştırma gerektiren fırsatlar olmalıdır. Raporun genel bölümleriyle ilgili kısa bir tanım ve bir örnek aşağıda sunulmuştur.

12.2.1. Başlık sayfası ve giriş

Raporun versiyonunu (taslak ya da nihai), yayın tarihini, tesis adını ve konumunu içeren başlık sayfası, raporun ilk sayfası olmalıdır. Genellikle, buhar sistemi ve/veya tesis için hassas ve özel bilgiler içerebileceğinden rapor "Gizli" olarak damgalanmalıdır.

Giriş sayfası; tesis, adresi, iletişim bilgileri ve değerlendirmeye katılan takım hakkında genel bilgiler verir. Ayrıca fabrika sahası, çalışma saatleri, vb. ilâve ayrıntılar da içerebilir. Tablo 9'da kısa bir örnek gösterilmiştir.

Tablo 12.1. Buhar sistemi değerlendirme raporundaki tanıtım bilgisi**Genel Değerlendirme Bilgisi**

Şirket: ABC Rafineri Şirketi
Tesis: ABC Rafinerisi

Değerlendirme Tipi: Buhar
Değerlendirme Tarihi: 23-26 Ağustos 2010

Tesis Bilgileri

Endüstri Kodu: 324110
Temel Ürünler: Petrol Rafineri
Adres: Houston, TX, ABD

Çalışan Sayısı: 1800
Tesis (ya da Fabrika) Alanı: 125 dönüm
Yıllık Çalışma Saati: 8760

Katılımcıların İletişim Bilgileri**Tesis İletişim**

İsim: John Smith
Unvan: Enerji Mühendisi
Telefon:
E-posta: jsmith@ABCrefinery.com

Ortak İletişim

İsim:
Telefon:
E-posta:
İlâve tesis katılımcıları

Energy Uzmanı İletişim

İsim: Riyaz Pappar, PE, CEM
Şirket: Hudson Technologies Company
Telefon: 1 (281) 298 0975
E-posta: rpapar@hudsontech.com

Enerji Yöneticisi İletişim

İsim: Bilinmeyen
Telefon:
E-posta: bilinmeyen@ABCRefinery.com

12.2.2. Yönetici özeti

Yönetici özeti, ayrıntılara girmeden değerlendirmenin bulguları hakkında bir hızlı gözden geçirme imkânı ve makro bir bakış açısı sağlar. Bu özet, çoğu zaman tesis yönetimi ve karar vericilerin dikkatini çekmek için kullanılır. Yönetici özeti birkaç sayfa ile sınırlandırılmalı ve muhtemelen üç dört paragraf olarak şunlar hakkında bilgi vermelidir:

- Değerlendirmenin ana amacı,
- Ne zaman yapıldığı ve baş değerlendiricinin (birey ya da kurum) kim olduğu,
- Tesiste mevcut durumda bulunan en iyi uygulamaları ve mümkünse genel olarak sanayi ile karşılaştırıldığında tesisin ne kadar iyi olduğu,
- Eğer mümkün olur da tüm nicel optimizasyon fırsatları uygulanırsa, yaklaşık olarak elde edilecek toplam enerji ve maliyet tasarrufu,
- Belirlenen fırsatların uygulanması için ihtiyaç duyulan yaklaşık maliyet (ya da yatırım geri dönüş süresi),
- Nitel önerilerin kısa bir değerlendirmesi.
- Olası sonraki aşamalar.

12.2.3. Enerji optimizasyon fırsatları için özet tablo

Sistem optimizasyonu ile ilgili enerji tasarrufu fırsatları özet tablosu, her bir enerji fırsatını ve bunun maliyet etkisini sıralanmış bir şekilde gösterir. Tablo 12.2'de bu özet tablonun bir örneği sunulmuştur. Tablodaki sütunlardan biri CO₂ emisyonları üzerine olan etkiyi göstermektedir. Emisyon miktarları yakıta çok bağlıdır ve elektrik faktörleri bölgeden bölgeye değişebilir. Eğer emisyonlar dâhil edilirse, hesaplama metodolojisi tablonun en altında bir not olarak gösterilmelidir.

Tablo 12.2. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları özet tablosu

| Değerlendirme Fırsatları | | Tahmin Edilen Yıllık Tasarruf | | | | | Basit Geri Ödeme Süresi (Yıl) |
|--------------------------|--|-------------------------------|--------------|---------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| ESO# | Tedbir Önerileri | MWh | kW | GJ | CO ₂ (Metrik Ton) | Maliyet Tasarrufu (\$) | |
| 1 | Çalışan kazan sayısının azaltılması | 0 | 0 | 40.200 | 2.134 | 165.500 | 0,0 - 0,2 |
| 2 | Kazan fanlarının FD ve ID'lerine VFD takılması | 12.500 | 1.400 | 0 | 7.749 | 712.500 | 0,9 - 1,4 |
| 3 | Blöf ısı geri kazanımının iyileştirilmesi | 0 | 0 | 53.600 | 2.846 | 220.500 | 0,5 - 0,7 |
| 4 | CT pompasına karşı basınçlı türbin takılması | 8.750 | 1.000 | (43.000) | 3.141 | 328.000 | 1,2 - 2,3 |
| Toplam | | 21.250 | 2.400 | 50.800 | 15.870 | 1.426.500 | 0,8 – 1,4 |

12.2.4. Nitel öneriler listesi

Çalışmanın detay seviyesine ve buhar sistem enerji değerlendirmesinin kapsamına bağlı olarak, enerji uzmanları olası tüm fırsatlar için enerji ve maliyet tasarrufunu sayısal olarak ortaya koyamayabilirler. Bazen uzmanın yeterince vakif olamadığı proses konularını daha fazla anlamaya gerek duyulur. Bu fırsatlardan bazıları, ancak tesiste çok büyük altyapı değişiklikleri yapıldığında çok iyi fırsatlar haline gelebilir. Bu yüzden, fırsatların hepsi tek bir yerde toplandığında, bu liste tesis için çok değerli bir bilgi sağlar. Buna ek olarak, bakım ve uygun enerji yönetimi faaliyetlerinden sağlanacak enerji ve maliyet faydalarını hesaplamak zor olduğundan, bu konuyla ilgili en iyi uygulamalar burada listelenebilir. Tablo 10.3'te bir buhar sistemi değerlendirme raporundan alınan nitel öneriler örneği sunulmuştur.

Tablo 12.3. Örnek: nitel öneriler listesi

| | |
|-----|---|
| 1. | Düşük basınçlı kazan kullanmadan önce buharı üretmek için yüksek basınçlı kazan kullanın. |
| 2. | Proses suyu ısıtması için düşük basınçlı (20 psig) buhar kollektörü kurun. |
| 3. | Tesis içine bir yoğuşmalı türbin üretim bölümü kurun. |
| 4. | Tesisin kondens geri dönüşünü iyileştirin. |
| 5. | Otomatik kazan blöf kontrolünü devreye alın. |
| 6. | Geri kazanım kazanında akıllı kurum üfleme kontrollerini devreye alın. |
| 7. | Tesis için bir buhar dengesi ve güç üretim modeli oluşturun. |
| 8. | Tesisteki sabit cihazları kalibre edin. |
| 9. | Tesiste günlük denetimler için taşınabilir ölçüm cihazları kullanın. |
| 10. | Ekipman verimini devamlı izleyin ve gidişatını belirleyin. |

12.2.5. Genel gözlemler, kabuller ve veri toplanması

Genel gözlemler, kabuller ve veri toplanması bölümü raporun gövde kısmında ilk bölümdür ve iki sayfayı geçmemesi beklenir. Ana fikir, tesisin bir bütün olarak anlaşılmasıdır. Bu bölüm; tesisteki tüm operasyonlar ile ilgili bilgileri, yardımcı işletmeler hakkındaki bilgi ve maliyetleri, çalışma saatlerini, çizelgeleri içermelidir. Buhar Sistemi Kapsam Belirleme Aracı (SSST) sonuçları bu bölümde verilmelidir.

Bu bölüm, ayrıca, değerlendirme sırasında enerji uzmanı tarafından yapılan kabulleri de içermelidir. Tesisin çalışma profilinin nasıl çıkarıldığına ve modellerin oluşturulması için hangi mevsimsel ve üretimsel kabullerin yapıldığına ilişkin bilgilere de burada yer verilebilir.

Veri toplama, verilerin nasıl toplandığı ve hangi verilerin toplandığı konusunda bilgi verilir. Verilerin bir kısmı elle taşınan ölçüm cihazlarıyla yapılan anlık kontroller olabilir. Diğer yandan, proses ve yardımcı işletmelere yönelik bilgiler, bir veri kaydedicisinden elde edilebilir. Bu verilerin 5 dakikalık, saatlik, 6 saatlik, günlük vb. periyotlar için ortalamaları alınmalıdır. Enerji uzmanları için tesis işletme verilerinin kaynağını belirlemek önemlidir; böylece değerlendirmeden çıkarılan sonuçlar ve analiz, tesis personeli ya da üçüncü bir taraf tarafından tekrarlanabilir.

12.2.6. Buhar sistemine genel bakış

Adından da anlaşılacağı üzere, bu bölümde tesisteki buhar sisteminin anlaşılması sağlanır. Bu bölüm, buhar sistemi hakkında aşağıdaki bilgileri içerecek şekilde ayrıntılı bilgi sunmalıdır:

- Kazanlar – tasarım koşulları, anma kapasiteleri, yakıtlar, vb.
- Dağıtım sistemi – kollektör basınçları, tasarım debileri, basınç düşürme istasyonları, vb.
- Buhar türbinleri ve jeneratörler – tasarım koşulları, anma kapasiteleri, vb.
- Kondens sistemi
- Degazörler – tasarım koşulları
- Su arıtma yeteneği
- Özgül buhar son kullanıcıları – ana proses kullanıcıları, doğrudan enjeksiyonlu buhar, vb.

Bu bölümde, ayrıca, değişik kazanlardan belirli periyotlarda (örneğin yıllık) alınan buhar debisi ve buhar türbininde üretilen elektrik değerlerini gösteren çubuk diyagramlar da mevcuttur. Bu bölümde sunulan bilgiler çoğunlukla toplanan ham bilgilerden gelir. Diğer yandan, bu bölümde tesisteki genel buhar sistemini gösteren blok ve hat şemaları da mevcuttur. Ayrıca, Proses Akış Diyagramı (PFD) ya da Boru Tesisatı ve Enstrümantasyonu Diyagramı (P&ID) da bu bölüme dâhil edilebilir ya da raporun bir eki olarak sunulabilir.

12.2.7. Buhar sistemi işletim performansı ve etkinliği

Bu bölümde, buhar sisteminde bulunan tüm kritik ekipmanın işletim performansları ve verimlerinin hesaplamaları ile ilgili çok sayıda değerlendirme işlemlerinden elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Bunların içinde kazanlar, buhar türbinleri, eşanjörler vardır. Bu bölümün ana fikri, tesisin buhar sisteminin anlaşılmasını sağlamak ve olası verim iyileştirme ve optimizasyon alanlarını göstermektir.

Bu bölümdeki bütün bilgiler termodinamik analizden ve buhar özellikleri, kütle dengeleri, enerji dengeleri vb. modeller kullanılarak elde edilmiştir. Örneğin, kazan verimleri birinci kandan (yakıt debisi, yakıtın HHV değeri, buhar debisi, buhar ve besleme suyu entalpileri) he-

12.2.9. Tesiste gözlemlenen en iyi uygulamalar

Bu bölümde, buhar sistem işlemlerinde mevcut bulunan en iyi uygulamalar ayrıntılandırılmalıdır. Gelecekte bağlantının kopmaması için endüstriyel tesiste bulunan en iyi uygulamaların farkına varılması çok önemlidir. İkinci olarak, tesis personeli en iyi uygulamalardan dolayı övgüyü hak ettiği için, bu bölümde söz konusu çabalara yer vermek uygun olacaktır. Son olarak bu bölüm, tesisin muhtemel genişlemelerinde en iyi uygulamaları yürütecek veya aynı şirkete ait diğer tesislerde benzer uygulamaları yapacak tesis personelini bilgilendirmeye yarayacaktır.

Belirlenen her bir en iyi uygulama kısaca bir ya da iki açıklama ile tanımlanmalıdır. En iyi uygulamalar hakkındaki bazı örnekler ve değerlendirme raporuna dâhil edilebilecek bazı temel tanımlamalar aşağıda gösterilmektedir.

Saha seviyesinde genel entegrasyon

Buhar, merkezi olarak santralde ve geri kazanım bölgelerinde üretilir ve daha sonra sahaya yayılmış buhar kollektör ağı ve entegrasyonu ile dağıtılır.

Enerji dengesi analizi için yeterli miktarda ölçüm cihazı

Kritik işletme parametrelerini takip eden önemli miktarda ölçüm cihazı mevcuttur. Bunun yanı sıra, tesis personelinin buhar ve kondensi takip etmesini sağlayarak enerji dengesi kurmasına yardımcı olan bir veri kayıt sistemi mevcuttur.

Temel performans göstergelerinin değerlendirilmesi

Tesis personeli, sürekli olarak, geri kazanım kazanı, türbin jeneratörleri gibi özellikle kritik ekipmanlarla ilgili olan temel performans göstergelerini takip eder ve değerlendirir.

Tüm kazanlarda besleme suyu ekonomizörü/hava ön ısıtıcıları

Tesiste yüksek basınçlı kazanlarda hava ön ısıtıcıları mevcuttur. Diğer kazanlarda besleme suyu ekonomizörleri vardır. Tüm kazanlardaki bu ısı geri kazanım ekipmanı, baca gazındaki ısıyı tutar ve kazan verimini artırır.

Blöf flaş buharı geri kazanımı

Tesiste tüm kazanlarda blöf flaş buharı geri kazanımı mevcuttur. Flaş buharı 1,5 bar'da blöften geri kazanılır. Bu ısı geri kazanımı kazan/sistem verimini artırır.

12.2.10. Tesisteki enerji ve maliyet tasarrufu optimizasyon fırsatları

Enerji değerlendirmesinin değeri açısından bakıldığında, bu bölüm değerlendirme raporunun en önemli kısmıdır. Daha sonra tesiste doğrudan buhar sistemi optimizasyonunu sağlayacak ve enerji ve/veya maliyet tasarrufu getirecek olan tüm optimizasyon projeleri bu bölümde tartışılır. Her bir optimizasyon çalışması belirli hedeflere sahiptir. Çoğunlukla bu hedeflerin tümü karşılanmaz ve tesiste hangi fırsatların ve projelerin uygulanacağı bir Pareto yaklaşımı ile tanımlanmalıdır. Ortaya çıkan proje hedeflerinin değerlendirme raporunun bu bölümünde belirtilmesi çok önemlidir; çünkü bu, optimizasyon fırsatlarına ulaşmada hangi amaçların ve hedef-

lerin kullanılacağı tesis tarafında anlaşılmasını sağlar. Buhar sisteminde optimizasyon fırsatlarının tanımlanması için bazı tipik hedefler şunlardır:

- Tesis için toplam yardımcı işletme maliyetlerini minimize etmek,
- Buhar sisteminin işletim ısı enerji verimini maksimize etmek,
- Hiçbir başlangıç maliyeti olmayan ya da minimum başlangıç maliyeti olan (alt dallarda meyveler) ve geri ödemesi hızlı olan projeleri tanımlamak,
- İşlemlerin güvenilirliğini maksimize etmek ve buhar sisteminin işlemlerinde kararlılığı sağlamak,
- Tesisin genel elektrik gücü talebi için elektrik şebekesine olan bağımlılığı minimize etmek,
- Uygun bakım en iyi uygulamaları ile sürdürülebilir projeleri belirlemek,
- Tesis bölgesindeki ve/veya global olarak sera gazı emisyonlarını minimize etmek.

Her fırsat yeni bir sayfada tanımlanmalı ve Enerji Optimizasyon Fırsatları Özet Tablosu'nda listelendiği sırayla takip edilmelidir. Enerji optimizasyon fırsatının (E00) ana bölümleri şunlardır:

Başlık ve numara

Her E00 benzersiz bir numaraya ve fırsatı tanımlayan kısa bir başlığa sahip olmalıdır. Bu genel bir başlık olabileceği gibi tesis ya da ekipmana özel bir başlık da olabilir.

Optimizasyon fırsat tablosu

Optimizasyon fırsat tablosu, toplam (net) sayısal tasarruflar da dâhil olmak üzere elektrik enerjisi ve yakıtların ayrı ayrı enerji ve maliyet tasarrufu sayısal bilgilerine sahip olmalıdır. Aksi belirtilmediği sürece, tüm bu verilerin yıllık bazda gösterilmesi en iyisidir. Fırsat tablosu, ayrıca, en düşük ve yüksek olmak üzere potansiyel proje maliyetini de içermelidir. Maliyetler birinci seviye tahmin olarak hem bu tip projelerdeki geçmiş deneyime, hem de tedarikçilerle yapılan ön görüşmelere dayanmalıdır. Ayrıca, bu maliyet rakamlarına ve net olası tasarrufa göre bir geri dönüş süresi de hesaplanmalıdır. Son olarak, CO₂ tasarruflarına bağlı olarak bu tabloda sera gazı azalmaları da raporlanabilir.

Arka plan bilgisi

Arka plan bilgisi, optimizasyon fırsat alanına yönelik olarak uygulanan tesis özelindeki mevcut işletimin ya da durumun açıklamasını vermektedir. Bu bölüm, sadece sözel açıklayıcı olarak hazırlanmış olmakla birlikte tesis fotoğraflarını, grafiklerini, hat şemalarını ve benzeri dokümanları da içermektedir.

Öneri

Öneri alt bölümü, insanların anlayabileceği, basit biçimde bu optimizasyon fırsatının tesiste nasıl uygulanacağını ve tesisin işletimine yönelik enerji ve maliyet tasarruflarını gerçekleştirmek için neler yapılması gerektiğini anlatmaktadır.

Tahmin edilen tasarruf metodolojisi

Bu alt bölümde, tesiste E00 uygulayarak enerji ve maliyet tasarrufunu tahmin etmek için kullanılan metodoloji anlatılmaktadır. Metodoloji, çoğu zaman, SSAT veya başka yazılım araçlarına benzer yazılımlar gibi geliştirilmiş olan buhar sistemi termodinamik modellerine yönlendirilir.

dirme yapmaktadır. Tasarruf tahmin metodolojisinde, bilimsel kitaplar ve dergilerdeki teknik makaleler gibi güvenilir kaynaklarda yayınlanan bilgilere de atıf yapılabilir. İmalatçıların tavsiyeleri ve tasarruf tahminleri son bir çare olarak düşünülebilir, ancak bu tür tavsiyelerin niteliği belirtilmelidir. Üreticilerin tavsiyesini kullanarak tahmini tasarrufları belirlemeden önce, buhar sistemi enerji uzmanının, en azından, bir doğrulama yapması beklenmektedir.

Uygulama maliyeti ve basit geri ödeme süresi

Uygulama maliyetinin tespiti, önemli miktarda araştırma gerektirir ve buhar sistemi enerji değerlendirmesinin kapsamı içerisinde hesaplanması zor olabilir. Bununla birlikte, tesiste EOO'nun uygulanması için bir düşük ve yüksek maliyet aralığı elde edilmesi bu çalışmaya değer olacaktır. Bu alt bölüm, uygulama maliyetinin nasıl tahmin edildiğine dair bir kılavuzluk sağlar. Uygulama maliyetlerini tahmin etmek için başlıca kaynak, imalatçılardan alınan bilgilerdir (kataloglar, broşürler, web siteleri). Birçok durumda, proje uygulamalarında enerji uzmanlarının deneyimleri çok iyi bir bilgi sağlayabilir. Tesis personeli ve yükleniciler de, ayrıca, proje uygulama maliyetlerinin belirlenmesi için değerli kaynaklardır. Aynı proje için sektöre ve yerel düzenlemelere bağlı olarak uygulama maliyetlerinin önemli ölçüde değişebileceği unutulmamalıdır.

Yatırımın basit geri ödeme süresi, artık bu bilgiler ışığında hesaplanabilir ve elde edilebilir. Hızlıca yatırım geri dönüşü sağlayan maliyetsiz ya da az maliyetli projeler öncelikli projeler olarak tanımlanmalıdır. Bunlara kısa vadeli projeler denebilir. 1 ilâ 3 yıllık yatırım geri dönüşü olan projeler orta vadeli projelerdir ve 3 yıldan fazla sürede geri dönüş sağlayan projeler de uzun vadeli projelerdir.

Uygulama için sonraki aşamalar

Çoğu durumda, tesis personelinin birçok sorumluluğu vardır ve tesiste EOO'yu uygulamak için odaklanma imkânı yoktur. Bu yüzden, tesis personeline her bir enerji ve maliyet tasarruf uygulama projesiyle ilgili sonraki adımların açıklamasını yapmak ve rehberlik sağlamak açısından EOO raporunu yazmak gereklidir. Bu bölüm; belirlenmiş olası eylem maddeleri, satıcılardan alınan teklifler vb. ayrıntılı hususları içeren bir bölüm olabilir. Diğer yandan, tesis personelinin ilâveten dikkat etmesi gereken talimatları içeren çok basit bir alt bölüm de olabilir.

EEO raporları ile ilgili birkaç örnek Tablo 12.4, 12.5 ve 12.6'da sunulmuştur. Bu tablolar herhangi bir özel değerlendirme ile ilgili değildir ve burada sadece enerji uzmanlarının kendi buhar sistem enerji değerlendirme raporlarında kullanması için örnek birer şablon olarak verilmiştir.

12.2.11. Tesis için nitel öneriler ve en iyi uygulamalar

Nitel öneriler, değerlendirme sırasında daha detaylı incelenmesi ve uygulanması gerektiği tanımlanan enerji optimizasyon fırsatları hakkında bilgi sunar. Ölçümlerdeki, bilgilerdeki eksiklikler ve/veya değerlendirme sırasındaki kaynak yetersizlikleri nedeniyle, özgül enerji ve maliyet tasarrufları, değerlendirme sonunda sayısal olarak ifade edilmez. Nitel değerlendirmeler, tesisin herhangi bir ana bileşeninde (yardımcı işletme ya da proses) iyileştirme yatırımı yapılacağı zaman tekrar bakılması gereken "ezber bozan" optimizasyon fırsatlarıdır. Nitel öneriler, ayrıca, tesiste hayata geçirilebilecek sektörel en iyi uygulamaları da içerebilir. Esasında, nitel öneriler alanını, enerji değerlendirmesi sırasında enerji uzmanı ve tesis personelinin beyin fırtınası ile ortaya koyduğu bütün fikirlerin toplandığı yer olarak düşünmek mümkündür. Bunları toplamak ve kaybetmemek hayati önem taşımaktadır.

Her nitel öneri ayrı bir numara ile tanımlanmalı, her önerinin bir başlığı ve kısa bir tanımlanması olmalıdır. Bazı nitel öneri örnekleri Tablo 12.7'de sunulmuştur.

Tablo 12.4. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-1

| EOO #4: Düşük basınçlı kazanlara besleme suyu ekonomizörünün takılması | | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Tahmin Edilen Yıllık Tasarruf | | | Tahmin Edilen Proje Maliyeti | | Basit Geri Ödeme Süresi (Yıl) |
| | Kaynak | CO ₂ (metrik ton) | Amerikan Doları | Düşük | Yüksek | |
| Doğal gaz | 61.500 GJ | 3.266 | 253.500 \$ | | | |
| Toplam | | 3.266 | 253.500 \$ | 600.000 \$ | \$750.000 | 2,4 - 3,0 |

Geçmiş

Düşük basınçlı (LP) kazanlarda (B1 ve B2) besleme suyu ekonomizörü yoktur. Bu kazanlar genellikle minimum yükleme koşullarında çalışırlar ve LP kazanlar için baca sıcaklıkları sırasıyla 270°C ve 267°C'dir. Bu sıcaklıklar tesisteki aynı basınçta yaklaşık 165°C sıcaklıkta çalışan diğer LP kazanları ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir.

Öneri

Elektrik santrali genel buhar üretim verimini artırmak için LP kazanları B1 ve B2'ye besleme suyu ekonomizörleri takılması önerilmektedir.

Tahmin Edilen Tasarruf

LP kazanları B1 ve B2 için mevcut işletim koşullarına bağlı olarak enerji tasarrufları tahmin edilebilir. Baca sıcaklıklarında sırasıyla 270°C ve 267°C'den yaklaşık 175°C sıcaklığa düşüşler nedeniyle B1 ve B2 kazan verimlerinde artış meydana gelir ve enerji tasarrufları oluşur. Bu ise, B1 kazan veriminin yaklaşık %79,2'den %82,7'ye ve B2 kazan veriminin %79,7'den %82,7'ye çıkmasına imkân verir. Tüm bu değerler %6 baca gazı oksijen değerinde hesaplanmıştır. Toplam yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 61.500 GJ'dür ve bu da yıllık 253.500 \$ maliyet tasarrufuna eşdeğerdir.

Uygulama Maliyeti ve Basit Geri Ödeme Süresi

Paketlenmiş ekonomizör demetleri günümüzde birçok imalatçıda bulunmakla birlikte, bu EOO raporunda baca gazı için ayrıntılı mühendislik ve basınç düşüşü hesaplamaları gerekecektir. Takılan ekonomizör maliyeti kazan başına 350.000 \$ olacaktır. Basit geri ödeme süresinin 2,4-3 yıl olması beklenmektedir.

Uygulama Sonrası Yapılacaklar

Tesis personelinin, orijinal kazan imalatçısı ve olası ekonomizör imalatçıları ile birlikte, besleme suyu ekonomizörlerini LP kazanları B1 ve B2'ye takmak için ısı değiştirme alan ihtiyaçları, basınç düşüşleri, boyut ve maliyet hakkında çalışma yapması gerekmektedir.

Tablo 12.5. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-2

| EOO #9: Soğutma kulesi su pompalarına karşı basınçlı türbinlerin takılması | | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | Tahmin Edilen Yıllık Tasarruf | | | Tahmin Edilen Proje Maliyeti | | Basit Geri Ödeme Süresi (Yıl) |
| | Kaynak | CO ₂ (metrik ton) | Amerikan Doları | Düşük | Yüksek | |
| Elektrik Enerjisi | 8.750.000 kWh | 5.424 | 505.000 \$ | | | |
| Elektrik Talebi | 1.000 kW | - | - | | | |
| Doğal gaz | (43.000) GJ | (2.283) | (177.000 \$) | | | |
| Toplam | | 3.141 | 328.000 \$ | 400.000 \$ | 750.000 \$ | 1,2 - 2,3 |

Geçmiş

Rafineride 18/4 bar basınç düşürme istasyonu, genellikle yaklaşık 70 T/h buhar debisine sahiptir. Bu düşürme istasyonları proses alanındadır.

Öneri

Proses alanında bulunan bir ya da iki elektrikli soğutma kulesi pompasının, buhar karşı basınçlı türbin tahrikli pompaya dönüştürülmesi tavsiye edilmektedir.

Tahmin Edilen Tasarruf

Buhar debisi yaklaşık 70 T/h iken ve yaklaşık 2.300 kW mil gücü üretirken, yaklaşık 1.000 kW'lık mil gücü üretmek için enerji tasarrufları tahmin edilmektedir. Bu da bir ya da iki soğutma kulesi su pompasının değiştirilmesine eşdeğer olabilir. Yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 8.750.000 kWh olarak tahmin edilmektedir, talep tasarrufu yaklaşık 1.000 kW ve yakıt artışı yaklaşık 43.000 GJ'dür. Yıllık net maliyet tasarrufu yaklaşık 328.000 \$'dır.

Uygulama Maliyeti ve Basit Geri Ödeme Süresi

Tahmin edilen uygulama maliyeti yaklaşık 400.000 \$ - 750.000 \$'dır.

Uygulama Sonrası Yapılacaklar

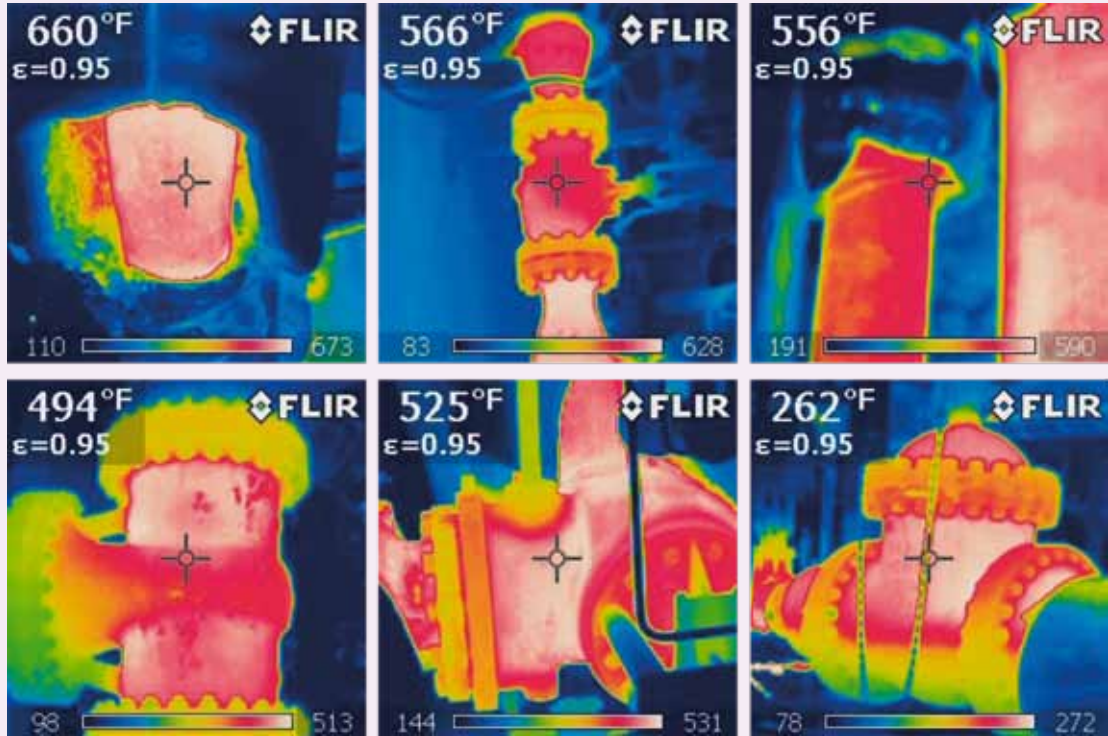
Tesis personelinin, basınç düşürme istasyonlarında sürekli buhar akışı olduğundan ve bunun tüm yıl boyunca devam ettiğinden emin olması gerekmektedir. Buna ek olarak, tesis personeli, karşı basınçlı buhar türbini ile çalışan ekipmana dönüştürülebilecek elektrikli motorla çalışan ilâve ekipman aramalıdır.

Tablo 12.6. Örnek: enerji optimizasyon fırsatları sonuç raporu-3

| EEO #12: Tesis genelinde buhar sistem yalıtımının iyileştirilmesi | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | Tahmin Edilen Yıllık Tasarruf | | | Tahmin Edilen Proje Maliyeti | | Basit Geri Ödeme Süresi (Yıl) |
| | Kaynak | CO ₂ (metrik ton) | Amerikan Doları | Düşük | Yüksek | |
| Doğal gaz | 75.000 GJ | 3.980 | 300.000 \$ | | | |
| Toplam | | 3.980 | 300.000 \$ | 50.000 \$ | 300.000 \$ | 0,2 - 1,0 |

Geçmiş

Buhar sıcaklıkları 450°C (elektrik santralinde) ya da 350°C (tesiste) kadar yüksek olabilir. Tesisin gezilmesi sırasında yalıtım yapmanın fayda sağlayacağı birçok bölge tespit edilmiştir. Buna ek olarak, tesis personelinin güvenliği için de yalıtım yapılması gerekmektedir. Değerlendirme sırasında çekilen bazı kızıl ötesi fotoğraflar aşağıda gösterilmektedir.



Öneri

Tesis çapında yalıtım enerji değerlendirmesi/etüdü yapılmalıdır. Bu etüt kazanlarda, buhar dağıtım ve boru tesisatında, türbinlerde, proses ekipmanında, vb. kızılötesi termografiyi de içermelidir. Enerji maliyetine bağlı olarak yalıtım öncelikleri tanımlanmalıdır ve 3EPlus yalıtım yazılımındaki ekonomik kalınlık hesaplayıcısı kullanılmalıdır.

Tahmin Edilen Tasarruf

3EPlus programı ile yalıtım ısı kaybı belirlenmiştir ve ABD EB SSAT üç kollektörlü model enerji tasarruflarının sayısal karşılığını belirlemek için kullanılmıştır. Örneğin, 12 inçlik yalıtım yapılmamış boru maliyeti yaklaşık 2.500 \$/m/yıl; 4 inçlik yalıtım yapılmamış boru maliyeti yaklaşık 1.000 \$/m/yıl ve yalıtım yapılmamış düz dik bir yüzeyin maliyeti 2.500 \$/m²/yıl olarak tespit edilmiştir. Bu rakamlar tipik bir tesisteki buhar sıcaklıkları baz alınarak verilmiştir. Burada, değerlendirme sırasında incelenmiş yalıtıma dayanılarak enerji tasarrufuyla ilgili bir BRÜT TAHMİN ortaya konulmuştur. Yaklaşık 255.000 \$'lık maliyet tasarrufuna eşdeğer olmak üzere yıllık yaklaşık 62.000 GJ enerji tasarrufu, tesis çapında yalıtımın artırılması ya da belli yerlerdeki yalıtımın tamir edilmesi ile gerçekleştirilebilir.

Uygulama Maliyeti ve Basit Geri Ödeme Süresi

Genellikle yalıtım projeleri hemen ve çok kısa geri ödeme sürelerine sahiptir ve çoğu durumda bu süre bir yıldan azdır. Ancak, uygulama maliyeti yalıtım tipine, konumuna ve karmaşıklığına bağlı olarak değişmektedir.

Uygulama Sonrası Yapılacaklar

Tesiste yalıtıma yönelik ayrıntılı bir etüt/değerlendirme yapılmalıdır. Tesisin ihtiyacına göre yalıtım kalınlaştırılmalı veya yerine göre yalıtım kaçakları tamir edilmelidir.

Tablo 12.7. Nitel öneri örnekleri sonuç raporu

Nitel Öneri 1: Proses suyu ısıtması için düşük basınçlı (1,5 bar) kollektör yapılması

Tesiste proses suyu ısıtması için, çok daha az basınçla (1,5 bar) buhar kullanmak yerine 3,5 bar basınçta sahip kollektörden buhar kullanıldığı tespit edilmiştir. Tesiste 1,5 barlık kollektör bulunmamaktadır, bu yüzden ya yeni bir kollektör kurulması ya da 3,5 barlık kollektörün 1,5 bara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu öneri birçok yapısal değişiklik yapılarak sağlanabilir:

- Degazör çalışma basıncının düşürülmesi,
- 1 numaralı türbin jeneratörünün daha düşük bir basınçta çıkış için yeniden düzenlenmesi ya da daha düşük kollektör basıncında çıkış için yeni bir türbin kurulması,
- Tüm son kullanıcılarda en düşük basınçlı buhar kullanımı sağlamak için proses yüklerinin izole edilmesi.

Bu önerinin faydaları arasında şunlar vardır:

- 3,5 barlık kollektörde basınç düşüşünü azaltmak,
- Tesisteki güç üretimini artırmak,
- Sistemi optimize etmek ve buhar sistem dengelemesi ve yedek bulundurma için alternatifler sağlamak.

Nitel Öneri 2: Tesisin kondens geri dönüşünün iyileştirilmesi

Kondens geri kazanımı için hedeflenmesi gereken birçok bölge mevcuttur ve kondens bu alanlardan toplanarak santral ve geri kazanım alanına döndürülmelidir. Mevcut kondens geri dönüşü %60 olarak ölçülmüştür. Tesis için ABD EB SSAT modeli iyi bir birinci seviye tahminidir. Tesis için geliştirilen modele göre, kondens geri dönüşünün 3,5 bar basınçta sahip kollektör

törde 0,63 litre/saniye iyileştirilmesi, yıllık yaklaşık 15.000 \$ maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle, tesis için daha ayrıntılı bir kondens çalışması yapılması tavsiye edilmektedir.

Nitel Öneri 3: Tesiste sabit bulunan ölçüm cihazlarının kalibrasyonu

Arıza bulma ve giderme ile performans iyileştirme gibi her türlü değerlendirme için ölçüm cihazları başarıdaki anahtardır. Bu nedenle, tesis personeli debimetreleri (akış ölçerleri), sıcaklık ve basınç sensörlerini periyodik olarak kontrol ve kalibre etmek için bir protokol oluşturmalıdır. Tesiste değerlendirme sırasında veriler toplanmıştır ve tesis personeli doğru olarak okumayan ya da sistemin ayarı için bir problem çıkaran önemli veri noktalarını bulmuştur.

Nitel Öneri 4: Tesiste günlük araştırmalar için taşınabilir ölçüm cihazlarının kullanılması

Buhar sistemi optimizasyon programı için tesiste aşağıdaki taşınabilir ölçüm cihazlarının kullanılması tavsiye edilmektedir:

- Termal kamera
- Buhar kaçakları, dışarı atılan buhar vb. için Pitot tüpü ve basınç farkı (dP) sensörü

Nitel Öneri 5: Ekipman verimini izlemeye ve değişimi gözlemeye devam edilmesi

Tesis, buhar kullanan çeşitli üretim ve birim işlemlerine sahiptir. Tesis yüksek enerji verimliliği seviyelerine ulaşma yolunda ilerlerken, buhar sistemi ekipmanları için üretime göre buhar kullanımına dayalı (örneğin türbinler, kazanlar, vb.) kıyas ölçütleri oluşturmak sağlıklı bir yaklaşım olacaktır. Uzun vadede, bu durum, operasyonun düşük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. İzlenmesi, değişimin gözlenmesi veya hesaplanması gereken bazı diğer önemli parametreler şunlardır: Kazan-baca gazı sıcaklığı, fazla oksijen, buhar debileri, besleme suyu ekonomizör verimi ve buhar türbini verimi.



Bölüm 13

Vaka İncelemeleri

Genellikle, buhar sistem optimizasyonu enerji değerlendirmeleri, projeye dönüşür ve uygulanmaya başlar. Başarı öykülerini ve öğrenilen dersleri bilgilendirici biçimde yakalamak son derece önemlidir; bu sayede, bunları sanayide yaygınlaştırmak mümkün olabilecektir. Sanayide çoğu kez “Biz ikinci olmak için birinci olmak istiyoruz” felsefesi takip edilmektedir. Bu cümle, basit anlatımla, sanayinin sadece izleme kayıtları bulunan kanıtlanmış teknolojileri uygulamak istediği anlamına gelir. Genellikle hiçbir tesis, çok iyi bir enerji ve maliyet tasarrufu beklenen yeni (veya riskli) bir teknolojinin denendiği bir test alanı olmak istemez; çünkü teknoloji uygulamada başarısız olursa bu durum, daha sonra üretimde bozulmaya yol açan kötü sonuçlara, tesisin alt üst olmasına veya kapatma senaryolarına neden olabilir.

Vaka incelemeleri; teknoloji, proses, en iyi uygulamalar, uygulama maliyeti bilgisi ile tesis ve fabrikalarında buhar sistem optimizasyonunu başarıyla uygulamış başkalarından öğrenilen önemli dersler hakkında anlamlı bilgiler verilmesine yardımcı olur. Vaka incelemeleri, buhar sistem optimizasyon raporunda sayısallaştırılmış enerji ve maliyet tasarruflarının ulaşılabilir ve benzeri (veya farklı) sanayi sektörlerinde kanıtlanmış olduğunu yönetime ispatlamak için kullanılabilir.

Bu bölümde, yazarlar tarafından yürütülen buhar sistem optimizasyon değerlendirmelelerinden geliştirilen seçilmiş vaka incelemelerinden birkaç örnek bulunmaktadır. Vaka incelemelerinin ilk seti 2005-2010 döneminde “Şimdi Enerji Tasarrufu Programı” kapsamında ABD EB tarafından yayımlanmıştır. Uygulamalardaki çeşitliliği göstermek ve özellikle prosesleri ve yardımcı işletmelerdeki rejimleri birleştiren projelerin karmaşıklığını anlaşılır kılmak için bazı ilâve vaka incelemeleri de sunulmuştur. Mesleki dergilerde, konferans bildirilerinde, ekipman üreticileriyle ilgili literatürde, vb. yayınlanan çok sayıda vaka incelemesi vardır. Bir buhar sistemi enerji uzmanının modern uygulamaları ve teknolojiyi bilmesi için mevcut literatürü okuması, uygulamaları ve öğrenilen dersleri anlaması gerekmektedir.

13.1. Vaka İncelemesi-1: DOW Chemical Company

13.1.1. Özet

2005 yılı sonlarında, "ABD EB Şimdi Enerji Tasarrufu" enerji değerlendirmesi, Louisiana-Hanhville'deki Dow Chemical'ın Charles Operations petrokimya tesisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, tesisin buhar sistemindeki doğal gaz tasarrufu fırsatlarını belirlemektir. Hudson Technologies'in ABD EB enerji uzmanı Riyaz Papar tarafından gerçekleştirilen değerlendirme, buhar sistemi verimliliğini artırmak için çeşitli fırsatlar sağlamıştır. Bazı kısa vadeli fırsatlardan yararlanılarak Saint Charles tesisi için büyük miktarda doğal gaz tasarrufu sağlanmıştır. Saint Charles'taki personel buhar kapanı programını geliştirmiş ve kaçak giderme kampanyasına devam etmiştir. Dow Chemical bu sistemlerin veriminin geliştirilebilir olduğunun farkında olmasına rağmen, değerlendirme, firmayı iyileştirme uygulamalarını yapmaya zorlamak için potansiyel enerji fırsatlarını sayısal olarak ortaya çıkarmıştır. İki önlemlle sağlanan toplam yıllık enerji ve maliyet tasarrufu sırasıyla 272.000 GJ ve 1.900.000 \$'dır. Yaklaşık 225.000 \$'lık proje maliyetiyle basit geri ödeme süresi yaklaşık altı haftadır.

13.1.2. Şirket ve tesis arka planı

Dow Chemical Company kimyasal, plastik ve tarım ürünleri ve hizmetleri sektörlerinde çok sayıda temel tüketim malzemesini geniş bir yelpazede sunan ve birçok farklı alanda faaliyet gösteren bir şirkettir. Dünyada 175'ten fazla ülkedeki müşterileri ve 42.000 çalışanı ile şirket yıllık 46 milyar \$'lık ciroya sahiptir. Son 30 yılda Dow, enerji verimliliği konusunda proaktif bir şirket olmuştur. 2005 yılında şirket, 2015'e kadar enerji yoğunluğunu %25 oranında iyileştirme (azaltma) hedefi koymuştur. Şirketin daha önce Union Carbide Corporation tarafından sahip olunan 2.000 dönümlük St. Charles tesisi, 1966 yılından beri faaliyet göstermekte, glikol eterler ve aminler üretmektedir. Yaklaşık 3.000 çalışanı ile St. Charles tesisi, her yıl bu kimyasal ara ürünlerinden yaklaşık 5 milyon ton üretmektedir. Buhar; elektrik üretimi, damıtma, buharlaştırma ve konsantrasyon, proses ısıtması ve katalitik parçalanma gibi pek çok proses için gerekli olduğundan, bu tesisin üretimi için kritik bir önem arz etmektedir.

Veri toplama işlemi tamamlandıktan sonra, değerlendirme ekibi SSAT kullanarak buhar sistemini değerlendirmiş ve çeşitli enerji verimliliği fırsatlarını belirlemiştir. Ekip daha sonra her bir fırsat için beklenen tasarrufu ve geri ödeme süresini hesaplamış, geri ödeme sürelerine dayalı olarak fırsatları yakın ve orta vadeli olarak ayırmıştır.

13.1.3. Kısa vadeli SSO fırsatları

13.1.3.1. Buhar kapanı tamir projesi uygulanması

Değerlendirme gerçekleşmeden kısa süre önce bir buhar kapanı etüdü yapılmış ve tüm arızalı buhar kapanları tespit edilmiştir. Arızalı kapanlardan kaynaklanan buhar kaçağının doğru tahmini, SSAT içine arızalı kapanların sayısı girilerek ve bir buhar kapanı onarım projesinin uygulama etkilerinin modellenmesi yapılarak oluşturulmuştur. Doğal gaz ve maliyetlerdeki yıllık tasarruf sırasıyla 112.128 GJ ve 881.000 \$ olarak tahmin edilmiştir.

13.1.3.2. Buhar kaçağı yönetim programının iyileştirilmesi

SSAT kullanılarak, sistemdeki kaçaklardan kaynaklanan kayıp buhar miktarı, üretilen buhar toplamından uygulamalarda kullanılan buhar miktarı çıkarılarak tahmin edilmiştir. Başlangıç-

ta yapılan “Şimdi Enerji Tasarrufu” değerlendirmesi, tesisin buhar kaçaklarının tümünün giderilmesiyle yıllık enerji tasarrufunun 451.100 GJ'e ve yıllık maliyet tasarrufunun 3,3 milyon \$'a kadar çıkabileceğini göstermiştir. Bununla beraber, sonraki veri toplama, bazı buhar debimetrelerinin optimal koşullarda çalışmıyor olduğunu ortaya koymuştur ve diğer tesis varlıklarından kaynaklanan parazitik talebin tahmin edilen kaçak yükünün önemli bir bölümünü oluşturduğunu, dolayısıyla enerji tasarrufu potansiyelinin azaldığını göstermiştir.

13.1.3.3. Yalıtımın iyileştirilmesi

Tesisteki bir kontrol sırasında, buhar dağıtım ağının çeşitli alanlarında yeterli yalıtım olmadığı bulunmuştur. Ekip, ABD EB yalıtım hesaplama programı 3EPlus'ı kullanarak, toplam yalıtım kayıplarını yaklaşık %1,0 olarak tahmin etmiştir. Yapılan değerlendirme, bu yalıtım kayıplarının %0,1'e düşürülmesiyle, yıllık 3.030 GJ doğal gaz ve 25.000 \$ maliyet tasarrufu elde edilebileceğini göstermiştir.

13.1.3.4. Kondens geri kazanımının artırılması

Değerlendirme döneminde düşük basınçlı kondensin yaklaşık yarısı geri kazanılıyordu. SSAT kullanılarak yapılan analize dayanarak tesisin tamamı için %75 kondens geri kazanım oranının mümkün olduğu bulunmuştur. Artan kondens geri kazanımı ile yıllık doğal gaz ve maliyet tasarrufu sırasıyla 87.600 GJ ve 649.000 \$ olarak tahmin edilmiştir.

13.1.4. Orta vadeli SSO fırsatları

13.1.4.1. Blöf ısı geri kazanım eşanjörü takılması

Blöf, düşük basınçlı buharı geri kazanmak için bir flaş tankına gönderiliyor olmasına rağmen, enerji değerlendirmesinde blöf sistemlerinde hiçbir eşanjör bulunmadığı, ısı enerjisinin önemli miktarlarda kayba uğradığı anlaşılmıştır. Blöf tankının akış yukarısına bir ısı geri kazanım eşanjörü takılarak blöf suyundan önemli miktarda ısı alınabileceği ve bunun kazan takviye suyunu ısıtmak için kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Değerlendirmede bir blöf ısı geri kazanım eşanjörü kullanımıyla, doğal gaz kullanımında yaklaşık 31.000 GJ ve maliyette yaklaşık 200.000 \$ yıllık tasarruf yapılabileceği tahmin edilmiştir.

13.1.4.2. 5 barlık buharla ön ısıtıcı reaktör beslemesi

Değerlendirmede, ortam sıcaklığından reaksiyon sıcaklıklarına reaktör beslemesinin ön ısıtması için gerekli ısının bir miktarının, sadece sahada üretilen 40 bar buhara bağlı kalmak yerine, 5 bar buhar tarafından sağlanabileceği tespit edilmiştir. Bu fırsat doğal gaz tasarrufu sağlamazken, reaktör beslemesi ön ısıtmasında kullanılmayacak 40 bar buhardan ilâve elektrik üretimi yapılabileceği anlaşılmıştır. Bu durumun, 1.277 MWh ve 79.000 \$ tahmini yıllık elektrik ve maliyet tasarrufu sağlayarak elektrik alımlarını azaltabileceği hesaplanmıştır.

13.1.4.3. Karşı basınçlı türbin sürücü takılması

Tesiste 40 bar buhar üretilmesine rağmen, çoğu uygulamanın 13,5 barda buhar gerektirdiği görülmüştür. Değerlendirmede, karşı basınçlı türbin sürücüsü kurularak, kimyasal tesisin kendine özgü kritik güçle çalıştırılan ekipmanların bazılarında hizmet edebilecek kadar elektrik

enerjisi üretebileceği bulunmuştur. Yıllık elektrik ve maliyet tasarrufu sırasıyla 1.946 MW ve 121.000 \$ olarak tahmin edilmiştir.

13.1.5. Sonuçlar

Kısa vadeli yatırım geri ödemeleri olan bazı "Şimdi Enerji Tasarrufu" değerlendirme tavsiyelerinin uygulanması halihazırda önemli bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Buhar kaçaklarını gidermek ve fonksiyonel olmayan buhar kapanlarını değiştirmek, Saint Charles fabrikası enerji maliyetlerini azaltmış ve proses verimini artırmayı başarmıştır. Buhar kapanı güçlendirmesiyle yıllık 109.000 GJ enerji tasarrufu ve yaklaşık 792.000 \$ enerji maliyet tasarrufu elde edilmiştir. Buhar kaçaklarının onarımı 163.000 GJ yıllık enerji tasarrufu sağlarken, bu tasarrufun parasal karşılığı 1.100.000 \$'dan biraz fazla olmuştur. Toplam yıllık enerji tasarrufu 272.000 GJ ve enerji maliyet tasarrufu 1.900.000 \$ olarak gerçekleşmiştir. Toplam uygulama maliyeti yaklaşık 225.000 \$ ve basit geri ödeme süresi altı haftadan biraz fazla bir süre olarak ortaya çıkmıştır.

Dow gelecekte, "Şimdi Enerji Tasarrufu" değerlendirmesinde belirlenen diğer bazı fırsatları takip edebilir. Uygulanan önlemler ve ortaya çıkan enerji tasarrufu önemli olmakla birlikte, "Şimdi Enerji Tasarrufu" değerlendirmesinin bir başka önemli sonucu da her iki önlemin (yakın vadeli ve orta vadeli SSO fırsatları) kalıcılığıdır. Buhar kapanı bakımı ve kaçak yönetimi artık devamlı programlardır. Sonuç olarak, arızalı kapanlardan ya da buhar kolektörlerindeki çatlaklardan kaynaklanan buhar kaçakları tespit edilmekte ve gerçek zamanlı olarak onarılmaktadır. Buna ek olarak, Dow, St. Charles tesisindeki "Şimdi Enerji Tasarrufu" değerlendirmesinden alınan SSAT tabanlı analiz sonuçlarını, buhar kullanan diğer fabrikalarıyla paylaşmaktadır.

13.2. Vaka İncelemesi-2: Chrysler Company

13.2.1. Özet

2006 yılının Temmuz ayında, Chrysler için şirketin Missouri-St. Louis'teki kamyon ve mini-van montaj kompleksinde "Şimdi Enerji Tasarrufu" tesis enerji değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmenin temel amacı, kompleksin buhar sistemi analizi ve doğal gaz tasarrufu için fırsatları belirlemektir. Buna ek olarak, değerlendirme, tesis bünyesindeki çalışanların ABD EB'nin buhar sistemi değerlendirmesi araçları paketine aşina olmasını sağlamak ve buhar sistemlerini değerlendirirken onları sürekli bu araçları kullanmaya teşvik etmek için yapılmıştır. Değerlendirme çalışmasını Hudson Technologies'in ABD EB enerji uzmanı Riyaz Papar gerçekleştirmiştir. Bu değerlendirme, tesis personelinin buhar sisteminin verimini artırmak ve bünyesindeki doğal gaz tüketimini önemli ölçüde azaltmak için bazı fırsatları belirlemesinde başarılı olmuştur.

St. Louis kompleksi bünyesindeki personel, değerlendirme tamamlandıktan kısa bir süre sonra birkaç öneriyi uygulamak için çalışmaya başlamıştır. İlk proje, kazan işleyişini optimize etmek ve bir yük yönetim stratejisini uygulamak olarak belirlenmiştir. Daha sonra, bir kazandaki baca gazının oksijen içeriği azaltılmış, kazan blöf düşürülmüş ve süregelen bir buhar kapanı kontrol ve onarım programı başlatılmıştır. Bu tedbirler uygulandıktan sonra, komplekste yıllık 70.000 GJ'den fazla enerji tasarrufu ve yaklaşık 627.000 \$ yıllık enerji maliyeti tasarrufu sağlanmıştır. 125.000 \$'lık toplam uygulama maliyetiyle basit yatırımın geri ödemesi 2 ayın biraz üzerinde olmuştur. Değerlendirmede belirlenen birçok diğer fırsat halen incelenmektedir ve değerlendirme metodolojisi ABD'deki birçok diğer Chrysler tesisi ile paylaşılmıştır.

13.2.2. Şirket ve tesis arka planı

Chrysler LLC, binek otomobilleri, kamyonlar, minivanlar ve spor amaçlı ve ticari araçlar da dâhil olmak üzere pek çok türde araç üretmektedir. 500.000 m²'den fazla alanı kapsayan St. Louis işletmesi, kuzey tesisi ve güney tesisi olarak ayrılmıştır. Kuzey tesisi 2.300 işçi barındırmakta ve özellikle otomobil ve hafif ticari kamyon üretmektedir. 3.200 çalışanı ile güney fabrikasında Chrysler ve Dodge minivan üretilmektedir. Her iki tesis de, dört doğal gaz yakıtlı su borulu kazanın ürettiği 10 bar doymuş buharla beslenen elektrik santralinden kendi yardımcı işletme ihtiyaçlarını (buhar, soğuk su ve basınçlı hava) temin etmektedir. Buhar üretimi mevsime bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yaz aylarında buhar üretimi (Mayıs-Eylül ayları arasında) genellikle 75 T/h iken, ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında ortalama buhar üretimi 25 T/h olmaktadır. Aşırı soğuk havalarda, buhar üretimi 90 T/h kadar yüksek bir değere çıkabilmektedir. Elektrik santralinde, ayrıca, üç adet yoğuşmalı buhar türbini tahrikli soğutucu ve 12 adet elektrik motoru tahrikli soğutucu vardır.

St. Louis kompleksinin üretimi açısından önem taşıyan buhar, buhar türbinlerine güç sağlamakta, proses ve mekân ısıtmasında kullanılmaktadır. St. Louis kompleksi, yıllık 2,4 PJ doğal gaz ve çöp depolama alanlarından kaynaklanan gazı kullandığı için, enerji maliyetleri bünyesindeki toplam maliyetin önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Şirket, üretim birimi başına enerji kullanımında yıllık %2 azalma hedefi belirlemiştir. "Enerji Şampiyonu" olarak belirlenen bir çalışan, kurumsal enerji azaltma hedeflerini tanımlamakta ve her bir tesisteki tüm bölümlerin bu hedeflere ulaşması için onlara yardımcı olmaktadır.

13.2.3. Kısa vadeli SSO fırsatları

13.2.3.1. Kazan işletimi ve yük yönetimi stratejisinin optimize edilmesi

Yük profili, kompleksin dört kazanından üçünün genellikle tam yük kapasitesinden %40 daha az ve dördüncüsünün ise yaz aylarında tam yükün %50 ile %60'ı arasında çalıştığını göstermiştir. Bu durum, önemli bir kısmı yük kaybına ve aşırı enerji tüketimine neden olmuştur. Değerlendirme, kompleks bünyesindeki buhar talebinin, daha az sayıda kazanın tam yük kapasitesine yakın çalışarak karşılanabileceğini göstermiştir. Tahmini yıllık enerji ve maliyet tasarrufu 22.000 GJ ve 161.000 \$ olarak bulunmuştur.

13.2.3.2. Kazan çalışma basıncının artırılması

Yaz aylarında, üç adet buhar yoğuşmalı türbin, kompleksin soğutma yükünü karşılamaya yardım eden santrifüj soğutucuları tahrik etmektedir. Değerlendirme ekibi, kompleksin buhar hattındaki 9 bar olan normal basıncın yaz aylarında 10 bara yükseltilmesi durumunda, buhar türbininde termik verimin artırılabilirliğini bulmuştur. Yıllık enerji tasarrufu 5.400 GJ olarak tahmin edilmiştir.

13.2.3.3. Kazan #1'deki baca gazı oksijen seviyesinin azaltılması

Değerlendirme ekibi, 1 numaralı kazanın yaklaşık %7 fazla baca gazı oksijen seviyesi ile çalıştığını tespit etmiştir. En uygun fazla oksijen seviyesinin %3,5'a yakın olması gerektiğinden, fazla oksijen seviyesi, kayıp ısıya ve daha fazla yakıtın kullanımına neden olmuştur. Elektrik santrali personeli, oksijen sensörü ve oksijen ayar denetleyicisini incelemiş ve sensörün düzgün çalışmadığını görmüştür. Değerlendirme ekibi fazla oksijen seviyesini %3,5'e kadar düşürmenin, yıllık 9.000 GJ enerji ve 68.000 \$ maliyet tasarrufu ile sonuçlanabileceğini tahmin etmiştir.

13.2.3.4. Kazan blöfünün azaltılması

Değerlendirme ekibi, kazanda blöfün kış aylarında çok sık meydana geldiğini görmüştür. Yaz aylarında kondens geri dönüşü çok yüksek iken, elektrik santrali personeli blöfün iyi yönetmiştir. Bununla beraber, hava soğuduğunda ve kazan yükleri azaldığında, özellikle kısmi yükli kazanlarda uygun blöf döngüleri elde edilememiş ve bu da fazla blöf oranı ile sonuçlanmıştır. Değerlendirmede, yeni kazan blöf kontrolörleri kurulmasının ve protokolleri geliştirmenin bu oranı azaltabileceği anlaşılmıştır. Tahmini yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 3.000 GJ ve bunun parasal karşılığı 26.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

13.2.3.5. Blöf ısı geri kazanımı uygulanması

Değerlendirme ekibi, bir eşanjörün blöf akışından ısıyı geri kazanmak için kullanıldığını bulmuştur. Bununla beraber, eşanjörün konfigürasyonun, ortam havasına blöf flaş buharlaşmasından bir miktar buhar kaybına yol açtığı tespit edilmiştir. Takım, buharı yakalamak ve degazöre göndermek için eşanjörün akış yukarısına bir blöf flaş tankı kurarak sistemi yeniden yapılandırmayı önermiştir. Böylece, flaş tankındaki doymuş sıcak suyun daha sonra eşanjör içinde takviye suyu ile ısı alışverişi yapabileceği öngörülmüştür. Bu uygulamanın tahmini enerji tasarrufunun 3.000 GJ'den biraz daha az olacağı değerlendirilmiştir.

13.2.3.6. Buhar kapanı yönetim programı uygulanması

Kuzeydeki tesisin son buhar kapanı etüdü neredeyse 10 yıl önce yapılmıştır. SSAT kullanarak, analizciler yıllık buhar kapanı testi, düzenli buhar kapanı veritabanı güncellemesi ve değiştirilmesi ya da arızalı kapanların tamiri de dâhil olmak üzere proaktif bir buhar kapanı yönetimi programının etkisini modellemiştir. Model, böyle bir programı uygulayarak 6.000 GJ ve 50.000 \$ yıllık enerji ve maliyet tasarrufu elde edilebileceğini tahmin etmiştir.

13.2.4. Orta vadeli SSO fırsatları

13.2.4.1. Kazan #1'de besleme suyu ekonomizörünün geliştirilmesi

İşletme verilerinin analizinde, değerlendirme ekibi, kazan #1'den dışarı çıkan baca gazı sıcaklığının benzer yüklerde ve besleme suyu sıcaklıklarında, kazan #4'ten yaklaşık 50°C daha yüksek olduğunu, bunun da kazan #1'in daha fazla yakıt kullandığı anlamına geldiğini belirtmiştir. Ekip, bu durumun, kazan #1'de düz boru birimi varken kazan #4'ün gelişmiş bir kanatçıklı boru ekonomizör ile donatılmış olmasından kaynaklanabileceğini ya da kazan #1'in ekonomizörünün tıkanmış olabileceğini değerlendirmiştir. Kazan #1'deki ekonomizörün temizlenmesi veya gelişmiş bir kanatçıklı boru ünitesi ile değiştirilmesinin, tesise yıllık 11.520 GJ enerji tasarrufu sağlayabileceği hesaplanmıştır.

13.2.4.2. Yoğuşmalı buhar türbinlerinin elektrik motorları ile değiştirilmesi

Değerlendirme ekibi, soğutucuları tahrik eden üç yoğuşmalı buhar türbininin fazladan soğutucu kapasitesi sağladığını görmüştür. Birçok elektrikli soğutucu tam yükte değilken, türbinlerin yaz aylarında yüksek talep koşulları altında kısmi yükte çalıştıkları anlaşılmıştır. Ekip, ya elektrik motorları ile yoğuşmalı buhar türbinlerinin değiştirilmesini ya da türbinlerden bir tanesinin kapatılmasını ve elektrikli soğutucular ile diğer iki türbin arasında soğutma yükünün bölünmesini önermiştir. Bu kurulu gücün, kompleksin soğutma yükünü karşılayabileceği öngö-

rülmüştür. Söz konusu yükü karşılamak için daha fazla elektrik gerekli olsa da, yıllık doğal gaz tasarrufu 135.000 GJ olarak hesaplanmıştır.

13.2.5. Sonuçlar

St. Louis kompleksinin personeli, değerlendirmede yer alan önerilerin bazılarının hemen ve üretimi etkilemeden uygulanabileceğini anlamıştır. Bunun üzere personel kazan çalışmasını optimize etmiş ve bir buhar kazanı yönetim programı başlatmıştır. Yeni kazan işletme stratejisi hakkında santral operatörlerini eğitmek için bir yüklenici tutmaları, onlara bir kazanı kattırmış, diğerlerini de tam yüke ve tasarım şartlarına yakın çalıştırmak için imkân sağlamıştır. Böylece, 48.000 GJ'den daha fazla enerji ve 430.000 \$ civarında maliyet tasarrufu elde edilmiştir. Kuzey tesisinde buhar kazanı etüdü gerçekleştirmek için başka bir dış uzman tutulmuş ve kuzeydeki tesisin 48 buhar kazanından 30'unun arızalı olduğu tespit edilmiştir. Bu kapanların 2007 sonbaharında tamamlanan onarımları ile yılda 10.000 GJ'in biraz altında enerji ve 89.000 \$ maliyet tasarrufu elde edilmiştir. Buna ek olarak, buhar kazanı incelemeleri ve bakımı artık daha düzenli yapılmaktadır.

Sonraki aşamada kompleks personeli, kazan #1'deki oksijen sensörü ve probunu değiştirmiştir. Oksijen seviyesi artık uygun aralıkta seyrederken, bu sayede yıllık yaklaşık 9.400 GJ enerji ve 84.000 \$ parasal tasarruf sağlanmaktadır. Santral personeli kış aylarında kazan blöfünü azaltmak için blöf protokollerini değiştirmiş ve otomatik blöf kontrolörleri yüklemiştir. Bu önlem sayesinde, yıllık 3.000 GJ enerji ve 24.000 \$ maliyet tasarrufu vardır.

Uygulanan tavsiyelerden elde edilen yıllık toplam enerji tasarrufu 70.000 MMBtu'den fazladır. 125.000 \$ toplam uygulama maliyetine karşılık yıllık 627.000 \$ maliyet tasarrufu söz konusudur ve bu başarılar sadece 2 aydan birazcık fazla süren yatırım geri ödemesi ile elde edilmiştir.

Diğer bazı önerilerin aşırı uzun geri ödeme süreleri olduğu tespit edilmiş ya da bunları uygulamanın çok zor olduğu değerlendirilmiştir. Örneğin, santraldeki üç yoğunmalı buhar türbinini değiştirmenin, çeşitli arazi kullanım konularına ek olarak yeni bir trafo ve santrale çekilecek yeni bir ana elektrik hattı gerektirdiği anlaşılmıştır. Değerlendirme metodolojisi ve SSAT kullanımı Newark, New Jersey ve Michigan-Sterling Heights'taki diğer Chrysler tesisleri ile paylaşılmaktadır.

13.3. Vaka İncelemesi-3: Terra Nitrogen Company, L.P.

13.3.1. Özet

2006 yılının başlarında, Oklahoma-Verdigris'deki Terra Nitrogen Company, L.P., amonyak ve gübre fabrikasında ABD EB "Şimdi Enerji Tasarrufu" değerlendirilmesi yapılmıştır. Enerji değerlendirmesinin temel amacı, tesisin buhar sisteminde doğal gaz kullanımının analiz edilmesi ve enerji tasarrufu için fırsatların belirlenmesidir. Değerlendirme VGAEC Inc.'in ABD EB enerji uzmanı Veerasamy Venkatesan tarafından gerçekleştirilmiş ve buhar sistemin verimini artırmak için bazı önemli fırsatlar tespit edilmiştir. Tesis personeli bu önemli fırsatlardan bazılarını uygulayarak fabrikanın doğal gaz tüketiminde önemli derecede azaltma sağlamayı başarmıştır.

Verdigris tesis personeli, fabrikanın kök sisteminin verimini artırmak için değerlendirme önerilerinin birçoğunun uygulanmasında zaman kaybetmemiştir. Bir amonyak tesisinde çevrimli bir kurutucuda kurulu iki türbini [üst kaliteye] yükseltmişler, arızalı buhar kapanlarını onarmışlar ve buhar kaçaklarını gidermişlerdir. Bu önlemlerin uygulanmasından kaynaklanan toplam yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 497.000 GJ ve maliyet tasarrufu 3.500.000 \$'dan fazla olmuştur. 3,1 milyon \$ civarında proje maliyeti ile tesis, 11 aydan daha kısa bir basit yatırım geri dönüşü elde etmiştir. Enerji değerlendirmesinde belirlenen ilâve fırsatlar hâlâ uygulanmaktadır. Değerlendirme sonuçları, ana şirketin ABD'deki tesislerinden üçü ile paylaşılmıştır.

13.3.2. Şirket ve tesis arka planı

Terra Nitrogen Company, L.P. , Terra Industries Inc. Company'nin dolaylı olarak hisselerinin tamamına sahip olduğu, 400 milyon \$'dan fazla yıllık geliri ile azotlu gübre ürünleri üreten önemli bir ABD şirkettir. Şirketin Oklahoma-Verdigris'deki üretim tesisi, yılda 2,2 milyon ton üre amonyum nitrat çözeltileri ve yılda 1,1 milyon ton amonyak üretimi yapan son derece entegre bir üretim sitesidir. Terra Nitrogen ayrıca Nebraska-Blair ve Illinois-Pekin'deki nakliye terminallerinde de faaliyet göstermektedir.

Doğal gaz, hidrojen için (amonyak hale getirmek için azot ile birleştirilir) birincil besleme malzemesi olduğundan, tesiste, üretim için önemli miktarda doğal gaz gerekmektedir. Buna ek olarak, doğal gaz, amonyak üretim süreçleri için önemli destek sağlayan fabrikanın buhar sistemleri için birincil yakıttır. Sonuç olarak, doğal gaz maliyetleri, Terra Nitrogen'in toplam maliyetinin büyük miktarını oluşturmakta ve Verdigris fabrikasının yönetimi, üretim ve buhar sistemi verimini artırmak için çalışmaktadır. Uygulama döneminde Verdigris tesisi için doğal gaz maliyeti yaklaşık 7 \$/GJ idi.

13.3.3. Kısa vadeli SSO fırsatları

13.3.3.1. Blöf suyundan flaş buhar geri kazanımı

Değerlendirmede, bir düşük basınçlı kollektöre flaş buharlaşma olduktan sonra, blöf suyunun önemli bir miktarının, 3,5 bar basınçta ve 150°C sıcaklıkta bir soğutma kulesine gönderildiği bulunmuştur. Analiz, degazöre doğrudan blöf suyunun yönlendirilmesinin, tesis için 0,5 T/h daha fazla flaş buhar oluşturulmasına yardımcı olacağını ortaya koymuştur. Tahmini enerji tasarrufu yılda 14.982 GJ ve bunun parasal karşılığı 105.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

13.3.3.2. Buhar kapanı bakım programının uygulanması

Değerlendirme sırasında bir buhar kapanı etüdü yapılmasa da, takım, bazı kapanların kötü konumlandırıldığını ve hatta bazılarının çalışmadığını tespit etmiştir. Daha iyi kapan kurulum tekniklerini uygulamanın ve mevcut kapanların bakımını sağlamanın, yıllık 12.264 GJ enerji ve 86.000 \$ maliyet tasarrufu sağlayacağı tahmin edilmiştir.

13.3.3.3. Buhar kaçağı bakım programının uygulanması

Çok az kaçak bulunmuş olsa da değerlendirmede bir kaçak etüdü yapılması ve tüm görünen buhar kaçaklarının giderilmesi önerilmiştir. Sonuçta, elde edilecek yıllık enerji ve maliyet tasarrufu sırasıyla 876 GJ ve 6.000 \$ olarak belirlenmiş, proje maliyetinin ise 2.500 \$ ilâ 4.000 \$ olacağı öngörülmüştür.

13.3.4. Orta vadeli SSO fırsatları

13.3.4.1. Sentez çevriminin iyileştirilmesi

Değerlendirmede kompleksin amonyak tesisi #2'de mevcut sentez çevriminin verimsiz olarak çok büyük miktarda yüksek basınçlı buhar gerektirecek şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Amonyak yoğunlaştırma çevriminde, sirkülasyonu geri döndürerek amonyak tesisinin veriminin artırılacağı ve yüksek basınç talebinin azaltılabileceği görülmüştür. Değerlendirmede, bu önlemlerle amonyak tesisinin veriminin %0,4 artacağı ve yüksek basınçlı buhar talebinin de yaklaşık olarak 10 T/h düşeceği tahmin edilmiştir. Enerji tasarrufu, çıkan ürünün tonu başına 0,4 GJ ve doğal gaz tasarrufu da yıllık 274.000 GJ olarak öngörülmüştür. Sonuçta, enerji maliyet tasarrufu, yıllık 1,9 milyon \$ olarak tahmin edilmiştir.

13.3.4.2. Türbin yükseltmesi

Amonyak tesisi #2, 38 bar basınçta buharı, 3,5 bar buhar kullanan düşük basınçlı buhar uygulamalarına göndermek için iki karşı basınçlı türbin kullanmaktadır. Karşı basınçlı türbinler, metildietanolamin pompaları ile çalıştırılmakta ve hidrolik türbinlerle desteklenmektedir. Değerlendirmede, fazladan 3,5 bar buharın dışarı atıldığı tespit edilmiştir ve mevcut türbinleri daha verimli yoğunlaşmalı türbinler ile değiştirerek yükseltme yapılması önerilmiştir. Tavsiye edilen yoğunlaşmalı türbinlerin yüksek basınçlı buhar talebini ve düşük basınçlı havalandırmayı azaltacağı değerlendirilmiştir. Tahmini yıllık enerji ve maliyet tasarrufu 178.000 GJ ve yaklaşık 1.200.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

13.3.4.3. Yoğunlaşmalı türbinlerin çalışmasının iyileştirilmesi

Amonyak tesisi #1'de yoğunlaşmalı türbinlerin yüzey yoğunlaştırıcılarında vakum, mevsime bağlı olarak 610 mmHg ve 660 mmHg arasında muhafaza edilmektedir. Arz yönlü soğutma kulesi suyunu soğutan düşük seviyeli atık ısı ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutucu takılması vakumu ek olarak 13 mmHg artırabilir. Değerlendirmede bunun enerji tüketimini yaklaşık 170.000 GJ azaltacağı ve yılda yaklaşık 1.200.000 \$ tasarruf sağlayacağı tahmin edilmiştir.

13.3.5. Uzun vadeli SSO fırsatları

13.3.5.1. Yüksek basınçlı doğal gaz boru hattı kurulması

Enerji değerlendirmesinde, tesisin yerel enerji tedarikçisinin Verdigris tesisine 13 barda doğal gaz sağladığı görülmüştür. Tesiste prosesler için yüksek basınçlı doğal gaz (38 bar) gerektiğinden, hâlihazırda gerekli basınç seviyesine ulaşmak için buharla çalışan gaz kompresörleri çalıştırılmaktadır. Değerlendirmede, tesiste yüksek basınçlı doğal gaz boru hattının inşa edilmesi ve tesisin doğal gaz sağlayıcısının sahip olduğu bir yüksek basınçlı boru hattına bağlanması olasılığı araştırılmıştır. Böyle bir boru hattı inşa edildiğinde ve doğal gaz sağlayıcı tesise doğrudan yüksek basınçlı doğal gaz satmaya istekli olduğunda, tesisin yılda 851.000 GJ enerji ve yaklaşık 6.000.000 \$ tasarruf edebileceği tahmin edilmiştir.

13.3.5.2. Yardımcı kazanın veriminin iyileştirilmesi

Değerlendirmede, amonyak tesisi #1'de yardımcı kazan veriminin baca gazı sıcaklığının 204°C sıcaklıktan 160°C'ye düşürülerek iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu durumun, ısı-

nın bir kısmını geri kazanmak için kazan bacası üzerine bir ön hava ısıtıcı takılarak sağlanabileceği öngörülmüştür. Tahmini yıllık enerji ve maliyet tasarrufu 135.000 GJ ve 945.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

13.3.6. Sonuçlar

Verdigris tesisi personeli, "Şimdi Enerji Tasarrufu" enerji değerlendirmesinden kısa bir süre sonra, en önemli tavsiyelerin ikisini uygulamış ve daha sonra diğer birçok öneri üzerinde çalışmaya başlamıştır. Yoğuşmalı türbinler ile karşı basınçlı türbinler yükseltilmiş ve amonyak tesisi #2'ye bir çevrimli kurutucu kurulmuştur. Bu iki önlemin her biri yılda ortalama 228.000 GJ yıllık enerji tasarrufu olmak üzere toplam 456.000 GJ tasarruf sağlamıştır. İki önlemin uygulanmasından kaynaklanan yıllık enerji maliyet tasarrufu 3.200.000 \$'ın biraz altındadır. Buna ek olarak, tesisteki kırık veya kötü işleyen buhar kapanlarının etüt ve onarımı için bir danışman tutulmuş, buhar kaçağlarının tespit edilmesi ve giderilmesi için bir kızılötesi kaçak dedektörü satın alınmıştır. Bugüne kadar uygulanan tüm önlemlerden sağlanan toplam enerji ve maliyet tasarrufu yaklaşık 497.000 GJ ve 3.500.000 \$ olmuştur. Toplam uygulama maliyeti, 3.100.000 \$'ın biraz üzerindedir ve basit yatırım geri ödeme süresi 11 aydan biraz daha azdır. Verdigris tesisi, değerlendirme sonuçlarını ve önerilip hayata geçirilmiş tedbirleri diğer bazı Terra Industries tesisleri ile de paylaşmaktadır.

Verdigris tesis personeli değerlendirmenin kapsamadığı bazı başka fırsatları gözden geçirmiş ve buhar sistemi verimini artırmak için diğer bazı adımları atmıştır. Amonyak tesisi #1 kazanı incelenmiş ve tüm kazan bobinlerinin kirli olduğu ve birinde bir kaçak bulunduğu fark edilmiştir. Bobinlerin temizlenmesi ve tamirinin proses verimini 0,3 GJ/ton artıracığı tahmin edilmiştir. Amonyak tesisi #1'deki yoğuşmalı türbinler de değerlendirilmiştir. Absorpsiyonlu soğutucu kurmak yerine, rotorları değiştirerek yoğuşmalı türbinlerin bakımının yapılması, soğutma ünitelerinin temizlenmesi ve 2007 yılındaki bakım için tesisin yıllık kapanması sırasında düşük basınçlı buhar ejektör nozullarının değiştirilmesi tercih edilmiştir. Önerilen diğer önlemler ya uzun vadeli yatırım geri ödemesine ya da uygulama zorluklarına sahiptir. Örneğin, yüksek basınçlı doğal gaz boru hattı ile ilgili birçok yol geçiş izni sorunu vardır ve doğal gaz şirketi ile tesisin sözleşmesinin yeniden müzakere edilmesi gerekmektedir.

13.4. Vaka İncelemesi-4: Del Monte Foods Company

Bu vaka incelemesi, Kaliforniya Enerji Komisyonu (CEC)'nin yayınından alınmıştır. Dokümanın tamamına CEC Kamu Yararına Enerji Araştırması (PIER) web sitesinden erişilebilir.

13.4.1. Projenin amacı

Bu projenin amacı;

- Mekanik enerji üretiminde yüksek basınçlı buhar kullanmak
- Proses ısıtmasında düşük basınçlı egzoz buharı kullanmak

için, üst çevrim kullanımını göstermek amacıyla ABD Kaliforniya'da Del Monte Foods gibi lider bir gıda üreticisi ile çalışmaktadır.

13.4.2. Metodoloji

Meyvelerin ve sebzelerin ısıl prosesi, bir ocakta konserve kutularının ısıtılması ve daha sonra bir soğutucuda soğutulmasından ibarettir. Konserve kutularını ısıtmak için gereken buhar, gaz yakıtlı kazanlardan sağlanır. Konserve kutularını soğutmak için gereken soğutma suyu sıklıkla elektrikli soğutma sistemlerinden elde edilir. Elektrik talebinin en yüksek seviyede olduğu yaz aylarında, ısı salınım sınırlamaları nedeniyle, konserveleme prosesinin en kritik kısmı soğutma işlemidir.

California-Modesto'daki Del Monte tesisinde, enerji danışmanı tarafından ısıl proses işleminde enerji tasarrufu fırsatlarının geniş kapsamlı bir değerlendirmesi yapılmıştır. Üst çevrim kavramı kullanılarak ısıtma ve soğutma işlemlerinin entegrasyonu, optimum strateji olarak seçilmiştir. Bu durum, soğutma için yüksek basınçlı buhar türbini tahrikli soğutma ve ısıtma için düşük basınçlı egzoz buharı gerektirir.

13.4.3. Sonuçlar

Del Monte tesisindeki kurulum, doğrudan Bitzer vidalı soğutucuya bağlanmış bir Elliot Modeli 2BYRT buhar türbini içermektedir. Tesis kazanı 10 barda soğutucuya buhar tedarik etmektedir. 4 barda türbinden çıkan buhar, damıtıcıları ısıtmak için kullanılmaktadır. Soğutucu, damıtıcıları soğutmak için 7,2°C sıcaklıkta soğuk su temin etmektedir. Şekil 13.1'de buhar türbini tahrikli vidalı soğutucunun bir fotoğrafı gösterilmektedir.

Şekil 13.1. Buhar türbini ile tahrik edilen vidalı soğutucu



Elliot buhar türbininin anma gücü 4.000 dev/dk'da 65 kW'dır ve türbinden geçen buharın debisi 5 T/h olarak tahmin edilmektedir. Buhar türbininin ve kontrollerinin maliyeti yaklaşık 30.000 \$'dır. Bitzer paket soğutucunun anma gücü 86 tonluk soğutma (302 kW) ve maliyeti de kontrollerle beraber 56.000 \$'dır.

Kurulumun, elektrik gücü tüketimini mevsim sırasında 104 kW, mevsim dışında da 46 kW azaltacağı tahmin edilmektedir. Toplam elektrik enerjisi tasarrufu yılda 540.000 kWh'tir. Doğal gaz tüketiminin buhar türbinindeki entalpi değişimini dengelemek için ilâve buhar üretimi nedeniyle 2.000 GJ artması beklenmektedir. Kurulumla sağlanacak net yıllık tasarruf 45.000 \$ olarak tahmin edilmiştir.

13.5. Vaka İncelemesi-5: Buharlaştırıcı Salça Sterilizatöründen Kondens Geri Kazanımı

13.5.1. Orijinal sistem

Buharlaştırıcı salça sterilizatörleri, 95°C sıcaklıktaki sıcak suya doğrudan buhar enjekte edilmesiyle ısıtılır. Fazla sıcak su, iyileştirilmek üzere dışarı atılır ve atmosfere atılarak flaş buharlaşma yapılır. Şekil 13.2'de orijinal sterilizatör işlemlerinin bir resmi sunulmuştur. "Kırmızı Oval" işareti, sıcak suyun iyileştirilmek için dışarıya atıldığı anlamına gelmektedir. Sistem bakış açısıyla prosesi anlamak için Şekil 13.3'te bir proses akış diyagramını şematik olarak gösterilmiştir.

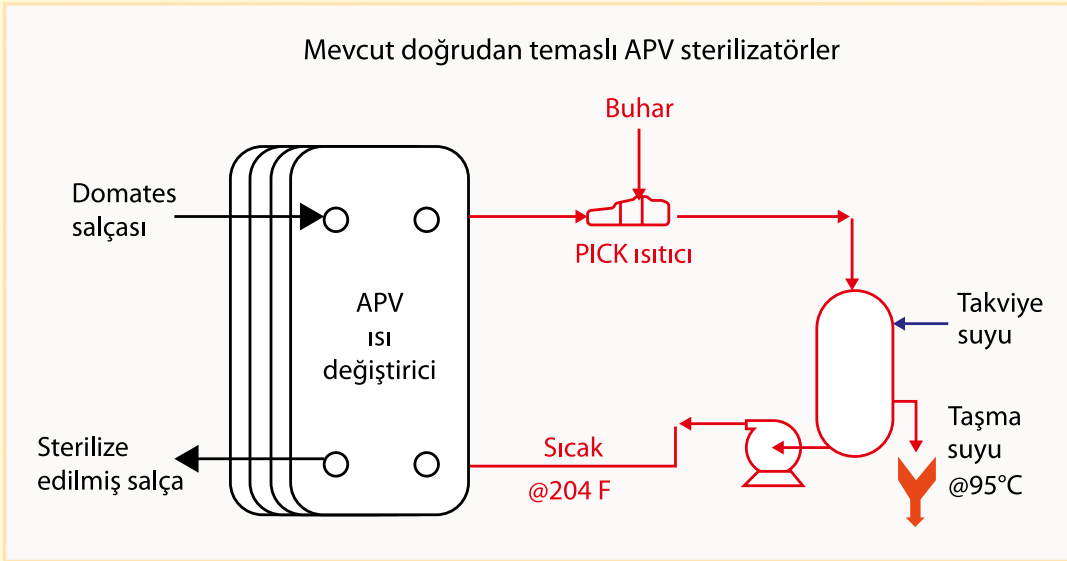
13.5.2. İyileştirilmiş sistem konfigürasyonu

Şekil 13.2 ve 13.3'deki doğrudan buhar enjeksiyon ısıtıcısı olan sistem, bir gövde-borulu eşanjör ile değiştirilmiştir. Isıtma döngüsü, kapalı-çevrim işlemleri uygulamak için tam gereken miktarda su içerir. Buhar debisi, bu buhar/sıcak su değiştiriciden sağlanan gerekli sıcak su sıcaklığına bağlı olarak ayarlanır. Bu yeni eşanjörden gelen tüm kondens, bir kondens tankı ve pompa kapalı kullanılarak geri döndürülür. Şekil 13.4, yeni proses akış diyagramının şematik gösterimidir.

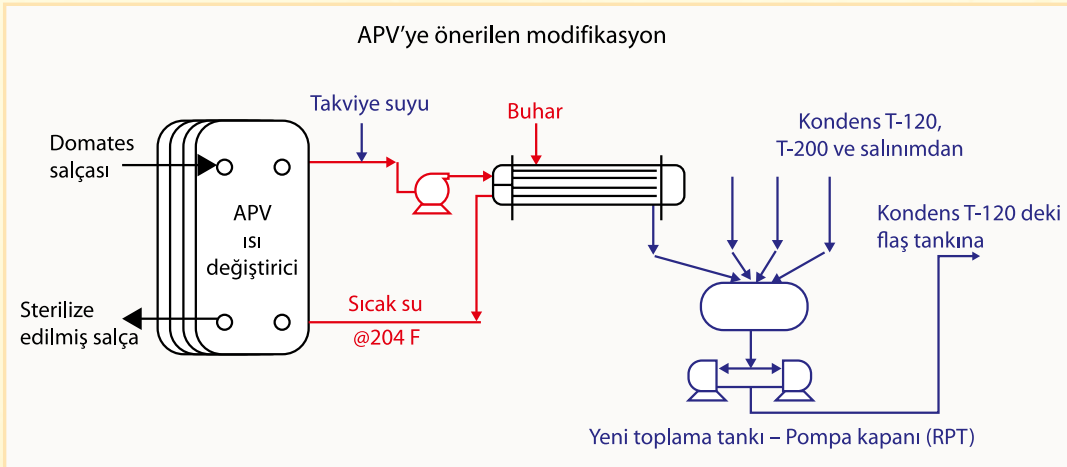
Şekil 13.2. Buharlaştırıcı salça sterilizatörü



Şekil 13.3. Orijinal buharlaştırıcı salça sterilizatör sisteminin proses akış diyagramı



Şekil 13.4. İyileştirilmiş buharlaştırıcı salça sterilizatör sisteminin proses akış diyagramı



13.5.3. Sonuçlar

Prosesin yeniden düzenlenmesi ve buharlaştırıcı salça sterilizatöründen kondens geri kazanımı ile yıllık enerji tasarrufu yaklaşık 30.200 GJ olarak tahmin edilmiştir. Bu rakam doğrudan yıllık maliyet tasarrufuna dönüştürüldüğünde yaklaşık değer 151.000 \$ olmaktadır. Domates tesisi proses işlemleri mevsimlidir (yıl boyunca değildir), sistemde sadece 2.400 saat tam yük vardır ve yıllık %50 yük olan 1.200 saattir. Buna rağmen, bu projenin geri ödeme süresi yaklaşık 8 ay olarak hesaplanmıştır.

13.6. Vaka İncelemesi-6: Bir Rafineride Buhar/Elektrik Sürücü Optimizasyonu

13.6.1. Orijinal sistem

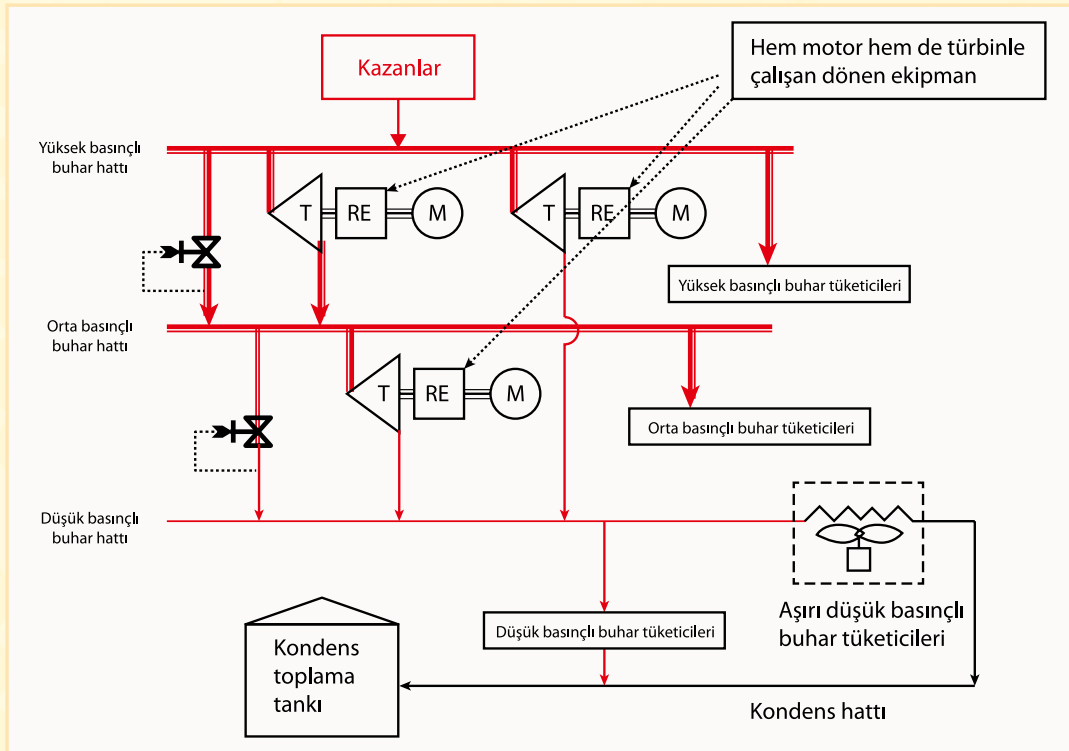
1996 yılında, Birleşik Krallık'ta bir petrol rafinerisinde bir buhar sistemi enerji değerlendirilmesi yapılmıştır. Birden fazla kollektör seviyesi kullanımı ve buhar sistemlerinin optimize edilmesinin dinamik bir sorun olması nedeniyle, bir rafineri en karmaşık buhar üretim ve dağıtım sistemlerinden birine sahiptir. Bu rafineride enerji etüdü sırasında şunlar tespit edilmiştir:

- Yüksek basınçtan orta basınca bir basınç düşürme istasyonu ile sağlanan buhar azaltımı yaklaşık 18.850 ton/yıl olmuştur.
- Orta basınçtan düşük basınca bir basınç düşürme istasyonu ile sağlanan buhar azaltımı yaklaşık 110.368 ton/yıl olmuştur.
- Düşük basınçlı buhar boşaltımı yaklaşık 11.108 ton/yıl olmuştur.

Rafineride yukarıdaki buhar dengesi (dengesizliği) ve işlemleri açıkça göstermiştir ki, tesis personelinin optimize edilmiş bir konfigürasyonda çalışan buhar türbini/elektrikli motoru yönetmesi mümkün değildir. Daha da önemlisi, rafineri çıktısı değiştiğinden ve ürün karışımı mevsime göre farklılaştığından işlemleri optimize etmek zordur. Bu nedenle, bu rafineride farklı yük ve çalışma koşullarına göre bir buhar türbini/elektrik motoru tahrikli optimizasyon stratejisi geliştirmesine karar verilmiştir.

Enerji değerlendirmesi sırasında, hem buhar türbini sürücülerini hem de elektrik motor sürücülerini olan birçok dönen ekipman olduğu tespit edilmiştir. Dönen bazı ekipmanların aynı üzerinde her iki tip sürücüsü varken, bazılarında farklı sürücü yapılandırmaları ile sadece çoklu birimler olduğu görülmüştür. Şekil 13.5 genel konfigürasyonu göstermek için rafineri genel buhar sisteminin şemasını sunmaktadır.

Şekil 13.5. Rafinerideki buhar sistemi denge diyagramı



13.6.2. Sistem optimizasyon değerlendirme

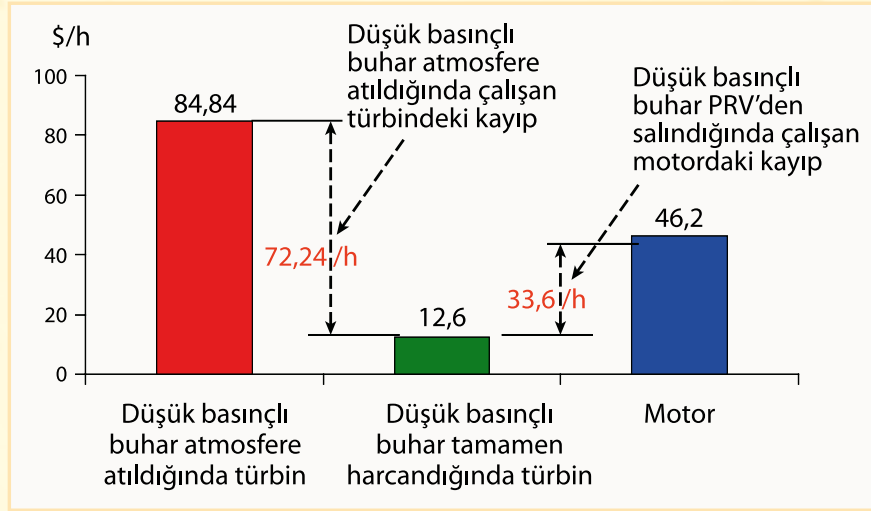
Tablo 13.1'de rafinerideki tüm buhar türbini sürücülerinin kapsamlı bir listesi sunulmuştur. Buna ek olarak, bu liste onları buhar giriş koşullarına göre sınıflandırmakta ve türbinin normal çalışması için (T/h) gerekli giriş buharı hakkında bilgi sağlamaktadır. Tüm bu türbinler, dönen ekipmanı tahrik etmektedir. Dolayısıyla gerekli mil gücü, kollektördeki buhar talebi tarafından değil proses tarafından sabitlendiğinden, bu türbinler sabitlenmiş buhar debisi cihazları olarak ele alınmalıdır.

Buhar sistem optimizasyon analizi, türbinden çıkan düşük basınçlı egzoz buharının düşük basınçlı kollektörde proses ısı olarak mı kullanıldığına, yoksa dışarı ortama mı atıldığına bağlı olarak türbinlerin her birinin gerçek birim işletim maliyetinin hesaplanmasına imkân sağlar. Bu işletim maliyetlerinin her biri için birim elektrik maliyeti, daha sonra türbin sürücüler veya elektrik motorundan hangisinin çalıştırılacağına dair en uygun kararı vermek için karşılaştırılmıştır. Bu örneği ve metodolojiyi anlamak için etan soğutmalı kompresör (ERC) de gözönünde bulundurulmalıdır. Düşük basınçlı egzoz buharı dışarı atıldığında, buhar türbini kullanarak ERC işletme maliyeti 84,84 \$/saat olarak hesaplanmıştır. Düşük basınçlı egzoz buharı bir prosese ısı sağlamak için kullanılırsa, ERC işletim maliyeti 12,6 \$/saat olacaktır. Bunun yerine, buhar türbini sürücüsü kapatıldığında ve ERC elektrik motoru ile işletildiğinde, işletme maliyeti 46,2 \$/saat olacaktır. Yani, buharın akış aşağısında proses tarafından kullanılması en uygun maliyetli ve en uygun strateji ise ve buhar en kısa sürede düşük basınçta dışarı atılmak zorundaysa, belirli buhar türbinli sürücülerin karşılık gelen elektrikli motor sürücülerini ile değiştirilmesi gerekir. Bu sayısal etki Şekil 13.6'da gösterilmiştir.

Tablo 13.1. İngiltere'deki rafineride dönen ekipmanda buhar türbini sürücülerini

| | Toplam mevcut türbinler | Normalde çalışan türbinler | Normal buhar tüketimi | |
|---|-------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | | libre/saat | Ton/saat türbin başına |
| Yüksek Basınçlı Buhar Türbinleri | | | | |
| C2 soğutmalı kompresör türbinleri | 3 | 2 | 23.830 | 11,91 |
| Hava kompresör türbinleri | 2 | 1 | 7.207 | 7,21 |
| Kazan besleme pompa türbinleri | 3 | 3 | 16.847 | 5,62 |
| Stabilizör reboylar eşanjör türbinleri | 14 | 12 | 64.924 | 5,41 |
| Stabilizör ara ısıtıcı pompaları #1-4 | 4 | 4 | 15.480 | 3,87 |
| Soğutucu su pompa türbini (orta basınç) | 2 | 2 | 16.757 | 8,38 |
| Stabilizör ara ısıtıcı pompaları #5-7 (orta basınç) | 3 | 2 | 18.257 | 9,13 |
| Stabilizör OH kompresör türbini © | 2 | 2 | 31.932 | 15,97 |
| Orta Basınçlı Buhar Türbinleri | | | | |
| Degazör pompalara kondens | 2 | 2 | 3.243 | 1,62 |
| C3 buharlaştırıcı glikol pompası | 1 | 1 | 1.340 | 1,34 |
| C2 stabilizör kompresör sızdırmazlık yağı türbini | 3 | 2 | 2.532 | 1,27 |
| Stabilizör OH kompresör yağlayıcı pompaları | 2 | 2 | 2.216 | 1,11 |
| Artılmış su pompaları | 2 | 1 | 10.125 | 1,02 |
| Stabilizör OH kompresör sızdırmazlık yağı pompaları | 3 | 2 | 1.847 | 0,92 |
| C3 soğutuculu kompresör yardımcı türbin | 3 | 2 | 1.712 | 0,86 |

Şekil 13.6. Rafineride ERC için işletim maliyeti etkisi ve optimizasyonu



13.6.3. Sonuçlar

Buhar türbini/elektrik motoru sürücü optimizasyonu değerlendirmesi ve yük yönetimi stratejisi ile, etan soğutucu kompresör türbinleri, hava kompresörü türbinleri, stabilizör düşük basınç kazanı (reboylar) eşanjör türbinleri, etan kompresör sızdırmazlık yağı türbini ve arıtılmış su pompası türbinleri için, rafineride işletim çıktı oranlarının azalmış olması nedeniyle orta ve düşük basınçlı kollektördeki buhar talebi gibi işlemler düştüğünden, buhar türbini sürücüsünden elektrik motoru sürücüsüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu optimizasyon ve yük yönetimi stratejisi ile herhangi bir uygulama maliyeti olmadan rafineri yılda yaklaşık 30.000 \$ tasarruf etmiştir.



Bölüm 14

Sonuçlar ve Sonraki Aşamalar

Bir endüstriyel buhar sistemi ile çalışırken, bu kitabın genel buhar sistem optimizasyonu inceleme metodolojisi hakkında okuyuculara bir fikir sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, okuyucunun taşınabilir ölçüm cihazları kullanılarak alan çalışması yapılması, buhar sistem optimizasyon raporu hazırlanması ve sunulan farklı vaka incelemelerinden proje uygulamaları konusunda epeyce fikir edinmiş olacağı beklenmektedir. İşletme maliyetlerini minimize etmek, genel sistem operasyonlarını geliştirmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygulanabilecek birçok optimizasyon fırsatı ve en iyi uygulama vardır. Bütün bu alanlar kitapta ayrıntılı olarak ele alınmıştır ve aşağıdaki bölümlerde tekrar özetlenmiştir.

14.1. Buhar Sistemi Optimizasyon Fırsatları ve En İyi Uygulamaları

Bu bölümde endüstriyel tesis için belirlenen buhar sistemi fırsatları ve en iyi uygulamalar özetlenmektedir. Bu bölüm, aynı zamanda enerji uzmanları ve buhar sistemi kullanıcıları için bir kontrol listesi olarak ve buhar sistemlerinin optimize edilmiş konfigürasyonlarında çalıştığından emin olmak için hizmet etmelidir. Buhar sistemini optimize etmek için birçok hedef bulunabilmekle birlikte, bu kitapta üzerinde durulan temel amaç, işletme maliyetlerini minimize etmektir.

14.1.1. Buhar üretim alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları

Buhar üretim alanında birçok optimizasyon fırsatı ve en iyi uygulama mevcuttur:

- Fazla havanın minimize edilmesi,
- Isı geri kazanımı ekipmanının kurulması,

- Kazan ısı transferi yüzeylerinin temizlenmesi,
- Su arıtmanın iyileştirilmesi,
- Otomatik kazan blöf kontrolörü takılması,
- Kazan blöfünden enerji geri kazanımı,
- Kazan refrakterinin eklenmesi/tamir edilmesi,
- Çalışan kazan sayısının minimize edilmesi,
- Yakıt değişiminin araştırılması,
- Degazör işlemlerinin optimize edilmesi.

14.1.2. Buhar dağıtım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları

Buhar dağıtım alanında birçok optimizasyon fırsatı ve en iyi uygulama mevcuttur:

- Buhar kaçaklarının giderilmesi,
- Dışarı atılan buharın minimize edilmesi,
- Sistem boru tesisatı, vanalar, bağlantı elemanları ve kazanların (basınçlı kaplar) iyi şekilde yalıtılması,
- Kullanılmayan hatlardan buharın izole edilmesi,
- Kollektörlerdeki basınç düşüşünün azaltılması,
- Buhar kollektörlerinden kondensin boşaltılması.

14.1.3. Buhar son kullanım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları

Endüstriyel işlemler ve tesisler için özel olan son kullanımları karşılamak son derece zordur. Proses ve yardımcı işletme entegrasyonu, tesisin genel enerji sistem optimizasyonunu etkiler ve faydaları geniş kapsamlıdır. Klasik konfigürasyonda, son kullanım alanında buharı optimize etmek için izlenecek temel stratejiler şunlardır:

- Bir proses tarafından kullanılan buhar miktarını azaltmak veya ortadan kaldırmak,
- Proses verimini artırmak ve uygunsuz buhar kullanımını ortadan kaldırmak,
- Enerji üretimine imkân sağlayacak şekilde mümkün olduğunca düşük bir basınçta buhar kullanılmasını sağlamak,
- Buhar talebinin tamamını veya bir kısmını bir atık ısı kaynağına aktarmak,
- Aksi halde çok daha yüksek basınçlı buhar kullanılması gereken proses taleplerini karşılamak için düşük basınçlı (veya atık) buharın kalitesini yükseltmek.

14.1.4. Kondens geri kazanım alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları

Kondens geri kazanımı alanında birçok optimizasyon fırsatı ve en iyi uygulama mevcuttur:

- Etkin bir buhar kapalı yönetimi ve bakım programı uygulanması,
- Mevcut kondensin mümkün olduğunca fazla geri kazanılması,
- Kondensin mümkün olan en yüksek ısı enerjide geri kazanılması,
- Düşük basınçlı buhar elde etmek için yüksek basınçlı kondensin flaş buharlaştırılması.

14.1.5. Kojenerasyon alanı optimizasyon fırsatları ve en iyi uygulamaları

Endüstriyel buhar sistemlerindeki kojenerasyon (CHP) optimizasyon fırsatı, hemen hemen her zaman, buhar türbinleri işlemlerinin modifikasyonunun ekonomik faydasının anlaşılmasına bağlıdır. Endüstriyel CHP uygulamalarında, başlıca iki türbin konfigürasyonundan bahsedilebilir:

- Karşı basınçlı
- Yoğuşmalı

14.2. Buhar Sistemi Değerlendirme Standardı

Bir sisteme özel enerji değerlendirmesi için sanayinin beklentilerini belirleyen ve enerji uzmanlarının (danışmanlar) istekleri ile oluşan bir protokolü takip etmek çok önemlidir. Uzman Eğitim Kılavuzu, Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi (ASME EA-3-2009) standardına bağlı kalınarak hazırlanmıştır. Buhar sistemi enerji uzmanlarında ve danışmanlarında standardın bir kopyası bulunmalıdır. Bu bölümde, bir değerlendirme protokolünün genel yapısı sunulmuş ve belirgin özelliklerinden bazıları vurgulanmıştır.

ASME Standardı (ASME EA-3-2009) - Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi; prosesleri, protokolleri ve buhar değerlendirmesinin çıktılarını net olarak tanımlayan, kuralcı olmayan bir standarttır. ASME Standardının yanı sıra, beraberindeki kılavuz doküman (ASME EA-3G-2010 - ASME EA-3 İçin Kılavuz, Buhar Sistemleri İçin Enerji Değerlendirmesi), buhar sistemi uzmanının, bir enerji değerlendirmesi sırasında standardı doğru biçimde uygulamasına yardımcı olur.

ASME Standardının ve beraberindeki kılavuz dokümanın kullanılmasının, enerji maliyetlerindeki azalma ve buhar sistem optimizasyonundaki önemli potansiyel tasarruflarla beraber, yapılan enerji değerlendirmelerinin miktarını ve kalitesini artırması beklenmektedir. Standart ve Kılavuz Dokümanı, geniş bir sanayi yelpazesinde, enerji yöneticileri, fabrika yöneticileri, tesis mühendisleri, enerji danışmanları, bakım yöneticileri, tesis yöneticileri, çevre ve işçi sağlığı yöneticileri için tasarlanmıştır.

14.3. Veri Toplama ve Taşınabilir Ölçüm Cihazları

Endüstriyel bir buhar sistemi enerji değerlendirmesi, önemli miktarda veri toplamayı gerektirir. Veriler çeşitli biçimlerde olabilir ve endüstriyel tesisin kendisine, değerlendirilen buhar sistemine, değerlendirmenin kapsamına ve endüstriyel buhar sistemi için değerlendirilen gerçek buhar sistem optimizasyon projelerine bağlıdır. Genel olarak, veri toplama stratejisi iki veri toplama alanına odaklanmaktadır:

- Tasarım bilgisi
- İşletim verileri

Genellikle endüstriyel sitemlerde prosesin işletme verisi ölçümleri ve yardımcı işletme değişkenleri şunları içerir:

- Sıcaklık
- Basınç
- Debi
- Yanma analizi
- Enerji kullanımı

- Su kimyası
- Güç üretimi

Birçok tesisin buhar vb. yardımcı işletmesinde, sistem üzerinde ayrıntılı bir kütle ve enerji dengesini gösterecek yeterli ölçüm cihazı yoktur. Bu durum, endüstriyel buhar sistemlerini analiz etmeyi, işletim koşullarını anlamayı ve buhar sistem optimizasyon fırsatlarını belirlemeyi çok zor bir hale getirir. Taşınabilir (elde taşınabilen) ölçüm cihazlarıyla anında işletim verilerini almak ve buhar sistem optimizasyon fırsatlarının bilgilerini kullanmak mümkün olduğundan, bu cihazlar bir endüstriyel buhar sistemi değerlendirmesi sırasında mümkün olan her durumda kullanılmalıdır. Taşınabilir ölçüm cihazlarının bazı durumlarda sabit cihazların kontrolü için kullanılması gerekebilir

Son olarak, tesiste birden fazla ölçüm cihazı mevcut olabilir ve/veya belirli bir prosesi veya yardımcı değişkeni ölçmek için gerekebilir. Bir endüstriyel tesiste, buhar sistemi enerji değerlendirmesi yapılırken, buhar sistemi enerji uzmanının, taşınabilir ölçüm cihazlarının yeteneklerini ve fonksiyonlarını bilmesi gereklidir ve bu aletlere erişimi olması büyük önem taşımaktadır.

14.4. Buhar Sistemi Değerlendirme Raporu

Endüstriyel buhar sistemi değerlendirmesinin tamamlanmasından sonra, buhar sistemi uzmanının endüstriyel tesis personeline bir rapor sunması beklenmektedir. Bu rapor çeşitli biçimlerde hazırlanabileceği gibi, değerlendirmenin sonunda, tesiste, bir sonuç toplantısı düzenlendikten sonra, ayrıntılı bir Buhar Sistemi Değerlendirmesi Özet Raporu olarak sunulması daha uygun olur. Buhar sistemi uzmanının bu nihai raporu makul bir zaman çerçevesi içinde (değerlendirmesini tamamladıktan sonraki 3-4 hafta içinde) tesis personeline sunması zorunludur.

Enerji uzmanının, buhar sistemi değerlendirmesi sonundaki kapanış toplantısını tesis personeli ile yüz yüze gerçekleştirmesi ve bu toplantının, tesis yönetiminin yanısıra projelerin uygulanmasına karar verecek kişiler ile sahada enerji değerlendirmesine katılan tüm tesis personelinin katılımıyla yapılmasını sağlamak için her türlü çabayı göstermesi gerekmektedir. Sonuç toplantısı, değerlendirme sırasında tespit edilen iyileştirme fırsatları listesiyle ilgili herkesin onayını almak üzere yapılmalıdır. Bu kapanış toplantısını düzenlemenin en iyi yolu, daha değerlendirmenin başında toplantı zamanını belirlemek ve bu toplantıya katılması gereken herkesi davet etmektir.

Buhar Sistemi Nihai Değerlendirme Raporu, değerlendirme ve sonuçlar hakkında her şeyi kapsayan bir dokümandır. Buhar Sistemi Nihai Değerlendirme Raporu için sabitlenmiş bir format ya da şablon yoktur; bununla birlikte, raporun, tesis personelinin toplanan veriyi, yapılan analizi ve belirlenen potansiyel optimizasyon fırsatlarını anlamasına yetecek kadar bilgi içermesi beklenir. Buna ek olarak, raporda nitel öneriler ya da belirlenen fakat faydaları sayısal olarak hesaplanmadan önce ilâve araştırma gerektiren fırsatlar olmalıdır. Kısa bir açıklama ve örneklerle tipik bir Buhar Sistemi Değerlendirme Raporunun (ABD Enerji Bakanlığı buhar sistemi değerlendirmeleri için hazırlandığı gibi) genel bölümleri Bölüm 12'de sunulmuştur. Bu rapor formatı belki buhar sistemi uzmanları tarafından kullanılabilir ve belki ileriye yönelik olarak kullanımı standart hale getirilebilir.

14.5. Sonraki Aşamalar

Buhar sistemi uzmanları, sanayi tesisleri ile beraber çalışmalı ve buhar sistemlerini değerlendirmek için eylem planları geliştirmelidir. Uzmanlar, endüstriyel buhar sistemini anlamalarına ve halen endüstriyel buhar sisteminde uygulanan tüm en iyi uygulamaları belirlemelerine imkân veren basit bir kapsam ve bilgi toplama aracı ile uygulamaya başlamalıdır.

Buhar sistemi uzmanları, optimizasyon fırsat alanlarının belirlenmesine yönelik olarak ayrıntılı enerji değerlendirmelerini yönetmek için endüstriyel tesisler ile çalışmalıdır. Bu çalışmayı, şüphesiz, her bir buhar sistem optimizasyon fırsatını ve öngörülen uygulama maliyetlerinin miktarını belirleyen Buhar Sistemi Değerlendirme Raporu takip etmelidir. Bu rapor, buhar sistemi optimizasyonuna yönelik projeleri hayata geçirmede, endüstriyel tesis tarafından kullanılmalıdır.

Referanslar

1. US Department of Energy Industrial Technologies Program – Steam BestPractices Software Tools Suite - <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>
2. US Department of Energy Industrial Technologies Program – Steam BestPractices Publications - <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/publications.asp>
3. Harrell, Greg, **Steam System Survey Guide**, ORNL/TM-2001/263, Mayıs 2002.
4. US Department of Energy's Industrial Technologies Program, **Improving Steam System Performance – A Sourcebook for Industry**, Eylül 2010.
5. The American Society of Mechanical Engineers, **Fired Steam Generators – Performance Test Codes**, ASME PTC-4, 2008.
6. The American Society of Mechanical Engineers, **Energy Assessment for Steam Systems**, ASME EA-3-2009.
7. The American Society of Mechanical Engineers, **Guidance for ASME EA-3, Energy Assessment for Steam Systems**, ASME EA-3G-2010.
8. Heinz, B. ve Singh, M., **Steam Turbines – Design, Applications and Rerating**, İkinci Baskı, McGraw Hill, 2009.
9. Flynn, D., **The NALCO Water Handbook**, İkinci Baskı, 2009.
10. Avallone, E., Baumeister, T. ve Sadegh, A., **Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers**, On Birinci Baskı, 2006.
11. Green, D. ve Perry, R., **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, Sekizinci Baskı, 2007.
12. Kenneth, O., **Industrial Boiler Management: An Operator's Guide**.
13. Moran, M. ve Shapiro, H., **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**, Altıncı Baskı, John Wiley & Sons, Inc., 2008.
14. Lemmon, E. W., Huber, M. L. ve McLinden, M. O., **REFPROP**, NIST Standard Reference Database 23, versiyon 9.0, 2010.

Ekler

Ek

A

Sözlükçe

| İngilizce | Türkçe |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| absolute temperature | mutlak sıcaklık |
| absorber | soğurucu |
| absorption chiller | absorpsiyonlu soğutucu |
| air preheater | hava ön ısıtıcısı |
| ambient temperature | ortam sıcaklığı |
| ambient vent | ortama açılan havalandırma deliği |
| approach temperature | yaklaşım sıcaklığı |
| atmospheric cookers | atmosferik pişiriciler |
| backpressure extraction turbine | karşı basınçlı kademeli türbin |
| backpressure steam turbine | karşı basınçlı buhar türbini |
| backpressure turbine drive | karşı basınçlı türbin tahriki |
| backpressure turbine generator | karşı basınçlı türbin jeneratörü |
| baffle | saptırıcı |
| ball float | küresel şamandıra |
| bellows thermostatic traps | körüklü termostatik kapanlar |
| Bernoulli principle | Bernoulli prensibi |
| bimetallic thermostatic traps | bimetalik termostatik kapanlar |
| bin analysis | kutu analizi |
| bituminous <> subbituminous | bitümlü <> düşük bitümlü |
| blockage factor | blokaj faktörü |
| blowdown | blöf |

| İngilizce | Türkçe |
|--|---|
| blowdown (electrical) conductivity [μ mhos/cm] | blöf (elektriksel) iletkenliği [μ mhos/cm] |
| blowdown flow | blöf debisi |
| blowdown heat recovery | blöf ısı geri kazanımı |
| blowdown heat recovery exchanger | blöf ısı geri kazanım eşanjörü |
| blowdown stream | blöf akışı |
| boiler gas fired boiler fuel-oil fired boiler dual-fuel fired boiler | kazan gaz yakıtlı kazan yağ yakıtlı kazan çift yakıtlı kazan |
| boiler auxiliaries (force-draft, induced-draft fans, etc.) | kazan yardımcı elemanları (cebri çekişli, tahrikli çekişli fanlar, vb.) |
| boiler blowdown | kazan blöfü |
| boiler blowdown controller | kazan blöf kontrolörü |
| boiler blowdown heat exchange | kazan blöf ısı değişimi |
| boiler blowdown loss | kazan blöf kaybı |
| boiler coil | kazan serpantini |
| boiler efficiency | kazan verimi |
| boiler feedwater (BFW) | kazan besleme suyu (BFW) |
| boiler load | kazan yükü |
| boiler operating pressure | kazan çalışma basıncı |
| boiler plant | kazan tesisi |

| | |
|---|---|
| boiler plant operating practices | kazan tesisi işletim uygulamaları |
| boiler sludge | kazan çamuru |
| boiler water (electrical) conductivity [μ mhos/cm] | kazan suyu (elektriksel) iletkenliği [μ mhos/cm] |
| bottom ash | taban külü |
| bypass feed (BF) water | baypas besleme (BF) suyu |
| centrifugal chiller | santrifüj soğutucu |
| choked flow | tıkanık akış |
| cogeneration | kojenerasyon |
| cold start-up warm start-up warm standby | soğuk başlama sıcak başlama hazır yedek |
| combined heat and power (CHP) | birleşik ısı ve güç (CHP) |
| combustibles | yanıcılar |
| combustion air | yanma havası |
| combustion air preheater | yanma havası ön ısıtıcısı |
| combustion component | yanma bileşeni |
| combustion gas | yanma gazı |
| condensate collection tank | kondens toplama tankı |
| condensate header | kondens kollektörü |
| condensate piping | kondens boru tesisatı |
| condensate pump | kondens pompası |
| condensate receiver energy recovery | kondens tankı enerji geri kazanımı |
| condensate receiver tank | kondens toplama tankı |
| condensate receiver vent loss | kondens tankı boşaltım kaybı |
| condensate recovery | kondens geri kazanımı |
| condensate return system | kondens geri dönüş sistemi |
| condensate tank | kondens tankı |
| condensate tank vent exchanger | kondens tankı çıkış eşanjörü |
| condensate tank vent heat exchange | kondens tankı çıkışı ısı değişimi |
| condenser | yoğuşturucu |
| condensing economizer | yoğuşmalı ekonomizör |
| condensing section | yoğuşma bölümü |
| condensing turbine generator | yoğuşmalı türbin jeneratörü |
| conductivity | iletkenlik |
| convection | taşınım |

| | |
|---|---|
| cookers | ocaklar |
| corrective, predictive and preventive maintenance | düzeltilici, kestirimci ve koruyucu bakım |
| cost | maliyet |
| dashboard; dash board | gösterge paneli |
| deaerator | degazör |
| demineralization | demineralizasyon |
| desuperheater | kızgınlık alıcı |
| desuperheating station | kızgınlık alma istasyonu |
| desuperheating water | kızgınlık alma suyu |
| detector resolution | detektör çözünürlüğü |
| digital manometer | dijital manometre |
| digital thermometer | dijital termometre |
| disc thermodynamic traps | disk termodinamik kapanlar |
| distillation tower | damıtma kulesi |
| drip legs | damlama boruları |
| dryers | kurutucular |
| economizer | ekonomizör |
| emissivity | emisivite |
| energy auditor | enerji etütçüsü |
| energy recovery | enerji geri kazanımı |
| energy transfer medium | enerji transfer ortamı |
| enthalpy | entalpi |
| entropy | entropi |
| entropy generation | entropi üretimi |
| equalization tank | denkleştirme tankı |
| equation-of-state | hal denklemi |
| evaporator | buharlaştırıcı |
| excess air control | fazla hava kontrolü |
| exhaust gas | egzoz gazı |
| exhaust pressure | çıkış basıncı |
| exothermic reaction | ekzotermik reaksiyon |
| expansion valve | genleşme vanası |
| extraction turbine | kademeli türbin |
| extraction-condensing turbine | yoğuşmalı-kademeli türbin |
| feedwater | besleme suyu |
| feedwater (electrical) conductivity | besleme suyu (elektriksel) iletkenliği |
| feedwater inlet | besleme suyu girişi |
| feedwater pump | besleme suyu pompası |
| fin-tube economizer | kanatçıklı boru ekonomizör |
| firebox; fire-box | cehennemlik |
| fire-tube boiler water-tube boiler | alev-borulu kazan su-borulu kazan |

| | |
|---|---|
| first order shell loss | birince mertebe kabuk kaybı |
| flame temperature | alev sıcaklığı |
| flange | flaş |
| flash | flaş buharlaşma |
| flash tank | flaş tankı |
| float and lever | şamandıra ve kol |
| float and thermostatic | şamandıra ve termostatik |
| flow | debi / akış |
| flue gas | baca gazı |
| flue gas exhaust temperature | baca gazı çıkış sıcaklığı |
| flue gas oxygen content dry basis | baca gazı oksijen içeriği kuru temelli |
| flue gas oxygen content wet basis | baca gazı oksijen içeriği ıslak temelli |
| flue gas oxygen monitor | baca gazı oksijen izleyicisi |
| flue gas oxygen sensor | baca gazı oksijen sensörü |
| flue gas recirculation (FGR) controls | baca gazı devridaim (FGR) kontrolleri |
| fly ash | uçucu kül |
| forced draft fan | cebri çekişli fan |
| fuel | yakıt |
| fuel composition | yakıt bileşimi |
| fuel flow control | yakıt akış kontrolü |
| fuel higher heating value | yakıt üst ısıl değeri |
| fuel lower heating value | yakıt alt ısıl değeri |
| fuel molecular weight | yakıt moleküler ağırlığı |
| fuel oil, fuel-oil | yağ yakıt (fuel-oil) |
| fuel storage and handling equipment | yakıt depolama ve işleme ekipmanı |
| fuel pump | yakıt pompası |
| gasketed joint | contalı bağlantı |
| green house gas (GHG) emission reductions | sera gazı (GHG) emisyon azaltımları |
| gross heating value | brüt ısıl değeri |
| hand valve / manual valve | el vanası |
| handheld digital thermometer | elde taşınan dijital termometre |
| header | kollektör |
| heat duty | ısı yükü |
| heat exchange | ısı değişimi |
| heat exchanger | eşanjör |
| heat loss | ısı kaybı |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| heavy fuel-oil (HFO) | ağır yağ yakıt (HFO) |
| light fuel-oil (LFO) | hafif yağ yakıt (LFO) |
| high pressure (HP) | yüksek basınç (HP) |
| high pressure liquid blowdown | yüksek basınç sıvı blöfü |
| high pressure steam | yüksek basınçlı buhar |
| high pressure steam line | yüksek basınç buhar hattı |
| higher heating value (HHV) | üst ısıl değeri (HHV) |
| HP to condensing steam rate | HP/yoğuşturucu buhar debisi |
| HP to LP (low pressure) steam rate | HP/LP (düşük basınç) buhar debisi |
| HP to MP (medium pressure) steam rate | HP/MP (orta basınç) buhar debisi |
| humidification systems | nemlendirme sistemleri |
| immersion temperature probe | daldırmalı sıcaklık probu |
| incineration | yakma (çöp yakma) |
| infrared temperature gun | kızıl ötesi sıcaklık tabancası |
| inlet pressure | giriş basıncı |
| inlet temperature | giriş sıcaklığı |
| insulation | yalıtım |
| inverted bucket steam trap | ters kovalı buhar kapanı |
| isenthalpic | izentalpik |
| isentropic efficiency | izantropik verim |
| isolation | ayırma (sistemden ayırma) |
| isolation valve | sistem ayırma vanası |
| jack-shaft | avara mili (jack-shaft) |
| lance | metal boru |
| landfill gas (LFG) | çöp gazı |
| large chiller plants | büyük soğutucu (chiller) tesisleri |
| latent heat | gizli ısı |
| leak rate | kaçak debisi |
| letdown station | düşürme istasyonu |
| level control | seviye kontrolü |
| line diagram | hat şeması |
| liquid solution pump | sıvı çözeltili pompa |
| live steam | taze buhar |
| loss on ignition (LOI) | ateşleme kaybı (LOI) |
| low pressure flash vessel | düşük basınç flaş kabı |
| low pressure steam | düşük basınçlı buhar |

| | | | |
|---|--|---|------------------------------------|
| low pressure steam line | düşük basınç buhar hattı | plate-and-frame heat exchanger (hx) | plakalı eşanjör |
| lower heating value (LHV) | alt ısı değer (LHV) | shell-and-tube heat exchanger | gövde borulu eşanjör |
| LP flash | düşük basınç (LP) flaş buhar | positioning control, positional control | konumsal kontrol |
| LP vent | düşük basınç boşaltma (çıkış) | power balance | güç dengesi |
| lye HXs | kül suyu eşanjörleri | power station emissions | güç istasyonu emisyonları |
| make-up water, makeup water, make up water | takviye suyu | precipitation | çökeltme |
| make-up water heat recovery exchanger | takviye suyu geri kazanım eşanjörü | pressure cookers | basınçlı pişiriciler |
| mass flow rate | kütlesel debi | pressure reducing station | basınç düşürme istasyonu |
| volume flow rate | hacimsel debi | pressure reducing valve (PRV) | basınç düşürme vanası (PRV) |
| mass fraction | kütle kesri | process heater | proses ısıtıcısı |
| mechanical trap | mekanik kapan | pump-trap | pompa kapanı |
| medium pressure steam | orta basınçlı buhar | quenching water | soğutma suyu |
| mole fraction | mol kesri | radiation | işinım |
| motive steam | tahrik gücü içeren buhar | radiation heat loss | işinım ısı kaybı |
| MP to LP steam rate | MP/LP buhar debisi | Rankine cycle | Rankine çevrimi |
| mud-drum steam-drum | çamur tamburu buhar tamburu | rated capacity | anma kapasitesi |
| Napier's choked flow equation | Napier tıkanık akış denklemi | reboiler | düşük basınç kazanı (reboiler) |
| National Institute of Standards & Testing (NIST) | ABD Ulusal Standartlar ve Test Enstitüsü (NIST) | reciprocating air-cooled chiller | resiprokan hava soğutmalı soğutucu |
| North American Insulation Manufacturers Association (NAIMA) | Kuzey Amerika Yalıtım İmalatçıları Birliği (NAIMA) | recovery | geri kazanım |
| nozzle | nozül | refinery | rafineri |
| on-site emissions | saha emisyonları | reformer | dönüştürücü |
| open bucked mechanical trap | açık kovalı mekanik kapan | refractory | refrakter |
| orifice plate | orifis levha | retort cooling | hazne soğutması |
| orifice trap | orifis kapan | returning condensate | geri dönen kondens |
| overflow water | taşma suyu | reverse osmosis | ters osmoz |
| overspeed trip valve | aşırı hız kesme vanası | safety relief valve | emniyet tahliye vanası |
| oxygen trim control | oksijen ayar kontrolü | saturated liquid | doymuş sıvı |
| payback period | geri ödeme süresi | saturated vapor | doymuş buhar |
| piston | piston | scale, scaling | pullanma |
| Pitote tube | Pitot tüpü | scrape surface | yüzey soyma |
| pitting (erosion) | aşınma | seal oil | sızdırmazlık yağı |
| | | separator | separatör |
| | | shaft work | mil işi |
| | | sky valve | atmosfer vanası (nefeslik) |
| | | solid fuel | katı yakıt |
| | | soot blower | kurum üfleci |
| | | soot blowing system | kurum üfleme sistemi |

| | |
|---|---|
| specific enthalpy | özgül entalpi |
| specific entropy | özgül entropi |
| spinning reserve | çalışır durumda yedek kapasite |
| spray type tray type | püskürtmeli tip tepsili tip |
| stack loss | baca kaybı |
| stack temperature | baca sıcaklığı |
| Steady State Steady Flow (SSSF) | Sürekli Akışlı Sürekli Açık (SSSF) |
| steam accumulators | buhar toplayıcıları |
| steam coil | buhar serpantini |
| steam discharge temperature | buhar çıkış sıcaklığı |
| steam distribution optimization | buhar dağıtım optimizasyonu |
| steam eductor | buhar boşaltıcı (edüktör) |
| steam ejector steam injector | buhar ejektörü buhar enjektörü |
| steam generation optimization | buhar üretim optimizasyonu |
| steam jet | buhar jeti |
| steam leaks | buhar kaçakları |
| steam outlet | buhar çıkışı |
| steam peeler | buharlı kabuk soyma makinesi |
| steam piping | buhar boru tesisatı |
| steam rate | buhar debisi |
| Steam Specialist Qualification Training | Buhar Uzmanı Sertifikasyon Eğitimi |
| Steam System Assessment Tool (SSAT) | Buhar Sistem Değerlendirme Aracı (SSAT) |
| steam system optimization | buhar sistemi optimizasyonu |
| Steam System Scoping Tool (SSST) | Buhar Sistemi Kapsam Belirleme Aracı (SSST) |
| Steam System Survey Guide | Buhar Sistemi Denetleme Kılavuzu |
| steam tables | buhar tabloları |
| steam trap | buhar kapanı |
| steam trap survey | buhar kapanı denetimi |
| steam turbine | buhar türbini |
| steam turbine-driven topping cycle | buhar türbini tahrikli üst çevrim |
| sterilizer | sterilizatör |

| | |
|--|--|
| stoker coal | besleme kömürü |
| stop valve | durdurma vanası |
| stripper | ayırma sütunu |
| stripping column | ayırma sütunu |
| subcooled saturated superheated | aşırı soğutulmuş doymuş kızgın |
| sub-cooler | aşırı soğutucu |
| surface condenser | yüzey yoğuşturucu |
| tail gas expander | kuyruk gazı genleştirici |
| thermal camera | termal kamera |
| thermal conductivity [W/mK] | ısı iletkenlik [W/mK] |
| thermal demand | ısı talep |
| thermal energy | ısı enerjisi |
| thermal insulation | ısı yalıtım |
| thermoc compressor | termokompresör |
| thermocouple | termokupl |
| thermodynamic trap | termodinamik kapan |
| thermostatic trap | termostatik kapan |
| thermo-physical property | termo-fiziksel özellik |
| topping cycle | üst çevrim |
| topping turbine | üst çevrim türbini |
| total dissolved solids | toplam çözülmüş katı madde |
| transparent flexible (vinyl) tubing | şeffaf esnek (izoleli) boru tesisatı |
| trap losses | kapan kayıpları |
| traveling grate | hareketli ızgara |
| tube-in-tube HX | geçmeli boru eşanjörü |
| turbine blades | türbin kanatları |
| turbine isentropic efficiency (%) | türbin izantropik verimi (%) |
| turbulator | türbülötör |
| twin-screw packaged air-cooled chiller | ikiz vidalı hava soğutmalı paket soğutucu |
| two-header metric model | çift kollektörlü metrik model |
| ultrasonic leak detector | ultrasonik kaçak dedektörü |
| US Department of Energy's Industrial Technologies Program - Steam Best Practices | ABD Enerji Bakanlığı Endüstriyel Teknolojiler Programı - Buhar En İyi Uygulamaları |

| | |
|---|--|
| US Department of Energy's Steam System Best Practices | ABD Enerji Bakanlığı Buhar Sistemi En İyi Uygulamaları |
| US DOE Steam Best Practices Tools Suite | ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Araç Paketi |
| utility/utilities | yardımcı işletme(ler) |
| industrial utility system | endüstriyel yardımcı işletmeler sistemi |
| utility engineer | yardımcı işletme mühendisi |
| utility company | yardımcı hizmet şirketi |
| electric utility grid | elektrik şebekesi |

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| valve stem | vana kolu |
| variable frequency drive (VFD) | değişken frekans sürücüsü (VFD) |
| variable speed drive (VSD) | değişken hız sürücüsü (VSD) |
| venturi tube | venturi borusu |
| vessel | basınçlı kap |
| visual light resolution | beyaz ışık çözünürlüğü |
| water hammer | koç darbesi |
| water treatment equipment | su arıtma ekipmanı |
| water treatment system | su arıtma sistemi |

Buhar Tabloları (Refprop'dan)

B.1. Doymuş Sıvı ve Buhar Özellikleri (Basınca Bağlı)

Ek

B

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 81,32 | 0,50 | 970,940 | 0,309 | 340,54 | 2645,20 | 1,0912 | 7,5930 |
| 99,61 | 1,00 | 958,630 | 0,590 | 417,50 | 2674,90 | 1,3028 | 7,3588 |
| 111,35 | 1,50 | 949,920 | 0,863 | 467,13 | 2693,10 | 1,4337 | 7,2230 |
| 120,21 | 2,00 | 942,940 | 1,129 | 504,70 | 2706,20 | 1,5302 | 7,1269 |
| 127,41 | 2,50 | 937,020 | 1,392 | 535,34 | 2716,50 | 1,6072 | 7,0524 |
| 133,52 | 3,00 | 931,820 | 1,651 | 561,43 | 2724,90 | 1,6717 | 6,9916 |
| 138,86 | 3,50 | 927,150 | 1,908 | 584,26 | 2732,00 | 1,7274 | 6,9401 |
| 143,61 | 4,00 | 922,890 | 2,163 | 604,65 | 2738,10 | 1,7765 | 6,8955 |
| 147,90 | 4,50 | 918,960 | 2,416 | 623,14 | 2743,40 | 1,8205 | 6,8560 |
| 151,83 | 5,00 | 915,290 | 2,668 | 640,09 | 2748,10 | 1,8604 | 6,8207 |
| 155,46 | 5,50 | 911,850 | 2,919 | 655,76 | 2752,30 | 1,8970 | 6,7886 |
| 158,83 | 6,00 | 908,590 | 3,169 | 670,38 | 2756,10 | 1,9308 | 6,7592 |
| 161,98 | 6,50 | 905,510 | 3,418 | 684,08 | 2759,60 | 1,9623 | 6,7322 |
| 164,95 | 7,00 | 902,560 | 3,666 | 697,00 | 2762,80 | 1,9918 | 6,7071 |
| 167,75 | 7,50 | 899,740 | 3,914 | 709,24 | 2765,60 | 2,0195 | 6,6836 |
| 170,41 | 8,00 | 897,040 | 4,161 | 720,86 | 2768,30 | 2,0457 | 6,6616 |
| 172,94 | 8,50 | 894,430 | 4,407 | 731,95 | 2770,80 | 2,0705 | 6,6409 |
| 175,35 | 9,00 | 891,920 | 4,654 | 742,56 | 2773,00 | 2,0940 | 6,6213 |
| 177,66 | 9,50 | 889,480 | 4,900 | 752,74 | 2775,10 | 2,1165 | 6,6027 |
| 179,88 | 10,00 | 887,130 | 5,145 | 762,52 | 2777,10 | 2,1381 | 6,5850 |
| 182,01 | 10,50 | 884,840 | 5,390 | 771,94 | 2778,90 | 2,1587 | 6,5681 |
| 184,06 | 11,00 | 882,620 | 5,635 | 781,03 | 2780,60 | 2,1785 | 6,5520 |
| 186,04 | 11,50 | 880,460 | 5,880 | 789,82 | 2782,20 | 2,1976 | 6,5365 |
| 187,96 | 12,00 | 878,350 | 6,125 | 798,33 | 2783,70 | 2,2159 | 6,5217 |
| 189,81 | 12,50 | 876,290 | 6,370 | 806,58 | 2785,10 | 2,2337 | 6,5074 |
| 191,60 | 13,00 | 874,280 | 6,614 | 814,60 | 2786,50 | 2,2508 | 6,4936 |
| 193,35 | 13,50 | 872,310 | 6,859 | 822,39 | 2787,70 | 2,2674 | 6,4803 |
| 195,04 | 14,00 | 870,390 | 7,103 | 829,97 | 2788,80 | 2,2835 | 6,4675 |
| 196,69 | 14,50 | 868,500 | 7,348 | 837,35 | 2789,90 | 2,2992 | 6,4550 |
| 198,29 | 15,00 | 866,650 | 7,592 | 844,56 | 2791,00 | 2,3143 | 6,4430 |
| 199,85 | 15,50 | 864,840 | 7,837 | 851,59 | 2791,90 | 2,3291 | 6,4313 |
| 201,37 | 16,00 | 863,050 | 8,082 | 858,46 | 2792,80 | 2,3435 | 6,4199 |
| 202,86 | 16,50 | 861,300 | 8,326 | 865,17 | 2793,70 | 2,3575 | 6,4089 |
| 204,31 | 17,00 | 859,580 | 8,571 | 871,74 | 2794,50 | 2,3711 | 6,3981 |
| 205,73 | 17,50 | 857,890 | 8,816 | 878,17 | 2795,20 | 2,3845 | 6,3877 |
| 207,11 | 18,00 | 856,220 | 9,061 | 884,47 | 2795,90 | 2,3975 | 6,3775 |
| 208,47 | 18,50 | 854,580 | 9,306 | 890,65 | 2796,60 | 2,4102 | 6,3675 |
| 209,80 | 19,00 | 852,960 | 9,551 | 896,71 | 2797,20 | 2,4227 | 6,3578 |
| 211,10 | 19,50 | 851,370 | 9,796 | 902,66 | 2797,80 | 2,4348 | 6,3483 |
| 212,38 | 20,00 | 849,800 | 10,042 | 908,50 | 2798,30 | 2,4468 | 6,3390 |

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 213,63 | 20,50 | 848,250 | 10,287 | 914,24 | 2798,80 | 2,4584 | 6,3299 |
| 214,86 | 21,00 | 846,720 | 10,533 | 919,87 | 2799,30 | 2,4699 | 6,3210 |
| 216,06 | 21,50 | 845,210 | 10,779 | 925,42 | 2799,70 | 2,4811 | 6,3123 |
| 217,25 | 22,00 | 843,720 | 11,026 | 930,87 | 2800,10 | 2,4921 | 6,3038 |
| 218,41 | 22,50 | 842,240 | 11,272 | 936,24 | 2800,50 | 2,5029 | 6,2954 |
| 219,56 | 23,00 | 840,790 | 11,519 | 941,53 | 2800,80 | 2,5136 | 6,2872 |
| 220,68 | 23,50 | 839,350 | 11,766 | 946,74 | 2801,10 | 2,5240 | 6,2791 |
| 221,79 | 24,00 | 837,920 | 12,013 | 951,87 | 2801,40 | 2,5343 | 6,2712 |
| 222,88 | 24,50 | 836,510 | 12,260 | 956,92 | 2801,70 | 2,5443 | 6,2634 |
| 223,95 | 25,00 | 835,120 | 12,508 | 961,91 | 2801,90 | 2,5543 | 6,2558 |
| 225,01 | 25,50 | 833,740 | 12,756 | 966,82 | 2802,10 | 2,5640 | 6,2483 |
| 226,05 | 26,00 | 832,370 | 13,004 | 971,67 | 2802,30 | 2,5736 | 6,2409 |
| 227,07 | 26,50 | 831,020 | 13,253 | 976,46 | 2802,50 | 2,5831 | 6,2336 |
| 228,08 | 27,00 | 829,680 | 13,501 | 981,18 | 2802,70 | 2,5924 | 6,2264 |
| 229,08 | 27,50 | 828,360 | 13,750 | 985,85 | 2802,80 | 2,6016 | 6,2194 |
| 230,06 | 28,00 | 827,040 | 14,000 | 990,46 | 2802,90 | 2,6106 | 6,2124 |
| 231,02 | 28,50 | 825,740 | 14,250 | 995,01 | 2803,00 | 2,6195 | 6,2056 |
| 231,98 | 29,00 | 824,450 | 14,500 | 999,51 | 2803,10 | 2,6283 | 6,1988 |
| 232,92 | 29,50 | 823,170 | 14,750 | 1004,00 | 2803,10 | 2,6370 | 6,1921 |
| 233,85 | 30,00 | 821,900 | 15,001 | 1008,30 | 2803,20 | 2,6455 | 6,1856 |
| 234,77 | 30,50 | 820,640 | 15,251 | 1012,70 | 2803,20 | 2,6540 | 6,1791 |
| 235,68 | 31,00 | 819,390 | 15,503 | 1017,00 | 2803,20 | 2,6623 | 6,1727 |
| 236,57 | 31,50 | 818,150 | 15,754 | 1021,20 | 2803,20 | 2,6706 | 6,1664 |
| 237,46 | 32,00 | 816,920 | 16,006 | 1025,40 | 2803,10 | 2,6787 | 6,1602 |
| 238,33 | 32,50 | 815,710 | 16,259 | 1029,60 | 2803,10 | 2,6867 | 6,1540 |
| 239,20 | 33,00 | 814,490 | 16,512 | 1033,70 | 2803,00 | 2,6946 | 6,1479 |
| 240,05 | 33,50 | 813,290 | 16,765 | 1037,80 | 2803,00 | 2,7025 | 6,1419 |
| 240,90 | 34,00 | 812,100 | 17,018 | 1041,80 | 2802,90 | 2,7102 | 6,1360 |
| 241,73 | 34,50 | 810,910 | 17,272 | 1045,80 | 2802,80 | 2,7178 | 6,1301 |
| 242,56 | 35,00 | 809,740 | 17,526 | 1049,80 | 2802,60 | 2,7254 | 6,1243 |
| 243,37 | 35,50 | 808,570 | 17,781 | 1053,70 | 2802,50 | 2,7329 | 6,1186 |
| 244,18 | 36,00 | 807,410 | 18,036 | 1057,60 | 2802,40 | 2,7403 | 6,1129 |
| 244,98 | 36,50 | 806,250 | 18,291 | 1061,50 | 2802,20 | 2,7476 | 6,1073 |
| 245,77 | 37,00 | 805,100 | 18,547 | 1065,30 | 2802,10 | 2,7549 | 6,1018 |
| 246,56 | 37,50 | 803,960 | 18,803 | 1069,10 | 2801,90 | 2,7620 | 6,0963 |
| 247,33 | 38,00 | 802,830 | 19,059 | 1072,80 | 2801,70 | 2,7691 | 6,0908 |
| 248,10 | 38,50 | 801,710 | 19,316 | 1076,50 | 2801,50 | 2,7761 | 6,0854 |
| 248,86 | 39,00 | 800,590 | 19,574 | 1080,20 | 2801,30 | 2,7831 | 6,0801 |
| 249,61 | 39,50 | 799,470 | 19,832 | 1083,90 | 2801,10 | 2,7900 | 6,0748 |
| 250,35 | 40,00 | 798,370 | 20,090 | 1087,50 | 2800,80 | 2,7968 | 6,0696 |
| 251,09 | 40,50 | 797,270 | 20,349 | 1091,10 | 2800,60 | 2,8035 | 6,0644 |
| 251,82 | 41,00 | 796,170 | 20,608 | 1094,70 | 2800,30 | 2,8102 | 6,0592 |
| 252,55 | 41,50 | 795,080 | 20,867 | 1098,20 | 2800,10 | 2,8168 | 6,0542 |
| 253,26 | 42,00 | 794,000 | 21,127 | 1101,70 | 2799,80 | 2,8234 | 6,0491 |
| 253,98 | 42,50 | 792,930 | 21,388 | 1105,20 | 2799,50 | 2,8299 | 6,0441 |
| 254,68 | 43,00 | 791,850 | 21,649 | 1108,70 | 2799,20 | 2,8363 | 6,0391 |
| 255,38 | 43,50 | 790,790 | 21,910 | 1112,10 | 2798,90 | 2,8427 | 6,0342 |
| 256,07 | 44,00 | 789,730 | 22,172 | 1115,50 | 2798,60 | 2,8490 | 6,0293 |
| 256,76 | 44,50 | 788,670 | 22,434 | 1118,90 | 2798,30 | 2,8553 | 6,0245 |
| 257,44 | 45,00 | 787,620 | 22,697 | 1122,20 | 2797,90 | 2,8615 | 6,0197 |

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 258,11 | 45,50 | 786,570 | 22,960 | 1125,60 | 2797,60 | 2,8677 | 6,0150 |
| 258,78 | 46,00 | 785,530 | 23,224 | 1128,90 | 2797,30 | 2,8738 | 6,0102 |
| 259,44 | 46,50 | 784,500 | 23,488 | 1132,20 | 2796,90 | 2,8799 | 6,0055 |
| 260,10 | 47,00 | 783,470 | 23,753 | 1135,50 | 2796,50 | 2,8859 | 6,0009 |
| 260,75 | 47,50 | 782,440 | 24,018 | 1138,70 | 2796,20 | 2,8918 | 5,9963 |
| 261,40 | 48,00 | 781,420 | 24,284 | 1141,90 | 2795,80 | 2,8978 | 5,9917 |
| 262,04 | 48,50 | 780,400 | 24,550 | 1145,10 | 2795,40 | 2,9036 | 5,9871 |
| 262,68 | 49,00 | 779,380 | 24,816 | 1148,30 | 2795,00 | 2,9095 | 5,9826 |
| 263,31 | 49,50 | 778,370 | 25,084 | 1151,50 | 2794,60 | 2,9153 | 5,9781 |
| 263,94 | 50,00 | 777,370 | 25,351 | 1154,60 | 2794,20 | 2,9210 | 5,9737 |
| 264,56 | 50,50 | 776,370 | 25,619 | 1157,80 | 2793,80 | 2,9267 | 5,9692 |
| 265,18 | 51,00 | 775,370 | 25,888 | 1160,90 | 2793,40 | 2,9323 | 5,9648 |
| 265,79 | 51,50 | 774,380 | 26,157 | 1164,00 | 2792,90 | 2,9380 | 5,9605 |
| 266,40 | 52,00 | 773,390 | 26,427 | 1167,00 | 2792,50 | 2,9435 | 5,9561 |
| 267,01 | 52,50 | 772,400 | 26,697 | 1170,10 | 2792,00 | 2,9491 | 5,9518 |
| 267,61 | 53,00 | 771,420 | 26,968 | 1173,10 | 2791,60 | 2,9546 | 5,9475 |
| 268,20 | 53,50 | 770,440 | 27,240 | 1176,10 | 2791,10 | 2,9600 | 5,9433 |
| 268,79 | 54,00 | 769,460 | 27,512 | 1179,10 | 2790,70 | 2,9654 | 5,9391 |
| 269,38 | 54,50 | 768,490 | 27,784 | 1182,10 | 2790,20 | 2,9708 | 5,9348 |
| 269,97 | 55,00 | 767,520 | 28,057 | 1185,10 | 2789,70 | 2,9762 | 5,9307 |
| 270,54 | 55,50 | 766,550 | 28,331 | 1188,00 | 2789,20 | 2,9815 | 5,9265 |
| 271,12 | 56,00 | 765,590 | 28,605 | 1191,00 | 2788,70 | 2,9868 | 5,9224 |
| 271,69 | 56,50 | 764,630 | 28,879 | 1193,90 | 2788,20 | 2,9920 | 5,9183 |
| 272,26 | 57,00 | 763,670 | 29,155 | 1196,80 | 2787,70 | 2,9972 | 5,9142 |
| 272,82 | 57,50 | 762,720 | 29,431 | 1199,70 | 2787,20 | 3,0024 | 5,9101 |
| 273,38 | 58,00 | 761,770 | 29,707 | 1202,60 | 2786,70 | 3,0075 | 5,9061 |
| 273,94 | 58,50 | 760,820 | 29,984 | 1205,40 | 2786,20 | 3,0126 | 5,9021 |
| 274,49 | 59,00 | 759,880 | 30,262 | 1208,30 | 2785,70 | 3,0177 | 5,8981 |
| 275,04 | 59,50 | 758,940 | 30,540 | 1211,10 | 2785,10 | 3,0228 | 5,8941 |
| 275,58 | 60,00 | 758,000 | 30,818 | 1213,90 | 2784,60 | 3,0278 | 5,8901 |
| 276,13 | 60,50 | 757,060 | 31,098 | 1216,70 | 2784,00 | 3,0328 | 5,8862 |
| 276,67 | 61,00 | 756,130 | 31,378 | 1219,50 | 2783,50 | 3,0377 | 5,8823 |
| 277,20 | 61,50 | 755,200 | 31,658 | 1222,30 | 2782,90 | 3,0427 | 5,8784 |
| 277,73 | 62,00 | 754,270 | 31,940 | 1225,10 | 2782,40 | 3,0476 | 5,8745 |
| 278,26 | 62,50 | 753,340 | 32,221 | 1227,80 | 2781,80 | 3,0524 | 5,8706 |
| 278,79 | 63,00 | 752,420 | 32,504 | 1230,50 | 2781,20 | 3,0573 | 5,8668 |
| 279,31 | 63,50 | 751,500 | 32,787 | 1233,30 | 2780,60 | 3,0621 | 5,8630 |
| 279,83 | 64,00 | 750,580 | 33,070 | 1236,00 | 2780,10 | 3,0669 | 5,8592 |
| 280,34 | 64,50 | 749,660 | 33,355 | 1238,70 | 2779,50 | 3,0716 | 5,8554 |
| 280,86 | 65,00 | 748,750 | 33,640 | 1241,40 | 2778,90 | 3,0764 | 5,8516 |
| 281,37 | 65,50 | 747,840 | 33,925 | 1244,10 | 2778,30 | 3,0811 | 5,8478 |
| 281,87 | 66,00 | 746,930 | 34,211 | 1246,70 | 2777,70 | 3,0858 | 5,8441 |
| 282,38 | 66,50 | 746,020 | 34,498 | 1249,40 | 2777,10 | 3,0904 | 5,8404 |
| 282,88 | 67,00 | 745,110 | 34,786 | 1252,00 | 2776,40 | 3,0951 | 5,8367 |
| 283,38 | 67,50 | 744,210 | 35,074 | 1254,70 | 2775,80 | 3,0997 | 5,8330 |
| 283,87 | 68,00 | 743,310 | 35,363 | 1257,30 | 2775,20 | 3,1043 | 5,8293 |
| 284,37 | 68,50 | 742,410 | 35,652 | 1259,90 | 2774,60 | 3,1088 | 5,8256 |
| 284,86 | 69,00 | 741,510 | 35,943 | 1262,50 | 2773,90 | 3,1134 | 5,8220 |
| 285,34 | 69,50 | 740,620 | 36,234 | 1265,10 | 2773,30 | 3,1179 | 5,8184 |
| 285,83 | 70,00 | 739,720 | 36,525 | 1267,70 | 2772,60 | 3,1224 | 5,8148 |

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 286,31 | 70,50 | 738,830 | 36,817 | 1270,20 | 2772,00 | 3,1269 | 5,8111 |
| 286,79 | 71,00 | 737,940 | 37,110 | 1272,80 | 2771,30 | 3,1313 | 5,8076 |
| 287,27 | 71,50 | 737,050 | 37,404 | 1275,30 | 2770,70 | 3,1358 | 5,8040 |
| 287,74 | 72,00 | 736,170 | 37,698 | 1277,90 | 2770,00 | 3,1402 | 5,8004 |
| 288,21 | 72,50 | 735,280 | 37,993 | 1280,40 | 2769,30 | 3,1446 | 5,7969 |
| 288,68 | 73,00 | 734,400 | 38,289 | 1282,90 | 2768,60 | 3,1489 | 5,7933 |
| 289,15 | 73,50 | 733,520 | 38,585 | 1285,40 | 2768,00 | 3,1533 | 5,7898 |
| 289,61 | 74,00 | 732,640 | 38,883 | 1287,90 | 2767,30 | 3,1576 | 5,7863 |
| 290,08 | 74,50 | 731,760 | 39,181 | 1290,40 | 2766,60 | 3,1619 | 5,7828 |
| 290,54 | 75,00 | 730,880 | 39,479 | 1292,90 | 2765,90 | 3,1662 | 5,7793 |
| 290,99 | 75,50 | 730,010 | 39,779 | 1295,40 | 2765,20 | 3,1705 | 5,7758 |
| 291,45 | 76,00 | 729,140 | 40,079 | 1297,90 | 2764,50 | 3,1747 | 5,7723 |
| 291,90 | 76,50 | 728,260 | 40,380 | 1300,30 | 2763,80 | 3,1789 | 5,7689 |
| 292,35 | 77,00 | 727,390 | 40,681 | 1302,80 | 2763,10 | 3,1832 | 5,7654 |
| 292,80 | 77,50 | 726,520 | 40,983 | 1305,20 | 2762,30 | 3,1874 | 5,7620 |
| 293,25 | 78,00 | 725,660 | 41,287 | 1307,70 | 2761,60 | 3,1915 | 5,7586 |
| 293,69 | 78,50 | 724,790 | 41,591 | 1310,10 | 2760,90 | 3,1957 | 5,7552 |
| 294,13 | 79,00 | 723,920 | 41,895 | 1312,50 | 2760,20 | 3,1998 | 5,7518 |
| 294,57 | 79,50 | 723,060 | 42,201 | 1314,90 | 2759,40 | 3,2040 | 5,7484 |
| 295,01 | 80,00 | 722,200 | 42,507 | 1317,30 | 2758,70 | 3,2081 | 5,7450 |
| 295,44 | 80,50 | 721,330 | 42,814 | 1319,70 | 2757,90 | 3,2122 | 5,7416 |
| 295,88 | 81,00 | 720,470 | 43,122 | 1322,10 | 2757,20 | 3,2162 | 5,7383 |
| 296,31 | 81,50 | 719,620 | 43,430 | 1324,50 | 2756,40 | 3,2203 | 5,7349 |
| 296,74 | 82,00 | 718,760 | 43,740 | 1326,80 | 2755,70 | 3,2243 | 5,7316 |
| 297,16 | 82,50 | 717,900 | 44,050 | 1329,20 | 2754,90 | 3,2284 | 5,7282 |
| 297,59 | 83,00 | 717,040 | 44,361 | 1331,60 | 2754,10 | 3,2324 | 5,7249 |
| 298,01 | 83,50 | 716,190 | 44,673 | 1333,90 | 2753,40 | 3,2364 | 5,7216 |
| 298,43 | 84,00 | 715,340 | 44,985 | 1336,30 | 2752,60 | 3,2403 | 5,7183 |
| 298,85 | 84,50 | 714,480 | 45,299 | 1338,60 | 2751,80 | 3,2443 | 5,7150 |
| 299,27 | 85,00 | 713,630 | 45,613 | 1340,90 | 2751,00 | 3,2483 | 5,7117 |
| 299,69 | 85,50 | 712,780 | 45,928 | 1343,30 | 2750,20 | 3,2522 | 5,7084 |
| 300,10 | 86,00 | 711,930 | 46,244 | 1345,60 | 2749,40 | 3,2561 | 5,7051 |
| 300,51 | 86,50 | 711,080 | 46,561 | 1347,90 | 2748,60 | 3,2600 | 5,7018 |
| 300,92 | 87,00 | 710,230 | 46,879 | 1350,20 | 2747,80 | 3,2639 | 5,6986 |
| 301,33 | 87,50 | 709,390 | 47,198 | 1352,50 | 2747,00 | 3,2678 | 5,6953 |
| 301,74 | 88,00 | 708,540 | 47,517 | 1354,80 | 2746,20 | 3,2717 | 5,6921 |
| 302,14 | 88,50 | 707,690 | 47,837 | 1357,10 | 2745,40 | 3,2755 | 5,6888 |
| 302,54 | 89,00 | 706,850 | 48,159 | 1359,30 | 2744,60 | 3,2793 | 5,6856 |
| 302,95 | 89,50 | 706,010 | 48,481 | 1361,60 | 2743,80 | 3,2832 | 5,6824 |
| 303,34 | 90,00 | 705,160 | 48,804 | 1363,90 | 2742,90 | 3,2870 | 5,6791 |
| 303,74 | 90,50 | 704,320 | 49,128 | 1366,10 | 2742,10 | 3,2908 | 5,6759 |
| 304,14 | 91,00 | 703,480 | 49,453 | 1368,40 | 2741,30 | 3,2946 | 5,6727 |
| 304,53 | 91,50 | 702,640 | 49,778 | 1370,60 | 2740,40 | 3,2983 | 5,6695 |
| 304,93 | 92,00 | 701,800 | 50,105 | 1372,90 | 2739,60 | 3,3021 | 5,6663 |
| 305,32 | 92,50 | 700,960 | 50,433 | 1375,10 | 2738,70 | 3,3058 | 5,6631 |
| 305,71 | 93,00 | 700,120 | 50,761 | 1377,40 | 2737,90 | 3,3096 | 5,6599 |
| 306,09 | 93,50 | 699,280 | 51,091 | 1379,60 | 2737,00 | 3,3133 | 5,6568 |
| 306,48 | 94,00 | 698,440 | 51,421 | 1381,80 | 2736,20 | 3,3170 | 5,6536 |
| 306,87 | 94,50 | 697,600 | 51,753 | 1384,00 | 2735,30 | 3,3207 | 5,6504 |
| 307,25 | 95,00 | 696,770 | 52,085 | 1386,20 | 2734,40 | 3,3244 | 5,6473 |

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 307,63 | 95,50 | 695,930 | 52,418 | 1388,40 | 2733,60 | 3,3281 | 5,6441 |
| 308,01 | 96,00 | 695,090 | 52,753 | 1390,60 | 2732,70 | 3,3317 | 5,6410 |
| 308,39 | 96,50 | 694,260 | 53,088 | 1392,80 | 2731,80 | 3,3354 | 5,6378 |
| 308,77 | 97,00 | 693,420 | 53,424 | 1395,00 | 2730,90 | 3,3390 | 5,6347 |
| 309,14 | 97,50 | 692,590 | 53,761 | 1397,20 | 2730,00 | 3,3427 | 5,6316 |
| 309,52 | 98,00 | 691,760 | 54,100 | 1399,40 | 2729,10 | 3,3463 | 5,6284 |
| 309,89 | 98,50 | 690,920 | 54,439 | 1401,60 | 2728,20 | 3,3499 | 5,6253 |
| 310,26 | 99,00 | 690,090 | 54,779 | 1403,70 | 2727,30 | 3,3535 | 5,6222 |
| 310,63 | 99,50 | 689,260 | 55,121 | 1405,90 | 2726,40 | 3,3571 | 5,6191 |
| 311,00 | 100,00 | 688,420 | 55,463 | 1408,10 | 2725,50 | 3,3606 | 5,6160 |

B.2. Doymuş Sıvı ve Buhar Özellikleri (Sıcaklığa Bağlı)

| Sıcaklık °C | Mutlak Basınç bar | Sıvı Yoğunluğu kg/m ³ | Buhar Yoğunluğu kg/m ³ | Sıvı Entalpisi kJ/kg | Buhar Entalpisi kJ/kg | Sıvı Entropisi kJ/kg-K | Buhar Entropisi kJ/kg-K |
|----------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 10 | 0,01 | 999,650 | 0,009 | 42,02 | 2519,20 | 0,1511 | 8,8998 |
| 20 | 0,02 | 998,160 | 0,017 | 83,91 | 2537,40 | 0,2965 | 8,6660 |
| 30 | 0,04 | 995,610 | 0,030 | 125,73 | 2555,50 | 0,4368 | 8,4520 |
| 40 | 0,07 | 992,180 | 0,051 | 167,53 | 2573,50 | 0,5724 | 8,2555 |
| 50 | 0,12 | 988,000 | 0,083 | 209,34 | 2591,30 | 0,7038 | 8,0748 |
| 60 | 0,20 | 983,160 | 0,130 | 251,18 | 2608,80 | 0,8313 | 7,9081 |
| 70 | 0,31 | 977,730 | 0,198 | 293,07 | 2626,10 | 0,9551 | 7,7540 |
| 80 | 0,47 | 971,770 | 0,294 | 335,01 | 2643,00 | 1,0756 | 7,6111 |
| 90 | 0,70 | 965,300 | 0,424 | 377,04 | 2659,50 | 1,1929 | 7,4781 |
| 99,61 | 1,00 | 958,630 | 0,590 | 417,50 | 2674,90 | 1,3028 | 7,3588 |
| 100 | 1,01 | 958,350 | 0,598 | 419,17 | 2675,60 | 1,3072 | 7,3541 |
| 110 | 1,43 | 950,950 | 0,827 | 461,42 | 2691,10 | 1,4188 | 7,2381 |
| 120 | 1,99 | 943,110 | 1,122 | 503,81 | 2705,90 | 1,5279 | 7,1291 |
| 130 | 2,70 | 934,830 | 1,497 | 546,38 | 2720,10 | 1,6346 | 7,0264 |
| 140 | 3,62 | 926,130 | 1,967 | 589,16 | 2733,40 | 1,7392 | 6,9293 |
| 150 | 4,76 | 917,010 | 2,548 | 632,18 | 2745,90 | 1,8418 | 6,8371 |
| 160 | 6,18 | 907,450 | 3,260 | 675,47 | 2757,40 | 1,9426 | 6,7491 |
| 170 | 7,92 | 897,450 | 4,122 | 719,08 | 2767,90 | 2,0417 | 6,6650 |
| 180 | 10,03 | 887,000 | 5,159 | 763,05 | 2777,20 | 2,1392 | 6,5840 |
| 190 | 12,55 | 876,080 | 6,395 | 807,43 | 2785,30 | 2,2355 | 6,5059 |
| 200 | 15,55 | 864,660 | 7,861 | 852,27 | 2792,00 | 2,3305 | 6,4302 |
| 210 | 19,08 | 852,720 | 9,589 | 897,63 | 2797,30 | 2,4245 | 6,3563 |
| 220 | 23,20 | 840,220 | 11,615 | 943,58 | 2800,90 | 2,5177 | 6,2840 |
| 230 | 27,97 | 827,120 | 13,985 | 990,19 | 2802,90 | 2,6101 | 6,2128 |
| 240 | 33,47 | 813,370 | 16,749 | 1037,60 | 2803,00 | 2,7020 | 6,1423 |
| 250 | 39,76 | 798,890 | 19,967 | 1085,80 | 2800,90 | 2,7935 | 6,0721 |
| 260 | 46,92 | 783,630 | 23,712 | 1135,00 | 2796,60 | 2,8849 | 6,0016 |
| 270 | 55,03 | 767,460 | 28,073 | 1185,30 | 2789,70 | 2,9765 | 5,9304 |
| 280 | 64,17 | 750,280 | 33,165 | 1236,90 | 2779,90 | 3,0685 | 5,8579 |
| 290 | 74,42 | 731,910 | 39,132 | 1290,00 | 2766,70 | 3,1612 | 5,7834 |
| 300 | 85,88 | 712,140 | 46,168 | 1345,00 | 2749,60 | 3,2552 | 5,7059 |
| 310 | 98,65 | 690,670 | 54,541 | 1402,20 | 2727,90 | 3,3510 | 5,6244 |
| 311 | 100,00 | 688,420 | 55,463 | 1408,10 | 2725,50 | 3,3606 | 5,6160 |

B.3. Kızgın Buhar Özellikleri (Basınca Bağlı)

| Sıcaklık | Mutlak Basınç | Yoğunluk | Entalpi | Entropi |
|----------|---------------|-------------------|---------|---------|
| °C | bar | kg/m ³ | kJ/kg | kJ/kg-K |
| 120 | 1,0 | 0,558 | 2716,60 | 7,4678 |
| 140 | 1,0 | 0,529 | 2756,70 | 7,5672 |
| 160 | 1,0 | 0,504 | 2796,40 | 7,6610 |
| 180 | 1,0 | 0,481 | 2836,00 | 7,7503 |
| 200 | 1,0 | 0,460 | 2875,50 | 7,8356 |
| 140 | 3,0 | 1,621 | 2739,40 | 7,0269 |
| 160 | 3,0 | 1,537 | 2782,60 | 7,1291 |
| 180 | 3,0 | 1,462 | 2824,60 | 7,2239 |
| 200 | 3,0 | 1,396 | 2865,90 | 7,3131 |
| 220 | 3,0 | 1,336 | 2906,80 | 7,3978 |
| 180 | 7,0 | 3,512 | 2799,40 | 6,7893 |
| 200 | 7,0 | 3,333 | 2845,30 | 6,8884 |
| 220 | 7,0 | 3,177 | 2889,50 | 6,9799 |
| 240 | 7,0 | 3,037 | 2932,70 | 7,0658 |
| 260 | 7,0 | 2,912 | 2975,20 | 7,1472 |
| 200 | 10,0 | 4,854 | 2828,30 | 6,6955 |
| 220 | 10,0 | 4,609 | 2875,50 | 6,7934 |
| 240 | 10,0 | 4,394 | 2920,90 | 6,8836 |
| 260 | 10,0 | 4,204 | 2965,10 | 6,9681 |
| 280 | 10,0 | 4,032 | 3008,60 | 7,0482 |
| 220 | 15,0 | 7,110 | 2850,20 | 6,5659 |
| 240 | 15,0 | 6,743 | 2900,00 | 6,6649 |
| 260 | 15,0 | 6,425 | 2947,40 | 6,7555 |
| 280 | 15,0 | 6,144 | 2993,30 | 6,8400 |
| 300 | 15,0 | 5,893 | 3038,20 | 6,9198 |
| 220 | 20,0 | 9,787 | 2821,60 | 6,3867 |
| 240 | 20,0 | 9,217 | 2877,20 | 6,4973 |
| 260 | 20,0 | 8,740 | 2928,50 | 6,5952 |
| 280 | 20,0 | 8,330 | 2977,10 | 6,6849 |
| 300 | 20,0 | 7,968 | 3024,20 | 6,7684 |
| 250 | 25,0 | 11,487 | 2880,90 | 6,4107 |
| 275 | 25,0 | 10,732 | 2947,40 | 6,5350 |
| 300 | 25,0 | 10,107 | 3009,60 | 6,6459 |
| 325 | 25,0 | 9,574 | 3069,10 | 6,7476 |
| 350 | 25,0 | 9,109 | 3127,00 | 6,8424 |
| 375 | 25,0 | 8,696 | 3183,90 | 6,9319 |
| 400 | 25,0 | 8,325 | 3240,10 | 7,0170 |
| 275 | 40,0 | 18,313 | 2887,30 | 6,2312 |
| 300 | 40,0 | 16,987 | 2961,70 | 6,3639 |
| 325 | 40,0 | 15,928 | 3029,50 | 6,4797 |
| 350 | 40,0 | 15,044 | 3093,30 | 6,5843 |

| Sıcaklık | Mutlak Basınç | Yoğunluk | Entalpi | Entropi |
|----------|---------------|-------------------|---------|---------|
| °C | bar | kg/m ³ | kJ/kg | kJ/kg-K |
| 375 | 40,0 | 14,284 | 3154,70 | 6,6809 |
| 400 | 40,0 | 13,618 | 3214,50 | 6,7714 |
| 425 | 40,0 | 13,026 | 3273,20 | 6,8570 |
| 300 | 60,0 | 27,632 | 2885,50 | 6,0703 |
| 325 | 60,0 | 25,389 | 2969,50 | 6,2137 |
| 350 | 60,0 | 23,668 | 3043,90 | 6,3357 |
| 375 | 60,0 | 22,269 | 3112,80 | 6,4441 |
| 400 | 60,0 | 21,088 | 3178,20 | 6,5432 |
| 425 | 60,0 | 20,068 | 3241,40 | 6,6352 |
| 450 | 60,0 | 19,170 | 3302,90 | 6,7219 |
| 300 | 80,0 | 41,188 | 2786,50 | 5,7937 |
| 325 | 80,0 | 36,488 | 2898,40 | 5,9851 |
| 350 | 80,0 | 33,361 | 2988,10 | 6,1321 |
| 375 | 80,0 | 31,007 | 3066,90 | 6,2561 |
| 400 | 80,0 | 29,117 | 3139,40 | 6,3658 |
| 425 | 80,0 | 27,538 | 3207,70 | 6,4655 |
| 450 | 80,0 | 26,182 | 3273,30 | 6,5579 |
| 325 | 100,0 | 50,308 | 2810,30 | 5,7596 |
| 350 | 100,0 | 44,564 | 2924,00 | 5,9459 |
| 375 | 100,0 | 40,719 | 3016,30 | 6,0911 |
| 400 | 100,0 | 37,827 | 3097,40 | 6,2141 |
| 425 | 100,0 | 35,509 | 3172,00 | 6,3229 |
| 450 | 100,0 | 33,578 | 3242,30 | 6,4219 |
| 475 | 100,0 | 31,923 | 3309,70 | 6,5135 |

B.4. Aşırı Soğutulmuş Sıvı Özellikleri (Basınca Bağlı)

| Sıcaklık | Mutlak Basınç | Yoğunluk | Entalpi | Entropi |
|----------|---------------|-------------------|---------|---------|
| °C | bar | kg/m ³ | kJ/kg | kJ/kg-K |
| 90 | 1,01 | 965,310 | 377,06 | 1,1928 |
| 65 | 1,01 | 980,550 | 272,18 | 0,8936 |
| 40 | 1,01 | 992,220 | 167,62 | 0,5724 |
| 10 | 1,01 | 999,700 | 42,119 | 0,1511 |
| 90 | 3,0 | 965,400 | 377,22 | 1,1927 |
| 65 | 3,0 | 980,640 | 272,34 | 0,8935 |
| 90 | 7,0 | 965,580 | 377,53 | 1,1924 |
| 65 | 7,0 | 980,810 | 272,68 | 0,8933 |
| 90 | 10,0 | 965,720 | 377,76 | 1,1922 |
| 65 | 10,0 | 980,950 | 272,92 | 0,8931 |
| 90 | 15,0 | 965,950 | 378,15 | 1,1918 |
| 65 | 15,0 | 981,160 | 273,34 | 0,8928 |
| 90 | 20,0 | 966,180 | 378,53 | 1,1915 |
| 65 | 20,0 | 981,380 | 273,75 | 0,8925 |
| 90 | 25,0 | 966,400 | 378,92 | 1,1911 |
| 65 | 25,0 | 981,600 | 274,17 | 0,8923 |
| 90 | 40,0 | 967,090 | 380,08 | 1,1900 |
| 65 | 40,0 | 982,260 | 275,41 | 0,8914 |
| 90 | 60,0 | 967,990 | 381,63 | 1,1886 |
| 65 | 60,0 | 983,120 | 277,07 | 0,8903 |
| 90 | 80,0 | 968,890 | 383,18 | 1,1872 |
| 65 | 80,0 | 983,990 | 278,72 | 0,8892 |
| 90 | 100,0 | 969,780 | 384,73 | 1,1858 |
| 65 | 100,0 | 984,850 | 280,38 | 0,8881 |

EK

C

Baca Kayıpları Tablosu

(Greg Harrell, Ph.D., P.E., EMSCAS Tarafından Geliştirilen Yanma Modeline Göre)

C.1. Yakıt Kompozisyonu

| Yakıt bileşimi ve özellikler | Kömür (bitümlü) Su - 4%; Kül - 7% | | Kömür (bitümlü) Su - 5%; Kül - 35% | | Kömür (bitümlü) Su - 10%; Kül - 15% | | Yaş odun | | Doğal gaz | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mol kesri [lbmol/lbmol _{fuel}] | Kütle kesri [lbm/lbm _{fuel}] | Mol kesri [lbmol/lbmol _{fuel}] | Kütle kesri [lbm/lbm _{fuel}] | Mol kesri [lbmol/lbmol _{fuel}] | Kütle kesri [lbm/lbm _{fuel}] | Mol kesri [lbmol/lbmol _{fuel}] | Kütle kesri [lbm/lbm _{fuel}] | Mol kesri [lbmol/lbmol _{fuel}] | Kütle kesri [lbm/lbm _{fuel}] |
| C | 0.6709 | 0.7500 | 0.4942 | 0.4400 | 0.6539 | 0.6300 | 0.1234 | 0.0500 | 0.0000 | 0.0000 |
| H ₂ | 0.2662 | 0.0500 | 0.3677 | 0.0550 | 0.2224 | 0.0360 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| CH ₄ | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| N ₂ | 0.0057 | 0.0150 | 0.0144 | 0.0300 | 0.0080 | 0.0180 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0110 | 0.0183 |
| CO | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| C ₂ H ₄ (Etilen) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| C ₂ H ₆ (Etan) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0340 | 0.0607 |
| C ₃ H ₈ (Propan) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0060 | 0.0157 |
| O ₂ | 0.0225 | 0.0670 | 0.0295 | 0.0700 | 0.0210 | 0.0540 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| S | 0.0033 | 0.0100 | 0.0021 | 0.0050 | 0.0035 | 0.0090 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 |
| H ₂ O (İçsel) | 0.0226 | 0.0380 | 0.0374 | 0.0500 | 0.0691 | 0.1000 | 0.7889 | 0.4800 | 0.0000 | 0.0000 |
| H ₂ O (Dışsal) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| CO ₂ | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| C ₆ H ₁₀ O ₅ (Selüloz) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0839 | 0.4596 | 0.0000 | 0.0000 |
| Kül (toplam) | 0.0087 | 0.0700 | 0.0546 | 0.3500 | 0.0221 | 0.1530 | 0.0034 | 0.0100 | 0.0000 | 0.0000 |
| Kül bileşenleri | | | | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 0.0015 | 0.0147 | 0.0097 | 0.0735 | 0.0039 | 0.0321 | 0.0006 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0000 |
| SiO ₂ | 0.0055 | 0.0308 | 0.0345 | 0.1540 | 0.0140 | 0.0673 | 0.0022 | 0.0044 | 0.0000 | 0.0000 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.0016 | 0.0245 | 0.0103 | 0.1225 | 0.0042 | 0.0536 | 0.0006 | 0.0035 | 0.0000 | 0.0000 |
| Toplam | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| Yakıt moleküler ağırlığı | kgm _{fuel} /kgmol _{fuel} | 10.7340 | 13.4790 | 12.4549 | 29.6086 | 16.8182 | | | | |
| Yakıt üst ısı değeri | kJ/kg | 31.788 | 22.282 | 25.857 | 9.666 | 54.205 | | | | |
| Yakıt alt ısı değeri | kJ/kg | 30.603 | 20.958 | 24.826 | 7.869 | 48.906 | | | | |

“Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi” kapsamında geliştirilen bu kitap, UNDP tarafından bastırılmıştır.



SANAYİDE
ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI PROJESİ