

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİ ENDÜSTRİSİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS

Mustafa Deniz KARAKURT

Anabilim Dalı : Makina Eğitimi

Danışman: Prof.Dr. İbrahim KILIÇASLAN

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİ ENDÜSTRİSİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS

Mustafa Deniz KARAKURT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Aralık 2006

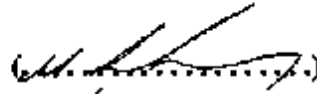
Tez Danışmanı

Prof.Dr. İbrahim KILIÇASLAN

(.....)

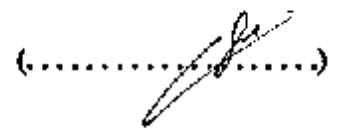

Üye

Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI

(.....)


Üye

Yrd.Doç.Dr. Cenk SAYIN

(.....)


KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Enerji yaşamımızın vazgeçilmez kaynağıdır. Günümüzde enerji ihtiyacı gün geçtikçe arttığı aşikardır. Ülkemizde her yıl 20 milyar dolar dışarıya enerji bedeli ödenmektedir. Bugün ülkeler için en kolay erişebilir enerji kaynağı enerji tasarrufudur. Bunun yanı sıra enerji, mümkün olan kaynaklardan temin edilmeli, kaynaklar çeşitlendirilmeli, verimlilik artırılmalı, ulaşımda metro ve demiryollarına, rüzgar ve özellikle güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önem verilmelidir. Ayrıca, mevcut sistemlerde iyileştirmeye gidilmelidir. Bu amaçla Lifli Rulo Deri Sanayi ve Ticaret A.Ş. tesislerinde enerji kullanımı açısından incelenip, olabilecek tasarruf imkanlarının tespiti yapılmıştır.

Buhar kazanlarının enerji ekonomisi konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli Lifli Rulo Deri Sanayi fabrika yöneticilerine, fabrika personeline, proje ve tez aşamasında fikirleri ile beni yönlendiren ve teşvik eden danışman hocam Prof.Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a, katkılarını esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Mustafa ÇANAKÇI'ya, tezime desteklerinden dolayı değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Cenk SAYIN'a, katkılarından dolayı değerli arkadaşım Arş.Gör. Ali TÜRKCAN'a, hayatım boyunca beni destekleyen ve bugünlere getiren babam Mehmet KARAKURT ile annem Nevin KARAKURT'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER..... | ii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | v |
| TABLolar DİZİNİ..... | vi |
| SİMGELER..... | vii |
| ÖZET | viii |
| İNGİLİZCE ÖZET | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Literatür Araştırması..... | 6 |
| 2. BUHAR KAZANLARINDA BESİ SUYUNUN ÖNEMİ | 8 |
| 2.1. Kazan Besi Suyundaki Yabancı Maddeler..... | 10 |
| 2.1.1. Çözünemeyen gazlar | 10 |
| 2.1.2. Süspansiyon halindeki katılar | 10 |
| 2.1.3. Çözünemeyen organik maddeler | 10 |
| 2.1.4. Yaşayan organizmalar | 11 |
| 2.1.5. Çözünemeyen tuzlar..... | 11 |
| 2.2. Besleme Suyu Hazırlama Yöntemleri..... | 12 |
| 2.2.1. Dış besi suyu hazırlama yöntemleri..... | 13 |
| 2.2.1.1. Yumuşatma (İyon-değiştirme) yöntemi | 13 |
| 2.2.1.2. Degazör | 14 |
| 2.2.2. İç besi suyu hazırlama yöntemleri | 16 |
| 2.2.2.1. Kireç sodası yöntemi..... | 16 |
| 2.2.2.2. Fosfat ıslah yöntemi | 16 |
| 2.2.2.3. Organik maddeler..... | 17 |
| 2.2.2.4. Kimyasal maddelerle besleme | 18 |
| 2.3. Korozyon..... | 20 |
| 2.4. Köpük Engelleyici Maddeler..... | 21 |
| 2.5. Kazan Dairesinde Kullanılan Kimyasal Terimler..... | 22 |
| 3. BUHAR KAZANLARI | 24 |
| 3.1. Buharın Önemi | 24 |
| 3.2. Buhar Kazanlarının Tanımı ve Sınıflandırılması..... | 24 |
| 3.2.1. Duman borulu buhar kazanları | 25 |
| 3.2.2. Su borulu buhar kazanları..... | 28 |
| 4. KAZAN VERİMİ | 31 |
| 4.1. Yanma Prensipleri..... | 31 |
| 4.2. Kazan Verimi..... | 34 |
| 4.3. Kazan Verimine Etki Eden Faktörler..... | 36 |
| 4.3.1. Eksik yanma | 36 |
| 4.3.2. Hava fazlalık oranı..... | 37 |
| 4.3.3. Yakıcılar (Brülörler) | 37 |
| 4.3.4. Yanma oranı | 38 |
| 4.3.5. Baca gazındaki su buharı nedeniyle olan ısı kaybı..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 4.3.6. Baca gazı sıcaklığı | 39 |
| 4.3.7. Besleme suyu sıcaklığı | 41 |
| 4.3.8. Kondens geri kazanımı | 42 |
| 4.3.9. Yanma havası sıcaklığı | 43 |
| 4.3.10. Isı transfer yüzeylerinin kirlenme | 43 |
| 4.3.11. Kazan besleme suyu ve seviyesinin kontrolü | 44 |
| 4.3.12. Blöf ve kazan suyu kalitesi | 47 |
| 4.3.12.1. Sürekli yüzey blöfü | 48 |
| 4.3.12.2. Kesikli dip blöfü | 49 |
| 4.3.12.3. Blöf kontrolü | 49 |
| 4.3.12.4. Blöften ısı geri kazanımı | 50 |
| 4.3.13. Buhar basıncının düşürülmesi | 50 |
| 4.3.14. Kazan dış yüzeyinden ısı kayıpları | 51 |
| 4.3.15. Yakıtın etkisi | 52 |
| 5. BRÜLÖRLER | 54 |
| 5.1. Gaz Yakıtlı Brülörleri | 55 |
| 5.1.1. Ön karışım brülörleri | 55 |
| 5.1.2. Nozul karışım brülörleri | 55 |
| 5.1.3. Atmosferik basınçlı brülörler | 56 |
| 5.2. Sıvı Yakıt Brülörleri | 56 |
| 5.2.1. Buhar atomizasyonlu brülörler | 57 |
| 5.2.2. Hava atomizasyonlu brülörler | 58 |
| 5.2.3. Mekanik atomizasyonlu brülörler | 58 |
| 5.2.4. Nozul basınçlı brülörler | 59 |
| 5.2.5. Rotatif dönel kafalı brülörler | 59 |
| 5.3. Brülör Kontrol Sistemleri | 60 |
| 5.3.1. Yakıt akışının manuel kontrolü | 60 |
| 5.3.2. Hava-yakıt akışının kontrol sistemi | 60 |
| 5.3.3. Aç-kapa (on-off) kontrol sistemleri | 61 |
| 5.3.4. Modülasyon kontrolleri | 63 |
| 5.3.4.1. Tek nokta konumlu kontrol | 63 |
| 5.3.4.2. Basınca bağlı yakıt-hava karışım kontrolü | 63 |
| 5.3.4.3. Paralel konumlandırılmalı kontrol | 64 |
| 5.3.5. Ölçmeli kontrol sistemleri | 65 |
| 5.3.5.1. Seri ölçmeli yakıt-hava kontrolü | 65 |
| 5.3.5.2. Paralel ölçmeli yakıt-hava kontrolü | 66 |
| 5.3.5.3. Karşıdan sınırlanmış ölçmeli kontrol | 67 |
| 5.3.6. Oksijen trim sistemleri | 68 |
| 5.3.7. Oksijen/karbonmonoksit trim kontrol sistemleri | 70 |
| 6. MEVCUT SİSTEMDE ENERJİ TASARRUFU POTANSİYELİ | 72 |
| 6.1. Deri Sektöründe Başlıca Isı Tasarruf Kaynakları | 72 |
| 6.1.1. Buhar üretimi | 73 |
| 6.1.2. Yanmanın verimli olması ve duman gazlarının verimli kullanılması | 73 |
| 6.1.3. Reküperatör kullanımı ve yapılacak tasarruf | 74 |
| 6.1.4. Yanma havasının ısıtılması ile yapılacak tasarruf | 75 |
| 6.1.5. Kapalı kondens kullanımı ve elde edilecek tasarruf | 76 |
| 6.1.6. Degazör kullanımı | 78 |
| 6.1.7. Blöf ve yapılması gereken blöf miktarının hesabı | 78 |
| 6.1.8. Flaş buharı ile enerji geri kazanımı ve yapılacak tasarruf | 81 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.9. Blöf ün atıl ısısından yararlanarak yapılacak tasarruf | .83 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER | .84 |
| KAYNAKLAR..... | .86 |
| EKLER..... | .89 |
| ÖZGEÇMİŞ | .91 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Su yumuşatma cihazı..... | 12 |
| Şekil 2.2. Degazör (Gaz alıcı) | 15 |
| Şekil 2.3. Temel kazan sistem şeması | 19 |
| Şekil 2.4. Kazan borularında meydana gelen korozyon | 20 |
| Şekil 2.5. Kazan borularında meydana gelen korozyonun yakından görünümü..... | 20 |
| Şekil 2.6. Kazan borularının bitim noktasında oluşan korozyon ve çatlaklar..... | 21 |
| Şekil 3.1. Duman borulu buhar kazanının gaz akış örnekleri | 26 |
| Şekil 3.2. Deri fabrikasında kullanılan skoç tipi buhar kazanı | 27 |
| Şekil 3.3. Çeşitli sektörlerde kullanılan tam donanımlı skoç tipi buhar kazanı..... | 27 |
| Şekil 3.4. Su borulu kazanda genel çevrim..... | 28 |
| Şekil 3.5. Su borulu kazanların boru konfigürasyonları | 29 |
| Şekil 4.1. Fazla hava ile CO , O ₂ ve CO arasındaki ilişki..... | 32 |
| Şekil 4.2. Kazan kapasitesi ve verimi arasındaki ilişki | 38 |
| Şekil 4.3. Baca sıcaklığı ile kazan verimi arasındaki ilişki..... | 40 |
| Şekil 4.4. Besleme suyunun ön ısıtılması ile kazan verimi arasındaki ilişki | 41 |
| Şekil 4.5. Yoğuşma sıcaklığı ve kazan yakıtındaki tasarruf arasındaki ilişki..... | 42 |
| Şekil 4.6. Yanma havasının ön ısıtılmasıyla verim arasındaki ilişki..... | 43 |
| Şekil 4.7. Verim kaybı ile baca sıcaklığı arasındaki ilişki | 44 |
| Şekil 4.8. İletkenlik duyargaları | 45 |
| Şekil 4.9. On/off besi suyu sistemi | 45 |
| Şekil 4.10. Kapasitans duyargaları | 46 |
| Şekil 4.11. Oransal besi suyu sistemi | 46 |
| Şekil 4.12. Blöf sistemi..... | 49 |
| Şekil 4.13. Termal kamera ile çekilen kazan üst dramı | 51 |
| Şekil 4.14. Termal kamera ile çekilen kazan alt kolektörü..... | 52 |
| Şekil 5.1. Hava atomizasyonlu brülör..... | 58 |
| Şekil 5.2. Rotatif dönel kafalı brülör | 59 |
| Şekil 5.3. Elle kontrol sistemi | 61 |
| Şekil 5.4. Tek ateşlemeli aç-kapa kontrol sistemi | 62 |
| Şekil 5.5. Çoklu ateşlemeli aç-kapa kontrol sistemi..... | 62 |
| Şekil 5.6. Basınca bağlı yakıt-hava karışım kontrolü | 64 |
| Şekil 5.7. Seri ölçmeli yakıt-hava kontrol sistemi..... | 65 |
| Şekil 5.8. Paralel ölçmeli yakıt-hava kontrol sistemi | 67 |
| Şekil 5.9. Karşıdan sınırlanmış ölçmeli kontrol sistemi | 68 |
| Şekil 5.10. Oksijen trim kontrol sistemi | 69 |
| Şekil 6.1. Buhar kazanında reküparatör kullanımı | 74 |
| Şekil 6.2. Kazan dairesinde kapalı kondens kullanımı | 77 |
| Şekil 6.3. Kazan dairesinde degazör kullanımı | 78 |
| Şekil 6.4. Kazan flaş sistemi | 79 |
| Şekil 6.5. Isı eşanjörlü ısı geri kazanım sistemi | 80 |

TABLULAR DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Rezervi –2004..... | 1 |
| Tablo 1.2. Birincil enerji kaynakları üretimi..... | 2 |
| Tablo 1.3. Genel enerji tüketimi..... | 3 |
| Tablo 1.4. Genel ve Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı | 3 |
| Tablo 2.1. Suda bulunan yabancı maddelerin oluşturduğu problemler | 12 |
| Tablo 3.1. Shell tipi duman borulu buhar kazanları ile su borulu buhar kazanlarının karşılaştırılması | 30 |
| Tablo 4.1. Çeşitli yakıtlar için stokiyometrik hava ihtiyacı..... | 31 |
| Tablo 6.1. Hava debisinin sıcaklığa göre değişimi..... | 76 |
| Tablo 7.1. Önemli enerji tasarrufu yöntemleri ile yakıt tasarrufu..... | 84 |

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

| | |
|-----------------|--|
| F | : Besleme suyunun TDS değeri, (ppm) |
| B | : Kazan için istenen üst sınır TDS değeri, (ppm) |
| S | : Kazan kapasitesi, (kg/saat) |
| BM | : Kazandan blöf edilecek su miktarı, (kg/saat) |
| η | : Verim, (%) |
| C_p | : Özgül ısı, (kcal/kg °C) |
| m | : Kütleli debi, (kg/s) |
| ρ | : Yoğunluk, (kg/m ³) |
| $T_{\check{c}}$ | : Çıkış sıcaklığı (°C) |
| T_g | : Giriş sıcaklığı (°C) |
| ppm | : Milyondaki partikül sayısı |
| ith | : İthalat |
| kö | : Kömür |
| tep | : Toplam petrol eşdeğeri |
| kep | : Kişi başı petrol eşdeğeri |
| el | : Elektrik |
| pH | : Suyun asidik ve bazik karakterinin ölçütü |

Alt indisler

| | |
|------|-------------|
| ha | : Hayvansal |
| bi | : Bitkisel |
| art | : Artık |
| v.s. | : Ve saire |
| kö | : Kömür |
| ith | : İthalat |
| \$ | : Dolar |

Kısaltmalar

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| PTS | : Basınç sıcaklık anahtarı |
| CO | : Karbonmonoksit |
| TDS | : Toplam çözünmüş madde miktarı |
| NO _x | : Azot oksit |
| NO ₂ | : Azot dioksit |
| O ₂ | : Oksijen |
| A.Ş. | : Anonim şirket |
| HFK | : Hava fazlalık katsayısı |
| SO ₂ | : Kükürt dioksit |
| μ S | : Mikrosimens |

DERİ ENDÜSTRİSİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

Mustafa Deniz KARAKURT

Anahtar Kelimeler: Enerji, Proses, Enerji tasarrufu, Enerji tüketimi.

Özet: Ülkemizde tüketilen enerjinin sektörel dağılımına bakıldığında ilk sırayı sanayi sektörü aldığı görülmektedir. Bu sektörün ısı enerji tüketimi, sektörün tüm enerji tüketiminin yaklaşık 2/5'ini oluşturmaktadır. 200 °C'nin altındaki ısı enerji ihtiyacı, sektörel enerji tüketiminin %20-25'ini oluşturmaktadır. Bu bakımdan ısı proseslerde enerji verimliliğinin artırılması ve enerji tasarrufu ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada deri endüstrisi gibi yüksek miktarda proses buharına ihtiyaç duyulan tesislerde buhar sistemi incelenmiş ve yapılacak çalışmalarla oluşacak enerji tasarrufu üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada bir deri fabrikasındaki gerçek değerler ele alınarak, konvansiyonel enerji tasarrufu yöntemleri uygulayarak yapılabilecek enerji tasarrufu vurgulanıp, mevcut sistemle mukayese edilmiştir.

ENERGY SAVING APPLICATIONS IN LEATHER INDUSTRY

Mustafa Deniz KARAKURT

Keywords: Energy, Process, Energy Saving, Energy Consumption.

Abstract: The industry sector is the biggest consumer, when we look at our country's energy consumption distribution. The thermal energy consumption of this sector is about 2/5 of the whole sector consumption. The demand of thermal energy below 200 °C, is 20-25% of the sector's energy consumption. Due to this fact, energy saving and increased energy efficiency are very important considerations in thermal processes.

This study was carried on leather industry where large amounts of steam needed for the processes and the steam systems are analysed to see the possibilities of energy savings. The study was done by taking real consumption figures of a leather factory and comparison were done by applying conventional energy saving applications in order to quantify the difference between the current situation and the potential savings to be achieved.

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı bir şekilde geliştiği günümüz dünyasında, enerji hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Ancak, enerji politikalarında yapılan yanlışlar nedeniyle doğal enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bunun sonucunda çevre kirliliği ile ekolojik denge bozulmaktadır. Ayrıca, enerji üretiminin yüksek maliyeti ile birlikte bu sorunlar enerji tasarrufu konusunda bizi daha duyarlı olmaya yöneltmektedir.

Türkiye enerji kaynakları açısından zengin sayılamayacak bir ülkedir. Toplam kömür rezervi ile jeotermal ve hidrolik enerji potansiyeli toplamı, bu alanda dünya kaynaklarının % 1'ine karşılık gelmektedir. Petrol ve doğal gaz rezervleri ise son derece kısıtlıdır [1].

Tablo 1.1: Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Rezervi –2004 [1].

| Kaynaklar | | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam |
|--------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| Taşkömürü | Milyon Ton | 550(*) | 425 | 368 | 1343 |
| Linyit | Milyon Ton | | | | |
| Elbistan | | 3357 | - | - | 3357 |
| Diğer | | 3982 | 626 | 410 | 5018 |
| Toplam | | 7339 | 626 | 410 | 8375 |
| Asfaltit | Milyon Ton | 43 | 29 | 7 | 79 |
| Bitümler | Milyon Ton | 555 | 1086 | - | 1641 |
| Hidrolik | | | | | |
| | GWh/Yıl | 127381 | - | - | 127381 |
| | MW/Yıl | 36260 | - | - | 36260 |
| Ham Petrol | Milyon Ton | 42,8 | - | - | 42,8 |
| Doğal gaz | Milyar m ³ | 8 | - | - | 8 |
| Nükleer Kaynaklar | Ton | | | | |
| Tabii Uranyum | | 9129 | - | - | 9129 |
| Toryum | | 380000 | - | - | 380000 |
| Jeotermal) | MW/Yıl | | | | |
| Elektrik | | 98 | - | 412 | 510 |
| Termal | | 3348 | - | 28152 | 31500 |
| Güneş | MTEP | | | | |
| Elektrik* | | | | | |
| Isı | | | - | - | 87 |

(*)Teknik Potansiyel 24,9 mtep'dir.

Türkiye birincil enerji üretimi ağırlıklı olarak kömür ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (hidrolik, biyokütle, rüzgar, güneş ve jeotermal) sağlanmaktadır.

Tablo 1.2: Birincil enerji kaynakları üretimi [1].

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taşkömür ü | Bin Ton | 2259 | 2357 | 2245 | 2059 | 1946 |
| Linyit | Bin Ton | 60854 | 59572 | 51660 | 46168 | 43709 |
| Asfaltit | Bin Ton | 22 | 31 | 5 | 336 | 722 |
| Petrol | Bin Ton | 2749 | 2551 | 2420 | 2375 | 2276 |
| Doğal Gaz | (Milyon m ³) | 639 | 312 | 378 | 561 | 708 |
| Hidrolik | GWh | 30879 | 24010 | 33684 | 35330 | 46084 |
| Jeoterm.El. | GWh | 76 | 90 | 105 | 89 | 93 |
| Jeoterm.Isı | Bin Tep | 648 | 687 | 730 | 784 | 811 |
| Rüzgar | GWh | 33 | 62 | 48 | 61 | 58 |
| Güneş | Bin Tep | 262 | 287 | 318 | 350 | 375 |
| Odun | Bin Ton | 16938 | 16263 | 15614 | 14991 | 14393 |
| Ha.Bi.Art. | Bin Ton | 5981 | 5790 | 5609 | 5439 | 5278 |
| TOPLAM | Bin Tep | 26855 | 25173 | 24727 | 23783 | 24274 |
| Artış | % | - | -6,3 | -1,8 | -3,8 | 2,1 |

2004 yılında, Türkiye birincil enerji kaynakları üretimi 24,3 Mtep (Milyon Ton Petrol Eşdeğeri) olarak gerçekleşmiştir. Toplam kömür, birincil enerji kaynakları üretiminin % 43,2'sini, petrol %9,8'ini, doğal gaz %2,7'sini, hidrolik ve jeotermal elektrik %16,6'sını, diğer yenilenebilir kaynaklar %4,9'unu, ticari olmayan yakıtlar ise %22,8'ini oluşturmuştur [1].

Ülkemizde yenilenebilir enerji üretimi 2004 yılında 10,8 Mtep'e ulaşmış olup, bu miktar toplam birincil enerji arzının % 12,3'üne karşılık gelmektedir.[6] Yenilenebilir enerji üretimi, toplam kömür üretiminden sonra Türkiye'nin birincil enerji üretiminde ikinci sırayı almaktadır. Yenilenebilir enerji arzının yaklaşık üçte ikisini (5,5 Mtep) biyokütle oluşturmaktadır. Geri kalan kısmı da büyük çoğunluğu hidrolik olmak üzere diğer kaynaklardan sağlanmıştır.

Ülkemizde hemen her çeşit enerji kaynağı bulunmakla birlikte linyit kömürü ve hidrolik enerji hariç olmak üzere diğer enerji kaynakları ülke talebini karşılamaktan bir hayli uzaktır. Enerji talebinin karşılanması açısından, geçmiş yıllarda olduğu gibi, büyük oranda dışa bağımlı olan ülkede, 2004 yılında talebin yerli üretimle karşılanma oranı %28 olmuştur. Diğer bir deyişle 2004 yılında 67,8 Mtep olarak

gerçekleşen Türkiye toplam enerji ithalatı, toplam enerji arzının %72'sini oluşturmaktadır.

Tablo 1.3: Genel enerji tüketimi [1].

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|-----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taşkömürü | Bin Ton | 15393 | 11039 | 13756 | 17535 | 18904 |
| Linyit | Bin Ton | 64384 | 61010 | 52039 | 46051 | 44823 |
| Asfaltit | Bin Ton | 22 | 31 | 5 | 336 | 722 |
| Petrol | Bin Ton | 31072 | 29661 | 29776 | 30669 | 31729 |
| Doğal Gaz | Milyon m ³ | 15086 | 16339 | 17694 | 21374 | 22446 |
| Hidrolik | GWh | 30879 | 24010 | 33684 | 35330 | 46084 |
| Jeotermal EL. | GWh | 76 | 90 | 105 | 89 | 93 |
| Jeotermal Isı | Bin Tep | 648 | 687 | 730 | 784 | 811 |
| Rüzgar | GWh | 33 | 62 | 48 | 61 | 58 |
| Güneş | Bin Tep | 262 | 287 | 318 | 350 | 375 |
| Odun | Bin Ton | 16938 | 16263 | 15614 | 14991 | 14393 |
| Hay.Bit.Art. | Bin Ton | 5981 | 5790 | 5609 | 5439 | 5278 |
| EL.İthali | GWh | 3354 | 4147 | 3153 | 570 | -681 |
| İkincil Kö. İth. | Bin Ton | 2184 | 1949 | 2310 | 2259 | 2209 |
| TOPLAM | Bin Tep | 81251 | 75952 | 78711 | 83847 | 87818 |
| Artış | % | 5,0 | -6,5 | 3,6 | 6,5 | 4,6 |
| Kişi Başına Tüketim. | kep | 1205 | 1108 | 1130 | 1186 | 1229 |

Bugünkü istatistikler enerjinin büyük bölümünün sanayi ve konutlarda tüketildiğini göstermektedir. Tablo 1.4'de görüldüğü üzere enerji tüketiminde en fazla ortalama artış hızı sanayi sektöründe gerçekleşmiş, en az artış konut ve hizmet sektöründe olmuştur.

Tablo 1.4: Genel ve Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Dağılımı (Bin Tep) [1].

| Sektörler | 2000 | | 2001 | | 2004 | |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Tüketim | Pay (%) | Tüketim | Pay (%) | Tüketim | Pay (%) |
| Sanayi | 23635 | 39 | 20547 | 37 | 28679 | 42 |
| Konut ve Hizmetler | 19860 | 33 | 17935 | 33 | 20940 | 30 |
| Ulaştırma | 12007 | 20 | 12000 | 22 | 13775 | 20 |
| Tarım | 3073 | 5 | 2964 | 5 | 3314 | 5 |
| Enerji Dışı | 1915 | 3 | 1638 | 3 | 2174 | 3 |
| NET | 60490 | 100 | 55083 | 100 | 68881 | 100 |
| Çevrim Sektörü | 20760 | 26 | 20869 | 27 | 18810 | 21 |
| TOPLAM | 81251 | 100 | 75952 | 100 | 87692 | 100 |

Türkiye’de sanayileşme, enerjinin yoğunlukla kullanıldığı yerde devam etmektedir. Demir-çelik sektörü sanayi içerisinde en fazla enerji tüketen sektör olup, bunu tekstil ve deri sanayi, kimya ve petrokimya ile çimento sanayi takip etmektedir.

Enerji, ülkelerin sosyal ve ekonomik yönden kalkınabilmesi için oldukça önemlidir. Artan nüfusu, teknolojik gelişmeler ve artan refahı ile yeni tüketim alışkanlıkları kazanan ülkemizin enerji talebi de hızla artmaktadır. Türkiye’nin karşılaştığı en önemli sorunlardan birisi, ekonomik kalkınmanın motorunu ateşleyecek enerjiyi sağlamaktır. Bu açıdan, ülkemizde enerjinin etkin kullanılması hem enerji açısından hem de birim ürün başına daha az enerji kullanılması sanayicinin aynı ürünü daha düşük maliyetle üreterek global rekabeti açısından önemlidir.

Bu çalışmada, Lifli Rulo Lev. San. A.Ş’nin Köseköy mevkiindeki fabrikası, enerji tasarrufu çalışması için ele alınmıştır. Bu çalışma esnasında fabrikanın tüm bölümleri detaylı bir şekilde dolaşarak enerjinin boşa harcandığı kaynaklar, kötü yalıtım, buhar, su, yakıt sızıntıları ve çalışmayan tüm ekipmanlar belirlendi.

Çalışma, fabrikanın enerji tüketimi açısından en fazla öneme sahip olan kazan dairesi üzerinde yoğunlaştı. Kazan dairesinde mevcut durum belirlenerek, baca gazı sıcaklığı ve debisi üniversiteden temin edilen cihazlarla ölçüldü. Diğer ölçümler (basınç, sıcaklık, yakıt debisi, besleme suyu sıcaklığı v.s.) kazan dairesinde mevcut bulunan cihazlardan alındı.

Yapılan inceleme ve ölçümlerden sonra enerji tasarrufu imkanları belirlendi. Kısımlara göre, uygun görülen projelerin genel karakteristiği, tasarruf edilecek enerji miktarı ve tasarrufun mali karşılığı çıkartıldı. Sonuç olarak fabrikanın mevcut hali ile çeşitli kısımlara önerilen projeler akış diyagramı halinde Ekler bölümünde (sayfa 94) sunularak şekil bazında mukayese edildi.

Çalışmaya altyapı için kazan dairesinde kullanılan veya kullanılması gereken sistemler hakkında Bölüm 2, 3, 4, 5’te teorik bilgiler verilmiştir. Bölüm 6’da ise mevcut sistemde olmayan ve bizim tarafımızdan önerilen sistemler verilmiştir.

Fabrikanın genel tanıtımı :

Fabrika, Kocaeli'nin Köseköy ilçesinde konuşlandırılmış olup, 1975 yılından bu yana faaliyet göstermektedir. Lifli Rulo Lev. San. A.Ş. 174 dönüm arazi üzerinde, 10.500 m² kapalı sahaya sahiptir. 5 adet salpa, 1 adet pres bant karton makinasına sahip olup, muhtelif cins ve kalınlıklarda (0.5 mm – 5,00 mm) ayakkabı taban astarı ve sanayi kartonu üretilmektedir. 40 - 45 ton/gün kapasiteli makinalarda üretilen ürünler;

1. 110 x 150 cm ebadında veya bobin halinde muhtelif kemerlik ve saraciye malzemesi,
2. 100 x 150 cm ebadında veya bobin halinde muhtelif ayakkabı taban astarı (0.6 mm - 2.5 mm),
3. 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mm kalınlıklarında ve 100 x 150 cm ebadında plakalar halinde ökçelik malzeme,
4. 100 x 150 ebadında makine fort ve bombelik özel malzeme,
5. 100 x 150 cm ebadında doğal veya deri finisajlı şiltelik özel malzeme,
6. 100 x 150 cm ebadında çelikli taban ve plastik manjeksiyonda kullanılabilen nitelikte özel tabanlık malzeme,
7. Ayakkabı sayısı ile Deri ve Tekstil konfeksiyon sanayi için model kartonu ve kaynak maske imalatına uygun karton ile ayakkabı sanayi için, fortçelik ve takviyelik kartondur.

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde kazanlarda enerji ekonomisi üzerine bir çok çalışma bulunmaktadır.

Çomaklı ve Yüksel deneysel çalışmalarında yılda 100000 kg fuel-oil ($H_u=42550$ kJ/kg) yakan bir kazanda ekserji analizi yapmış ve kazanda yanma sırasında oluşan enerji kayıplarını hesaplamışlardır. Hesaplamalar sonucunda hava fazlalık katsayısı artması ile verimde önemli ölçüde düşüşler görülmüştür. Kazan için ekserji ve enerji hesapları yapılmış ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Bu çalışmada ekserjinin ve enerjinin HFK ile olan değişimi üzerinde durulmuştur [2].

Pagliora çalışmasında su hazırlamanın kazan verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu vurgulamıştır. Kazana verilecek besi suyunun uygun su hazırlama sistemleri ile verimi arttıracığı ve maliyeti düşürmesi hakkında bilgi vermiştir. Yapılan bu çalışma literatür araştırmasıdır. Deneysel bir çalışma yapılmamıştır [3].

Yıldız ve Günerhan deneysel çalışmalarında katı yakıtlı kazan tasarımı yapmış, kazan ısı kapasite ve ısı verimlilik değerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel alt ısı değeri 28402 kJ/kg olan ithal kömür kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kazan ısı kapasitesi 46.51 kW ve kazan ısı verimi % 77.11 olarak bulunmuştur. Çalışma sadece katı yakıtla çalışan kazanlar üzerinde yapılmıştır [4].

Bilgin çalışmasında kazanların verimli işletilebilmesi için baca gazı analizlerinin incelenerek brülörlerde alınması gereken önlemler, kazanlarda iç soğumaya neden olan faktörler ile yakıt ve yakıcılardan kaynaklanan emisyonlar konusunda, somut baca gazı analiz örneklerinden yararlanılarak bilgi verilmiştir. Yapılan bu çalışma literatür araştırmasıdır. Kazan verimliliği ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmamıştır [5].

İlbaş ve Yılmaz deneysel çalışmalarında hava fazlalık katsayısının yanma verimi ve emisyonlarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İki farklı yakıt, üç farklı sıvı yakıt kazanında yakılmış ve duman kanalından değişik radyal uzaklıklarda kazan

yanma verimleri ve emisyon davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Hava fazlalık değeri arttıkça NO_x emisyonunun genellikle azaldığı, SO_2 emisyonunun fazla değişmediği görülmüş; ancak SO_2 emisyonunun yakıttaki kükürt miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Hava fazlalık değerinin arttıkça CO emisyonunun ve ısı veriminin azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada sadece sıvı yakıtlar üzerinde çalışma yapılmıştır [6].

Şahin, Karagöz, Yüksel ve Çomaklı çalışmalarında kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını incelemişlerdir. Baca gazında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarının belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmamıştır [7].

2. BUHAR KAZANLARINDA BESİ SUYUNUN ÖNEMİ

Su bileşiminde hidrojen ve oksijen bulunduran kararlı bir moleküldür. Su moleküllerinin çok iyi bir çözücü olmalarından dolayı doğada saf olarak bulunması çok zordur. Doğal su yağmur halinde düşerken, havadan oksijen, azot ve karbondioksit gazlarını ayrıca toz halindeki çeşitli maddeleri alır [8].

Doğadaki su kaynaklarını yer altı ve yüzey suları olarak iki başlık altında toplayabiliriz.

Yer altı sularında (artezyen) yerküre katmanında bulunan çeşitli maddeler bulunmaktadır. Yeraltı suları buldukları bölgenin jeolojik yapısına, yer altı katmanının durumuna ve kaynağın derinliğine bağlı olarak değişik nitelikler gösterirler.

Yüzey suları da (nehir, göl) aynı şekilde buldukları bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişik nitelikler gösterirler. Yer altı sularının yüzey sularına göre en büyük avantajları çevre kirliliğinden daha az etkilenmeleri ve bünyelerinde daha az miktarda, erimiş ve süspansiyon halinde bir çok katı madde bulundurmalarıdır [9].

Kazanların ve buhar sistemlerinin verimli çalışmasında suyun niteliği önemlidir. Suyun içinde, süspansiyon halinde veya çökelti içinde katı partiküller ve çözünemeyen gazlardan oluşan yabancı maddeler bulunmaktadır. Direkt olarak kazana verilmiş olan kaba su, kazanda bir takım arızalar meydana gelmesine sebebiyet verebilir. Ayrıca istenilen kazan verim değerleri kısa bir süre sonra geçerliliğini kaybeder.

Kazan ömrünü ve verimini istenilen değerlerde tutmak için buhar kazanına uygun besi suyu hazırlama sistemi tasarlanmalıdır.

Kazanda ham suyun kullanılmasıyla oluşan tortular, ısınan yüzeylerin üzerine birikir. Bu birikme sonucunda oluşacak ısı iletkenliğinin 1.15 ile 3.45 W/m°C arasında olduğu tahmin edilmektedir [10]. Bunun sonucu olarak metal doğru düzgün soğuyamaz ve metalde meydana gelen sıcaklık artışları yumuşamalara, bel vermeye ve basınç altında kırılma gibi tehlikeli sonuçlara sebebiyet verir. Sonuçta kaybedilen ısı veya yakıt, su borulu kazanlarda %2'lik kayba, duman borulu kazanlarda ise %5-6'lık kayba kadar çıkabilir [10].

Metal borular için en yüksek sıcaklık 480-540 °C iken karbon çeliğinden yapılan kazan borularında en yüksek sıcaklık 482-732 °C arasındadır [3].

Kazan besleme suyunda üç önemli faktör vardır.

1. Taşma
2. Birikintiler
3. Korozyon

Sulu çamur ve yumuşak tortuların oluşturduğu katı birikintileri kazan çalışma sıcaklığının altındadır. Bu birikintiler genelde sert suyun ısıtıldığı bütün yüzeylerde meydana gelmekle beraber, en yoğun olarak sıcaklık farkının en yüksek olduğu bölgelerde oluşur. Örneğin birikintiler kazan içindeki soğutma yüzeylerinde, besi suyu ısıtıcılarında ve ekonomizörlerde bulunur. Kazanda çamura belirli miktara kadar olanına izin verilir. Çamur kazanda yerleşirse günde birkaç kez bir vananın açılıp kapanmasıyla temizlenebilir. Buna blöf yapma işlemi denir. Blöf iki çeşittir: Birincisi yüzey blöfü, ikincisi dip blöftür. Eğer bu yolla kontrol yapılmazsa çamur, ısıtıcı yüzeylerin üzerine yapışabilir ve ısı akışı yavaşlatabilir. Bu durum kazanlarda boruların temizlenmesinde zorluk çıkaracaktır [9].

Karbondioksit ve oksijen gazları suda çözünemezler. Isı ile birlikte karbondioksit ayrıldığı zaman suyun içerisindeki bikarbonatlar ısınır ve ekonomizörde ve kazanda korozyona sebebiyet verebilir. Yoğuşmayla ortaya çıkarlar ve buhar ile birlikte sürüklenirler. Böylece korozyona neden olurlar. Korozyon, malzemenin kemirilmesini ifade ettiğinden, kazan ömrü ve emniyeti ile yakından ilgilidir ve

önlenmesi gerekmektedir. Sudaki organik maddeler su yüzünde köpük ve kabarmaların oluşumuna, çeşitli tuzlar cidarların üzerini kaplayarak kazan taşının ve kazan çamurunun ortaya çıkmasına neden olurlar [3].

Kazan besleme suyunun hazırlanmasındaki amaç, kazanda ve kazana yardımcı aygıtlarda yabancı maddelerin oluşumunu önlemektir. Bunun yanı sıra kazandaki çamur miktarını kontrol etmek, kazan suyundaki tuzlar ve buhardaki karbondioksit tarafından sebep olan korozyonu önlemek ve azaltmak amaçlanmaktadır.

2.1. Kazan Besi Suyundaki Yabancı Maddeler

Toprak içinden kaynak halinde çıkan veya yer yüzündeki nehirleri ve tatlı su göllerini teşkil eden doğal sular bir çok yabancı maddeyi içerebilir. Doğal sudaki yabancı maddeler aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Çözünemeyen gazlar

Suyun içerisinde karbondioksit ve oksijen gazları çözünemez. Çözünemeyen karbondioksit su molekülüyle birleşerek karbonik asit (H_2CO_3) oluşturur. Bu da pH'ın azalmasına ve korozyon oluşuma yardım eder. Oksijen atmosfer basıncında 14 ppm'e kadar çözülebilir. Çözünemeyen gazlarda hidrojen sülfid (H_2S) ve amonyak (NH_3) bulunur [9].

2.1.2. Süspansiyon halindeki katılar

Kum, çamur ve bitki çürükleri doğal suyun içerisinde değişik miktarlarda bulunabilmektedir.

2.1.3. Çözünemeyen organik maddeler

Bitkilerden ve proteinlerden veya topraktan çıkarılan karmaşık renkli maddeler oluşturmaktadır [11].

2.1.4. Yaşayan organizmalar

Suyun içerisinde yaşayan organizmalar bulunmaktadır. Bunlar doğal su bakterileri, toprak bakterileri ve su yosunlarıdır.

2.1.5. Çözilemeyen tuzlar

Bikarbonatlar, kloridler, kalsiyum sülfatlar ve nitratlar, değişik miktarlardaki magnezyum ve sodyum ile birlikte, silis ve bazen az miktarda demir, manganez ve alüminyum suyun içinde daima bulunur [11].

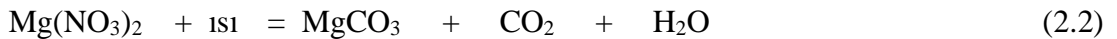
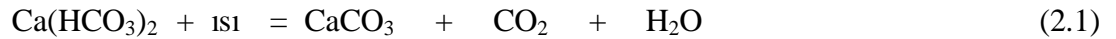
Kalsiyum ve magnezyum tuzları su içinde sertliğe sebebiyet verir. Kazanda ve soğutma yüzeylerinde doğal suyun oluşturduğu tortuların ve depozitlerin çoğu kalsiyum ve magnezyum bileşikleridir.

Kalsiyum ve magnezyum tuzları iki gruba ayrılabilir:

1. Bikarbonatlar $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, ısıyla kolaylıkla çöktürülür. Alkali sertliği (geçici sertlik) neden olmaktadır.

2. Sülfatlar, kloridler ve nitratlar CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ kaynamayla ayrışamazlar. Alkali sertliğini içermemesi neden olmaktadır.

Aşağıda ısı ile ayrıştırılan alkali içeren maddelerin eşitliği gösterilmektedir :



Burada besi suyunda bikarbonatların kazan şartlarında karbonata dönüşmesi gösterilmektedir. Oluşan karbonatlar kalsiyum iyonu ile bağ yaparak suda erimeyen kalsiyum karbonatı(CaCO_3); magnezyum iyonu ile bağ yaparak magnezyum karbonatı(MgCO_3) oluştururlar. Salıverilen CO_2 , buhar ile beraber yayılacaktır [11].

Suda yer alan yabancı maddelerin oluşturduğu problemler ve çözüm yolları aşağıda Tablo 2’de verilmiştir [12].

Tablo 2.1: Suda bulunan yabancı maddelerin oluşturduğu problemler [12].

| Kirlilik (Kimyasal formül) | Problemler | Genel Kimyasal Hazırlama Yöntemleri |
|--|--|--|
| Alkalilik (HCO_3^- , CO_3^{2-} ve CaCO_3) | Buhar içinde besi suyunda taşma. Buharda bulunan CO_2 neden olduğu karbonik asit (Asit saldırısı) | Nötürleştirici aminler, film aminleri, her ikisinin bileşimi ve kireç- sodası yöntemi. |
| Sertlik (Kalsiyum ve magnezyum tuzları, CaCO_3) | Isı dönüştürme ekipmanlarında kazan taşı oluşumu. | Kireç yumuşatma, fosfat, şelantlar ve polimerler. |
| Demir (Fe^{+2} ve Fe^{+3}) | Kazan ve su hatlarında tortu | Fosfat, şelantlar ve polimerler. |
| Oksijen (O_2) | Su hatları, kazan, geri dönüş hatlarında, ısı eşanjörlerinde korozyon oluşumu (oksijen saldırısı) | Film aminleri ve degazör |
| pH | pH 8.5’in altına indiği zaman korozyon meydana gelir. | Asit ilavesi ile pH düşürülebilir. Alkalilerin ilavesi ile artırılabilir. |
| Hidrojen Sülfür (H_2S) | Korozyon | Klorlama. |
| Silis (SiO_2) | Kazanlarda ve soğutma suyu sistemlerinde kazan taşı. | Kireç yumuşatma. |

2.2. Besleme Suyu Hazırlama Yöntemleri

Doğada bulunan suyun içeriğinde yabancı maddeler bulunmaktadır. Bu maddeleri üç ana başlık altında toplayabiliriz [11].

1. Askıda katı maddeler (kıl, kum , çamur vs.)
2. Çözünmemiş katı maddeler (magnezyum, silis , demir vs.)
3. Çözünmemiş gazlar (oksijen , karbondioksit vs.)



Şekil 2.1: Su yumuşatma cihazı

Bu yabancı maddeler kazanda verimli çalışmayı engeller. Kazanın hasara uğramasına ve programsız devre dışı kalmalara ve temizleme masrafları sonucu ekonomik işletme şartlarının kaybolmasına neden olurlar. Bu nedenle kazan işletmeciliğinde birikinti oluşumunu engellemek için suya iç ve dış ıslah yöntemleriyle müdahale edilir. İki birbirinden ayrılmamalıdır ve ikisi birlikte yapılmalıdır. Bu ıslah yöntemleri tüm sistemin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için çok önemlidir. İnceleme yapılan fabrikadaki su yumuşatma cihazı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

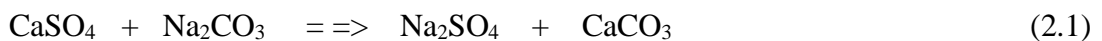
2.2.1. Dış besi suyu hazırlama yöntemleri

Dış hazırlama yönteminde kazan dışındaki sudan yabancı maddelerin azaltılması ve kaldırılması amaçlanmaktadır. Besleme suyundaki yabancı maddeler yüksek miktarda olduğundan dış hazırlama yapılır. Ana hatlarıyla dış hazırlama metodu iyon değişimi ve degazör kullanımındır [13].

2.2.1.1. Su yumuşatma (iyon-değiştirme) yöntemi

İyon değiştirme yöntemi, suyun sertliğinin azaltılmasında kullanılan bir yöntemdir. Suda çok fazla bulunan kalsiyum ve magnezyum mineralleri suni reçine yöntemi ile alınarak yerine sodyum klorürde bulunan sodyum minerallerinin verilmesine iyon değiştirme yöntemi denir. Bu yöntem alçak ve orta basınçlı buhar kazanları için yeterli olmasına rağmen yüksek basınçlı kazanlar için uygun değildir. Suda meydana gelen sertlik, magnezyum ve kalsiyum tuzlarından olur.

Yumuşatma ünitesi içinde bulunan iyon değiştirici reçineye temas ederek geçen ham suyun içinde yer alan kalsiyum ve magnezyum iyonları, reçineye bağlı bulunan sodyum iyonları ile yer değiştirir. Reçine tanecikleri üzerinde yer alan elektrik yükü sodyum iyonlarını reçine üzerinde tutar. Buna ek olarak, kalsiyum ve magnezyum iyonlarını da tutar. Reçine taneciklerinin kalsiyum ve magnezyum iyonlarını tutma kabiliyeti daha fazladır. Böylece bütün miktarda kalsiyum ve magnezyum iyonları sodyum tarafından değiştirilir [9].





Bu şekilde iyon değişimi gerçekleşir. İşlemdede bütün sodyumlar tükenir ve yüzeyde kalsiyum ve magnezyum zeolitler meydana gelir; ancak güçlü bir tuzlu su çözeltisi (NaCl) ile tekrar sodyum zeolit çözeltisine dönüştürülür. Sertlik iyonları ile doygunluğa ulaşan ve kapasitesini dolduran reçine, rejenerasyon işlemine tabii tutulur. Önceden hazırlanmış bulunan tuzlu su çözeltisi, reçine ile uygun durumda temas ettirilerek, reçinenin tutmuş olduğu kalsiyum ve magnezyum iyonlarını serbest bırakması sağlanır. Reçine, kalsiyum ve Magnezyum iyonlarını bırakırken, sodyum iyonlarını tekrar kendine bağlar. Tuzlu su ile rejenerasyonu tamamlayan ünite, durulama işlemini de tamamladıktan sonra, tekrar sistem başa döner [14].

Potasyum, baryum, stronyum ve demir gibi birçok katyon, sodyum ile aynı yolla değiştirilebilir. Amonyum ve hidrojen iyonları tarafından sodyumun yeri değiştirilebilir. Yapılmış olan sentetik zeolitler (reçine) suyu yumuşatmak için doğal minerallerden daha verimlidir.

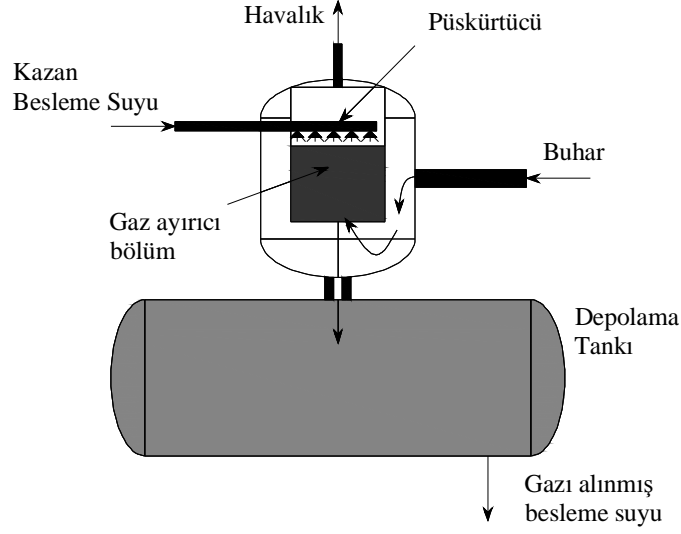
Fenol ve formaldehitin yoğuşmasıyla yapılmış olan reçineler iyi değişim özelliklerine sahiptir. Son zamanlarda benzer özelliklere sahip olan reçineler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak polyester ve karboksil reçineler verilebilir. Bu çalışma prosesleri suyu temizlemek için en iyileridir. Tabii sudaki süspansiyon katılar filitreleme ile kaldırılmalıdır. Aksi takdirde süspansiyon halindeki katılar değişen maddelerin gözeneklerini tıkar ve değişim kapasitesi azalır.

2.2.1.2. Degazör

Kazan besi suyunda serbest halde oksijen ve karbondioksit gazları bulunursa, kazanın ısıtma yüzeylerinde, kondens hatlarında korozyona neden olurlar. Bu gazlar degazör tarafından ayrılırlar.

Degazör dik ve yatak tank olmak üzere iki kısımdan oluşur. Besi suyu degazörün dik tankından akar, bu sırada yan taraftan buhar girişi olur. Buharla su tavanlarda parçalanarak buharlaşır. Buharlaşan su, soğuk su demetlerinden geçerek yoğuşur. Bu

esnada yoğuşamayan gazlar havalıktan dışarı atılmış olur. Şekil 2.2’de degazör sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Degazör (Gaz alıcı) [15].

Bu işlemle oksijen içeriği $0.005\text{cm}^3/\text{l}$ altına azaltılır. Karbondioksit gazı tamamen atılmış olur. Sudun ayrılan oksijen gazı, su ile kimyasal reaksiyona girmez. Dış ıslah yöntemleri aşağıda ana hatlarıyla özetlenmiştir [15].

Elde edilenler:

1. Düşük sertlik – kazanda çamurdan kaçınma
2. Düşük bikarbonat – buharın oluşturduğu korozyonu azaltmak
3. Düşük ayrılan katılar – partiküllerin kazanda azaltılması
4. Düşük silis ve düşük alüminyum oksit gereklidir.

1 ve 2’deki amaçlara dış ıslah yöntemleriyle (soda kireci ve sodyum iyon değişimi) ulaşılmıştır. Genelde kazanların çalışması 24 bar (350psi) altındadır [10].

Basınç yukarıya doğru arttığından, kazanlar daha düşük ayrılan katılarda gittikçe artarak çalışmaktadır. Bu yüzden 3’de amaçlanan için buharlaştırma düşük uygulamalarda kullanılması düşünülebilir.

4 için amaçlanan pıhtılaştırma ve çöktürme uygulamaları silis ve alüminyum oksitleri azaltmak için faydalı olur. Bu durum kazan basıncının 42 bar’ın üzeri için geçerlidir.

Bunu başarmak için, güçlü asit ve güçlü bazlı reçineler, iyon değişim uygulamalarında kullanılır [10].

2.2.2. İç besi suyu hazırlama yöntemleri

İç su hazırlama yöntemi, kazan içindeki yabancı maddelerin durumlarına bağlı olarak, ya besleme hatlarında veya kazan içinde meydana gelen reaksiyonlarda uygulanır. İç besleme suyu hazırlama yöntemleri tek başına veya dış hazırlama yöntemi ile beraber kullanılabilir.

İç ıslah yöntemleri, uygun besleme suyu sertliğinin elde edilmesinde, korozyon kontrolü, oksijen arınması ve kazan suyunun taşmasını önlemek için tasarlanır. İç ıslah yöntemindeki tabii suyun alkaline(geçici) sertliği ayrıştırılır ve su ısıtılarak çökeltilir ve sodyum karbonat, kostik soda veya sodyum fosfatın oluşturduğu alkali eklenmesiyle kazandaki kalıcı sertlik çökeltilir. Kazanların besleme sularının çalışması 14 bar üzerindeki basınçlarda veya düşük sertlikli besleme sularında esas olarak kullanılır [10].

2.2.2.1. Kireç sodası yöntemi

Kireç sodası veya kireç sodası/sodyum alüminatlar veya pıhtılaştırıcı yöntemlerle çöktürme işlemi yapılır. Tabii su, sodyum bikarbonat içerdiğinde yalnız kireç hidratı veya kireç hidratı ve sodyum karbonat eklenmesiyle çok düşük çözünürlüklü bileşiklerden (CaCO_3 ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$) kalsiyum ve magnezyum çökeltilir.

Proseste 70-90°C'e ısıtılan ham suya, suyun sertliğine göre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kireç) ve Na_2CO_3 (soda) konur. Böylelikle suyun toplam sertliği, CaCO_3 katkı maddeleri ile kimyasal tepkime sonucu çökertilerek sudan ayrıştırılır [14].

2.2.2.2. Fosfat ıslah yöntemi

Kalsiyum fosfatın çözünürlüğü, kalsiyum karbonatından daha azdır. Çöktürme işlemlerinde kullanılan sodyum fosfatlar yerine sodyum karbonatların kullanılması

daha düşük sertlik artışı verir. Fosfatlar pahalıdır ve onların kullanımı, pratikte 34.5 bar'dan daha yüksek basınç oranlarına sahip kazanların çalıştığı su ıslahında yüksek sıcaklıklarda yumuşatmanın ikinci safhasıyla sınırlandırılmıştır.

Sunulan işlemde, su sıcak kireç sodası ve kireç sodası/sodyum alüminat 70-90°C'de yumuşatılmıştır ve su ıslahının içerdiği, 10-15 ppm'i geçtiğinde yeterli miktarda sodyum fosfat ilave edilmiş ve kalsiyum çöktürülmüştür. Sudan ayrılan kireç sodası yeterince kostik alkali içerir ve magnezyum olarak $Mg(OH)_2$ 'i çökeltir. Su filtreden geçtiğinde ve 2 ppm'e yaklaşık olarak azaltılmalıdır [10].

2.2.2.3. Organik maddeler

Tanenler, nişastalar, ligninler ve polimerler gibi organik maddeler, ısıtıcı yüzeylerin üzerindeki tortuların azaltılması ve sulu çamurdaki daha hareketli oluşumlara karşı ve inorganik çökeltiler ile birlikte sıkça kullanılır.

Besleme suyu hazırlamasında kullanılan polimerlerin çoğu sentetiktir. Şelantlar gibi tesir etmelerine rağmen, onlar kadar etkili değildir. Bazı polimerler birikintilerin kontrolünde etkili olurken, diğer polimerler demir birikintilerinin kontrolünde etkilidir. Polimerler, şelantlarla birlikte çok etkili hazırlama sunarlar [12].

Magnezyum tuzları da aynı amaç için kullanılabilir. Sodyum polifosfatlar veya bunların karışımları ve tanenler, ekonomizörün korunmasına yardım eder.

Prosesin ana özellikleri :

1. Sürekli eklenen polifosfatların veya polifosfatların karışımlarının ve tanenin çöktürülmesinin sertliğini erteleme
2. Pompa vasıtasıyla kazana verilen alkali çökeltilerinin yalnız veya karışım ile organik maddelerin kesik kesik ilave edilmesi
3. Besleme suyundan çözülmemeyen oksijen gazının kaldırılması veya sodyum sülfid katalizörünün sürekli eklenmesi

4. Kazan suyunun içinde bulunan katı partiküller sistemden uzak tutulur ve süspansiyon katıların çok fazla birikmesi önlenir.

5. Kazan ve besleme suyunun örnekleri düzenli testler yapılarak prosesin kimyasal kontrolü yapılır [10].

2.2.2.4. Kimyasal maddelerle besleme

Kimyasalların dozajları besi suyundaki yabancı maddelerin miktarına bağlıdır. Örneğin sodyum sülfat ve hidratlar, besi suyundaki çözünemeyen oksijen miktarına bağlıdır. Suyun özelliğinde meydana gelebilecek değişikliklere bağlı olarak kazan suyuna ek kimyasal ıslah yöntemleri uygulanır. Kimyasal işlem tipine uygun olarak kazan suyunda rutin kontrol testleri yapılır. Bunlar alkali, fosfat, şelant, hidrat, sülfat, organik renk, pH ve toplam çözünemeyen katıların içerdiği testlerdir [12].

Kazan suyu ıslahı için kullanılan bazı katkı maddeleri;

Sodyum Karbonat (Na_2CO_3): Kazan basınçlarındaki sertlikte kullanılır.

Kostik Soda (NaOH): Sodyum karbonatla düşük basınç kazanlarında kullanılır. Dış ıslah yöntemleriyle yeterli yumuşatma sağlanır.

Fosfat (PO_4): Fosfat suyun pH'ındaki değişimleri düzenler. Suda bulunan kalsiyum ve magnezyum yumuşak tortuyu, sert kısır haline dönüştürür. Fosfat bu kısır oluşumunu engeller. Bununla birlikte sulu çamur oluşumuna yardımcı olur [9].

Şelantlar: Fosfatlara alternatif olarak kazanda tortu oluşumunu engellemek için kullanılır.

Köpük Kesiciler: Kazanlardaki köpük oluşumuna karşı kullanılır. Kazan kimyasal köpük engelleyici içerir.

Nötürleyici Aminler: Sıvılaştırılmış buhardaki karbondioksiti nötürlemekte ve besi hatlarındaki korozyonu azaltmakta kullanılır.

Sodyum Sülfat: Ayrılan oksijeni yok etmekte ve korozyonu azaltmakta kullanılır.

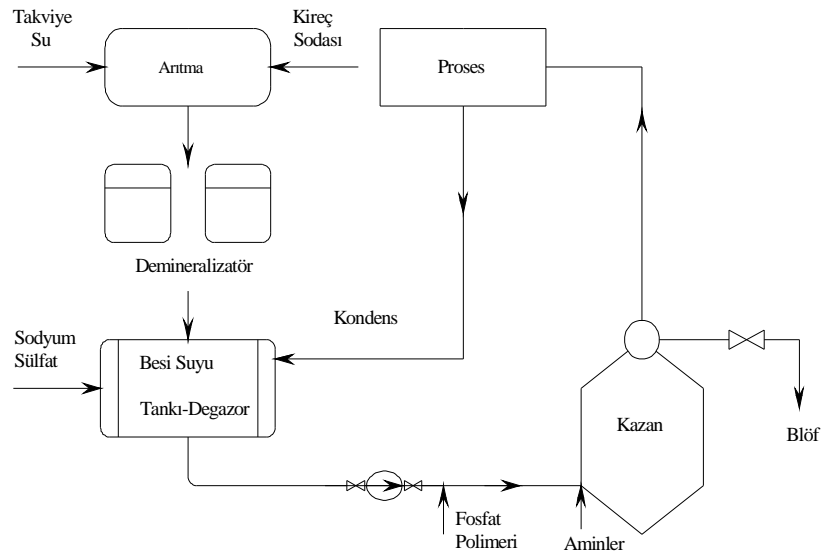
Hidrazin (N_2H_2): Çözülemeyen oksijenlerin ve korozyonu azaltmak için kullanılır. Bunun avantajı çözülemeyen katıların artmamasıdır.

Sodyum Sülfat (Na_2SO_3): Kazanı kostik çatlamalardan korur.

Sodyum Nitrat ($NaNO_3$): Kostik çatlamalardan korumada kullanılır.

Çamur Hareketlendirici: Doğal ve sentetik maddeler, kazanda çamurun yapışmasını azaltmak için kullanılır [13,16].

İç ıslah uygulamalarındaki farklı kimyasallar birçok farklı yolla uygulanır. (Kimyasal çözelti tanklarının kullanılması ve pompaların kullanılması gibi). Genelde kazan ıslahında kullanılan kimyasallar (fosfatlar, şelantlar, kostikler) besleme suyuna doğrudan eklenir.



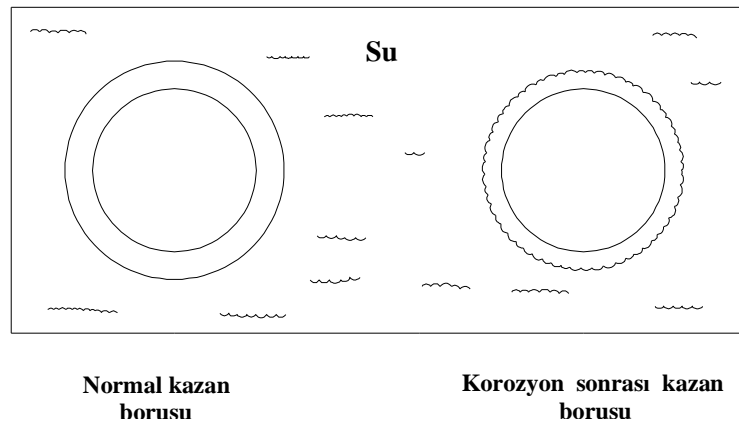
Şekil 2.3: Temel kazan sistem şeması [14].

Şekil 2.3'de temel kazan sistemi şemasında, kazan su hazırlamasında kullanılan kimyasalların kullanım yerleri gösterilmiştir. İç ıslah uygulamalarındaki farklı kimyasallar birçok farklı yolla uygulanır. (Kimyasal çözelti tanklarının kullanılması ve pompaların kullanılması gibi). Genelde kazan ıslahında kullanılan kimyasallar

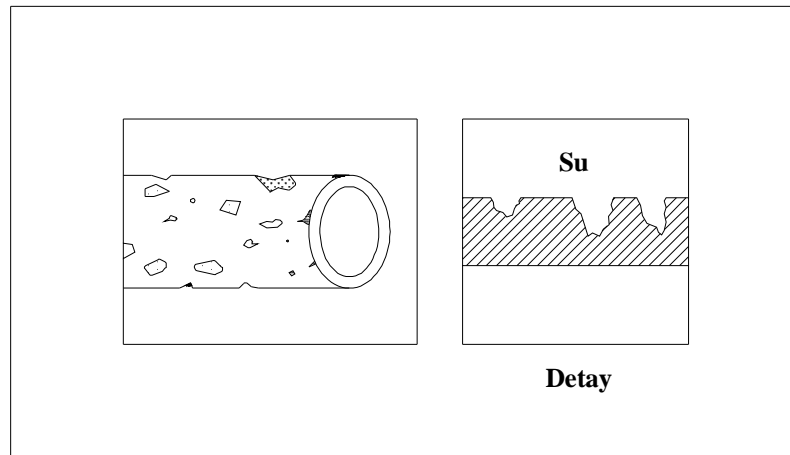
(fosfatlar, şelantlar, kostikler) besleme suyuna doğrudan eklenir. Kazan suyuna boşaltılan kimyasallar suda reaksiyonlar meydana getirir. Çözilemeyen oksijeni çözmek için besleme suyuna katılan kimyasallar sürekli olarak verilmelidir. Benzer olarak, besleme suyu sistemindeki tortu ve korozyon oluşumundan korunmak için sürekli olarak kimyasallar eklenir. Aminler besi suyu hattına veya kazan dramına verilir [12].

2.3. Korozyon

Korozyon düşük pH, suyun içinde yer alan çözilemeyen oksijen ve karbondioksidin aşırı olması sonucu olur. Çözilemeyen oksijen, degazör yardımıyla yok edilebilmektedir. Bunun yanı sıra oksijen temizleyicisi olarak sodyum sülfid veya hidrat kullanılarak, degazörden sonra artan oksijen kaldırılır [10].



Şekil 2.4: Kazan borularında meydana gelen korozyon



Şekil 2.5: Kazan borularında meydana gelen korozyonun yakından görünümü

Islah yapılmadan yoğuşturucudan geri dönen buhar, sistem geri dönüşüne hücum eder ve kazanlara oldukça çok miktarda demir ve bakır oksitleri beraberinde getirir. Şekil 2.4’de korozyona uğramamış kazan borusu ile korozyona uğramış kazan borusu, Şekil 2.5’de kazan boru yüzeyinde meydana gelen korozyonun yakından görünümü gösterilmektedir. Bunlar kazanda korozyonu başlatabilir ve su borulu kazanlarda su sirkülasyonu ile ara yüzeylerde korozyona sebebiyet verebilir. Şekilde korozyona uğramamış kazan borusu ile korozyona uğramış kazan borusu gösterilmektedir. Bu etkilere karşı olarak uçucu aminler kullanılır. Bunlar nötrleyici aminler ve ince tabaka aminleri olarak iki çeşittir. Nötrleştirici aminler buhar ile buharlaşır ve buhar ile yoğuşur. Yoğuşma esnasında, aminler karbondioksit gibi asit gazları nötrlerler.



Şekil 2.6: Kazan borularının bitim noktasında oluşan korozyon ve çatlaklar

Nötrleştirici aminin miktarı, buhardaki karbondioksitin miktarına bağlı olarak ayarlanır. Film aminleri buharın yoğuşturulmasıyla metal yüzeyinde tek film tabakası oluşturur ve böylece metal yüzeylerde reaksiyon oluşumuna izin verilmez. Film aminlerinin kullanılması nötrleştirme işleminde ekonomik olmayabilir. Kazanda meydana gelen korozyonlar Şekil 2.6’da görülmektedir.

2.4. Köpük Engelleyici Maddeler

Kazanda köpük oluşturan sabunlar, belirli bileşiklerin yağlacı yağları, deterjanlar gibi maddeler köpük oluşumunu meydana getirir. Buna ilaveten kazanlarda doğru su kullanılmaması köpük oluşumunu sağlar. Yüksek su değerleri taşmaya neden

olabilir. Bunları engellemek için kazan suyuna köpük engelleyiciler ilave edilir. Genel olarak 2 tür köpük engelleyici kullanılır. Bunlar poliglikoller ve silikonlardır. Kazan basıncının 30 bar'a kadar olanlarında silikonlar, 85 bar'a kadar olanlarında poliglikoller etkilidir [13].

2.5. Kazan Dairesinde Kullanılan Kimyasal Terimler

İletkenlik : Suyun elektriği iletebilme kabiliyetidir. Ayrıca suyun içerdiği çözünmüş iyonların miktarını belirler. Su içinde çözünmüş mineral miktarı arttıkça suyun iletkenliği artar. Ölçü birimi mikrosimens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$)'dir [17].

Toplam Alkalinite : Toplam alkalinite, pH'taki hızlı değişmelere karşı suyun direncini sağlayan bazik maddelerin toplamıdır. Diğer bir deyişle suyun asidi nötralize etme kabiliyetidir. Su içinde bulunan karbonat (CO_3), bikarbonat (HCO_3) ve hidroksit (OH) iyonlarının toplamıdır. Buhar kazanları için önemli olan HCO_3 iyonlarıdır.

pH : Suyun asidik veya bazik karakterinin miktarsal ölçümüdür. pH değeri 0 ile 14 sayıları arasında olur. pH'ı 7 olan bir madde nötr'dür. pH 7'den düşükse madde asidik, 7'den büyükse bazik veya alkali olarak ifade edilir. Örneğin işletme basıncı 20 bar ve altı olan kazanlarda pH değeri 7.0 – 9.5 arasında değişmektedir [18].

Toplam Çözünen Madde Miktarı : Su içinde toplam çözünmüş madde miktarıdır. TDS ile ifade edilir.

Geçici Sertlik : Suyun içerdiği kalsiyum ve magnezyum bikarbonat tuzlarının miktarını belirler. Su ısıtıldığında sertlik veren maddeler, karbondioksit vererek ayrışır. Isıtılarak engellenen sertliğe geçici sertlik (alkali sertlik) denir.

Kalıcı Sertlik : Magnezyum, kalsiyum sülfat, klorür ve nitrat tuzlarından oluşan sertliğe kalıcı sertlik denir. Suyun ısıtılmasıyla bu maddeler ayrıştırılmaz.

Toplam Sertlik : Geçici ve kalıcı sertliğin toplamıdır. Sertlik su içinde yer alan (+2) değerlikli iyonların (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2}) oluşur. Su içerisinde çözülmüş halde Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2}) iyonları diğer iyonlardan daha fazla bulduklarından toplam sertlik, Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2}) konsantrasyonlarının toplamıdır.

3. BUHAR KAZANLARI

3.1. Buharın Önemi

Buhar çeşitli amaçlarla çok yaygın olarak kullanılan bir akışkandır. Buharın kullanım alanları endüstriyel ısıtma, termik santrallerde elektrik üretimidir. Burada esas olarak endüstride buhar kullanımını üzerinde durulacaktır [19].

Endüstride buhar kullanımında tercihler şöyle sıralanabilir:

1. Buhar ideal bir ısı taşıyıcısı olup, küçük çaplı borular ile iletilmesiyle ısı kayıpları diğer sistemlere göre daha azdır.
2. Gelişmiş ısı geri kazanma sistemleri ile enerji tasarrufu sağlanır.
3. Yatırım maliyetleri azdır. Aynı kapasitedeki sıcak su ve yağlı sistemlere göre daha küçük boru çapları gerektirir. Bu da daha az yatırım, ucuz montaj ve daha az yalıtım malzemesi kullanılmasına olanak sağlar.
4. Buhar, yanmaz ve alev almaz özelliğinden dolayı patlayıcı ortamlar için son derece emniyetlidir.
5. Yüksek akışkan sıcaklıklarına çıkmak mümkündür.
6. Buhar çevre dostudur. Doğaya hiçbir şekilde zararı yoktur. İçeriğinde temiz ve saf su bulundurur [19,20,21].

3.2. Buhar Kazanlarının Tanımı ve Sınıflandırılması

Genel olarak kazanlar, yakıtın kimyasal enerjisini ısı enerjisine çevirip taşıyıcı akışkana ileten ve basınç altında çalışan kapalı kaplar olarak tanımlanır. Buhar kazanları ise, yakıtın yakılmasıyla elde edilen ısıdan yararlanarak istenilen sıcaklık, basınç ve miktarda buhar üreten cihazlardır.

Buhar kazanlarında asıl amaç, yakıtın yakılması ile oluşan ısı enerjisini kullanılan akışkana yüklemektir [8]. İhtiyaca göre çok değişik türlerde üretilen kazanlar, ilk

yatırım ve işletme giderleri bakımından oldukça pahalı enerji üreteçleridir. Bu nedenle, kazan amaca uygun seçilmeli, işletilmesinde ve bakımında gerekli özen gösterilmelidir.

Kazan seçiminde;

- Kazanın kullanım maksadı,
- Üretilecek buhar miktarı,
- Basınç ve sıcaklığı,
- Besleme suyunun kazana giriş sıcaklığı,
- Suyun sertlik derecesi,
- Kullanılacak yakıtın cinsi,
- Yakıtın alt ısıl değeri ve analizi,
- Yakıtın fiyatı,

gibi esaslar göz önüne alınarak ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır [14].

Bunun yanında birçok buhar kazanı konfigürasyonu olmasına rağmen, buhar kazanları iki grupta incelenebilir;

1. Duman Borulu Buhar Kazanları
2. Su Borulu Buhar Kazanları

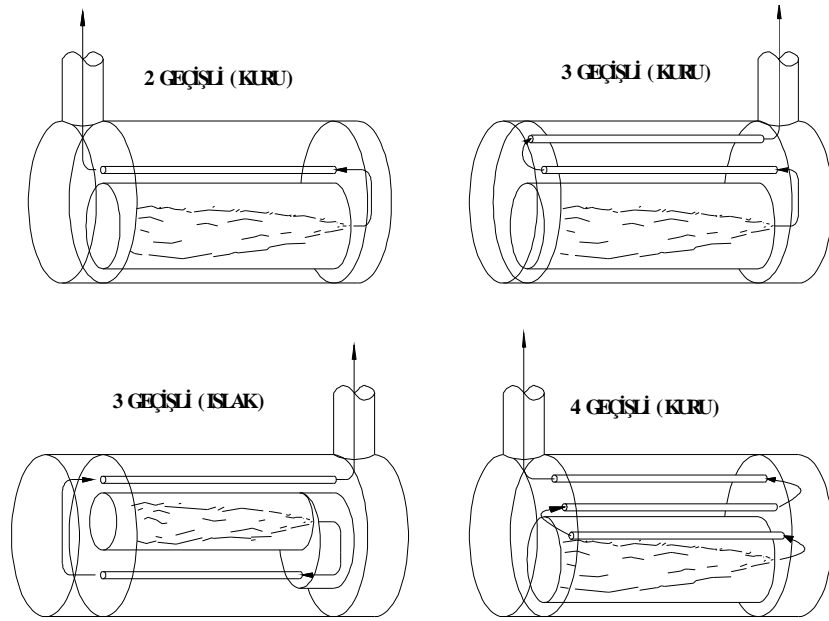
3.2.1. Duman borulu buhar kazanları

Duman borulu buhar kazanlarında sıcak yanma gazları borular içerisinden geçer. Yani ısı veren ortam boruların içindedir. Kazan suyu, ısı alan ortam, boruların dışında olduğu için borular ısı transfer ortamı olarak kullanılır.

Pratikte duman borulu buhar kazanlarının maksimum çalışma basıncı 16 bar, maksimum kapasitesi ise 20 ton/saattir [18]. Duman borulu buhar kazanı yapısı itibariyle ilk yatırım maliyeti düşüktür. Yüksek miktarda su kapasiteleri nedeniyle bu

tür kazanlar soğuk durumdan çalışma basıncına yükselmesi uzun zaman almasına rağmen, kazanda kapasite değişiklikleri yapmak kolaydır.

Duman borulu buhar kazanlarında genel olarak iki çeşit konfigürasyon vardır. Bunlar Shell tipi duman borulu kazanlar ve Skoç tipi duman borulu kazanlardır. Shell tipi duman borulu buhar kazanlarda, yatay duman boruları kazanın üst kısmına yerleştirilmiş olup, kazanın içi ateş tuğlalarıyla örülmüştür. Genellikle katı yakıtla çalışan kazanlardır. Skoç tipi duman borulu buhar kazanlarda ise, kazan silindirik şekilde olup duman boruları kazanın çevresinde ve üstünde yer almaktadır. Çoğu duman borulu buhar kazanında en uygun ısı transferi göre yanma gazlarının çoklu geçiş düzeni kullanılarak dizayn edilir. Şekil 3.1’de duman borulu kazanların gaz akış örnekleri gösterilmiştir. Burası kuru geçişli ve ıslak geçişli olarak ayrılmıştır.



Şekil 3.1: Duman borulu buhar kazanının gaz akış örnekleri [10].

Yukarıdaki şekilde 3 geçişli kuru gaz akışında, kazanda üç geçiş vardır. Yanma odasının sonundaki sıcak gazlar ikinci geçişi sağlayan duman borularına döner ve öne ulaşır. İkinci geçiş duman boruları üsttedir. Ön duman sandığında yukarı yönelen gazlar, üçüncü geçişi oluşturan boru demetiyle tekrar arkaya taşınır. Islak veya kuru denmesinin sebebiyse, kuru geçişte kazanda ayrı bir odadan duman gazları

gönderilmektedir. Islak geçişte ise bu oda yoktur ve geçişlerde su duman borularının etrafını sarmıştır [9,14].



Şekil 3.2: Deri fabrikada kullanılan skoç tipi buhar kazanı



Şekil 3.3: Çeşitli sektörlerde kullanılan tam donanımlı skoç tipi buhar kazanı

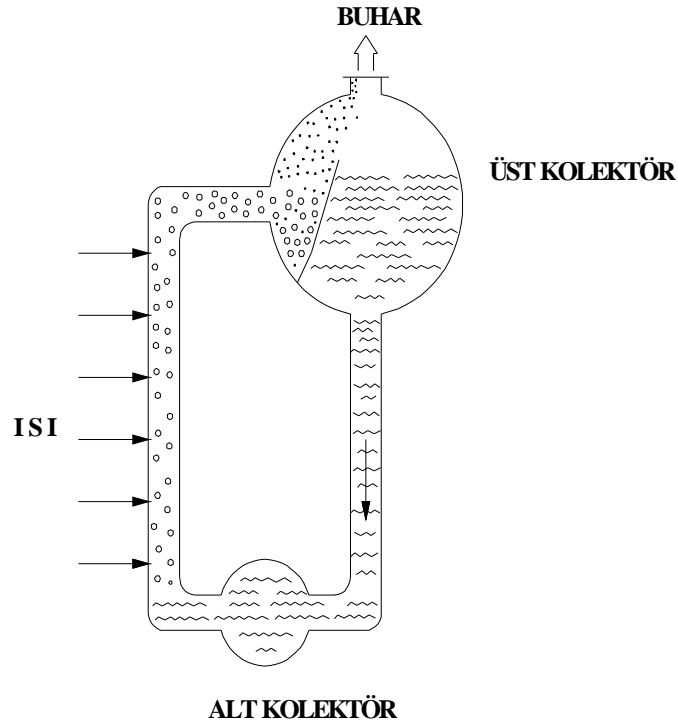
Deri fabrikasında kullanılan skoç tipi buhar kazanı Şekil 3.2’de, tam donanımlı skoç tipi buhar kazanı Şekil 3.3’te görülmektedir. Bu kazan doğal gaz ile çalışmaktadır.

3.2.2. Su borulu buhar kazanları

Su borulu buhar kazanları, duman borulu buhar kazanlarının çalışma prensibinin tam tersi olarak çalışırlar. Yanma gazları, kazan suyunu içeren boruların çevresinde dolaşırlar. Yani, ısı veren ortam boruların dışında, ısı alan ortam boruların içinde bulunmaktadır. Bu çeşit kazanlarda iki çeşit ısı transfer alanı oluşur ;

1. Radyasyonla ısı transfer alanı
2. Konveksiyonla ısı transfer alanı

Radyasyonla ısı transferi, alev bölgesinin içinde ve sonrasında oluşan yüksek sıcaklık alanında meydana gelir. Konveksiyonla ısı transferi alanında, yanma gazları ısısının çoğunu kazan suyuna aktarır.

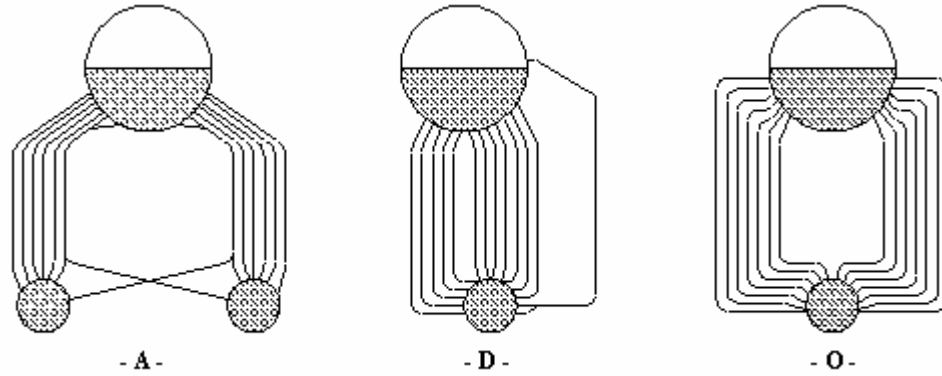


Şekil 3.4: Su borulu kazanda genel çevrim [22].

Su borulu kazanlarda üstte ve altta birer adet olmak üzere iki adet kolektör vardır. Üst kolektörde su ve buhar ayrışır. Su olan kısım alt kolektöre (çamur kolektörü) iner. Şekil 3.4’de su borulu buhar kazanlarında genel çevrim görülmektedir [22]. Isı

transferinin büyük bir kısmı yükselen bölgede meydana gelir. Yükselen bölgede besleme suyuna göre yoğunluğu düşük olan, su ve buhar karışımı üst kolektörde toplanır. Daha soğuk olan besleme suyu çamur kolektörüne doğru hareket eder. Böylece soğuk besleme suyu, su-buhar karışımını üst kolektöre çıkartmak için zorlayarak çevrim tamamlanır. Bu doğal sirkülasyon birçok endüstriyel kazanlar için yeterlidir. Ancak süper kritik çevrim ile çalışan kazanlarda bu sirkülasyon pompalar yardımıyla gerçekleştirilir. Çevrimde kazan içerisindeki boruların iç yüzeylerinin kuru olmaması çok önemlidir. Aksi durumda boş boru içindeki hava, suyla olduğu kadar ısı transferi yapamayacaktır ve aşırı ısınma nedeniyle kazanda hasara yol açacaktır.

Endüstride kullanımı artan su borulu kazanların üç farklı konfigürasyonu vardır. Şekil 3.5’de su borularının şekillerine göre; A tipi, D tipi, O tipi su borulu kazanların konfigürasyonları görülmektedir. A tipi dizaynda aşağısında iki ufak dram ve yukarısında daha büyük bir dram su-buhar ayrışımı için bulunmaktadır. En genel D tipi dizayn, iki dram ve büyük hacimli bir yanma odasından oluşur. D tipi dizaynda boruların yönlendirilmesi ya soldan ya da sağdan yapılmıştır. Günümüzde en çok D tipi kazanlar üretilmektedir [18,23].



Şekil 3.5: Su borulu kazanların boru konfigürasyonları [18,23].

Kazan suyunun niteliği ve besleme suyu buhar kazanlarında çok büyük öneme sahiptir. Bununla birlikte su kalitesine olan ihtiyaca göre önemli ekonomik farklılıklar vardır. Su borulu kazanlarda tuzlu su ile çalışmaya izin verilmez. Su borulu kazanlar için kazan suyunun iletkenliği $\leq 2500 \text{ m}^3/\text{cm}$ 'dir. Bu durum da su hazırlama sistemlerinin daha maliyetli olmasını gerektirir. Prensip, Shell tipi kazanlar tuzlu su ile çalıştırılabilmektedir. Shell tipi kazanlar için kazan suyunun

iletkenliği $\leq 8000 \text{ m}^3/\text{cm}$ 'dir. Tuz parçalarının kazan ısı yüzeylerinde zararlı etkileri meydana gelmez. Basit su yumuşatma sistemleri kullanılabilir [24].

Diğer bir farklılık ısı kapasiteler arasındadır. Shell tipi kazanlar için daha az ısı yüzeyi ve kapasite gereklidir. Shell tipi kazanların bakımı, su borulu kazanlara göre çok daha basittir. Çalışma esnasında duruşlarda ve çalışma olmadığı durumlarda ısı yüzeylerine bakım daha kolay olmaktadır.

Tablo 3'de Shell tipi buhar kazanları ile Su borulu buhar kazanlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Shell tipi kazanlarda güvenlik çok basit olup temiz ve ekonomik sistemlerdir. Shell tipi kazanlarda kazan kısımları ile ilgili olarak görsel incelemeler ve hidrostatik testler yapılır. Su borulu kazanlar da bir çok alanda görsel inceleme için dizaynı uygun değildir. Ayrıca, geniş çaplı ses dalga testi uygulanır.

Tablo 3: Shell tipi duman borulu buhar kazanları ile Su borulu buhar kazanlarının karşılaştırılması [24].

| Kriter | Shell tipi duman borulu buhar kazanları | Su borulu buhar kazanları |
|--|---|---|
| Suyun niteliği | Daha düşük gereksinim, tuzlu su ile çalışabilme | Yüksek gereksinim, düşük tuzlu su ile çalışma gerektirir. |
| Bakım | Kolay temizlenme | Maliyetli temizlenme |
| Yapılan Kontrol | Basit, hidrostatik kontrol, geniş çaplı tahrip edici olmayan testler. | Ultra sonic testler gereklidir. Buna ilaveten hidrostatik testler uygulanır ve daha maliyetli ve uzun zaman alır. |
| İmalat maliyetlerinin karşılaştırılması | düşük | yüksek |
| Verim | yüksek | Daha düşük |
| Biriktirme kapasitesi | Yüksek su hacmi yüzünden yük değişimleri ve basınç duyarlılığı gerektirmez. | Proseste basınç değişimlerine ve yüke duyarlı |
| Dağıtım süresi | kısa | uzun |
| Alan ihtiyacı | az | çok |
| Başlangıçta montaj için gerekli olan süre | kısa | uzun |

Üretilen ısı kapasiteye bağlı olarak, Shell tipi kazanlar su borulu kazanlara göre daha yüksek su kapasitesine sahiptir. Bu yüzden yük değişimlerine göre kazan kapasitesi aşıldığında daha verimli çalışırlar. Kısa dönemlerde buhar nemi artışları beklenirken, diğer etkiler beklenmez. Özellikle ısı transferinin olumsuz etkileri gözlenmez.

4. KAZAN VERİMİ

4.1. Yanma Prensipleri

Yanma, yakıtın içerisinde bulunan karbon ve hidrojenin, havanın içerisinde bulunan oksijen ile reaksiyona girerek karbondioksit ve su buharı oluşturmasıdır. Bu sırada açığa ısı çıkar [18].



Kükürt yakıtların çoğunda bulunan bir element olmasına rağmen enerji açısından fazla bir önemi yoktur. Kükürt, korozyon ve çevre problemleri açısından önem kazanmaktadır. Eğer yakıtın karbon ve hidrojen içeriği bilinirse, yanmanın tamamlanmasıyla gerekli olan teorik oksijen miktarının ölçülmesi mümkün olacaktır. Bu oksijen miktarına stokiyometrik oksijen ihtiyacı denir.

Tablo 4’de yakıtlar için gerekli stokiyometrik hava ihtiyacı değerleri verilmiştir. Stokiyometrik oksijen veya hava eşitliği ilk önce yanmanın verimli olarak değerlendirilmesiyle ilgilidir ve önemli referans noktalarındaki gerçek yanma durumlarının karşılaştırılmasını sağlar.

Tablo 4: Çeşitli yakıtlar için stokiyometrik hava ihtiyacı [10].

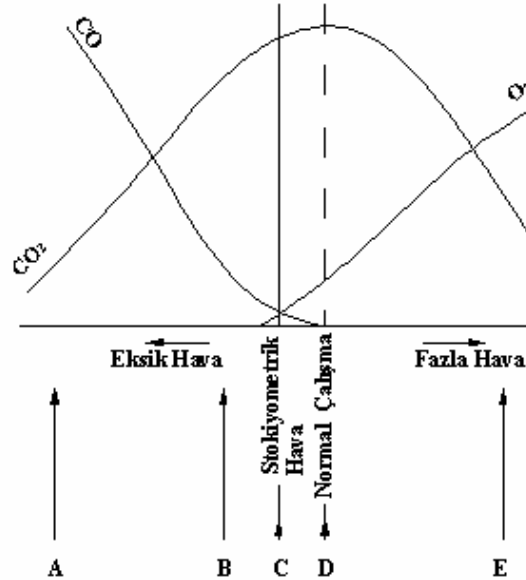
| YAKIT | Gerekli Hava |
|------------------------------|---------------|
| | kg/10000 kcal |
| Petrol kömürü | 13,91 |
| Benzin | 13,41 |
| Mazot | 13,64 |
| Doğal Gaz (saf metan) | 12,96 |
| Propan | 13,03 |
| Bütan | 13,07 |

Gerçekte yanma durumları ideal olmadığından, tam yanmayı gerçekleştirmek için teorik hava miktarından daha fazlası gerekir. Bu ise aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Yakıt tipi ve bileşimi
- Yanma odası dizaynı
- Brülörün dizaynı ve ayarlanmasıdır.

Kazana yanma için gerekli teorik hava ihtiyacının üzerinde hava gönderilmesine hava fazlalık oranı denir ve stokiyometrik ihtiyacın yüzdesi olarak ifade edilir. Yani, teorik hava ihtiyacının iki katının kullanılması durumunda hava fazlalık oranı % 100 olur.

Yanmanın stokiyometrik hava ihtiyacının üzerinde veya altında olması baca gazı bileşenlerinden anlaşılabilir. Ölçülen baca gazları, kazan içindeki yanma prosesinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Şekil 4.1'de fazla hava ile CO , O₂ ve CO arasındaki bağlantı gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Fazla hava ile CO , O₂ ve CO arasındaki ilişki [10,25].

A noktasında, hava oranı tam yanma için gerekli miktarın altındadır. Burada yakıtın içerdiği karbon atomlarının hepsinin karbondioksite dönüşümü mümkün olmamaktadır. Bu şartlar altında, eksik yanma sonucunda karbonmonoksit oluşur.



Bununla birlikte baca gazı bileşimlerinde yüksek CO değerleri, düşük CO₂ değerleri görülecektir.

B noktasında biraz daha hava eklenmesiyle CO'nun birazı CO₂'e dönüşerek ısı açığa çıkar.



Baca gazında CO miktarı düşerken, CO₂ değeri artacaktır.

C noktasında stokiyometrik hava eşitliği vardır. Teorik olarak CO'ların hepsi CO₂'ye dönüşür. Pratikte düşük seviyede CO ve maksimum a yakın derecede CO₂ görülür. Pratik brülör sistemlerinde yakıt ile oksijenin mükemmel karışımı sağlanamamaktadır ve böylece oksijen ve karbondioksit az da olsa daima egzoz gazında olacaktır.

Tam yanma sağlanabilmesi için, stokiyometrik hava ihtiyacının üzerine az miktarda hava ilavesi gerekir. D noktası minimum hava fazlalık ihtiyacı göstermektedir. Bu noktada CO₂ değerleri en üst noktaya ulaşır. Bu da sıvı yakıtlarda %15-16, doğal gazda %11-12 seviyesindedir. Egzoz gazındaki oksijen değeri normal uygulamalarda yaklaşık %2 civarında olacaktır ve gözle görülen baca dumanı olmayacaktır. CO konsantrasyonu çok düşük seviyede olup, iyi bakımlı kazanlarda 100-200 ppm'i aşmaz [10].

E noktasında daha fazla hava ilavesiyle baca gazındaki CO₂ seviyesi düşer ve oksijen seviyesi %20.9'lara doğru çıkar. Aşırı miktarda alınan fazla havanın içerisinde bulunan azot gazı yanma prosesi içerisinde yer almadığı gibi sisteme soğuk girip bacadan sıcak duman gazı olarak ayrılır. Bu da yanma sisteminde enerji kaybına neden olur. Kazana eklenen hava fazlalık değeri, baca gazı bileşiminin kullanılabilirliğini belirler. Baca gazı içerisindeki CO₂, CO ve O₂ konsantrasyonu ölçer cihazlarla kazanın yanma prosesini daha iyi anlaşılması sağlanabilir.

4.2. Kazan Verimi

Kazan verimi, besleme suyunun buhara dönüşebilmesi için aldığı enerjinin, yakıt tarafından verilen toplam enerjiye oranıdır. Kazan verimi daima %100'ün altında olmaktadır. Ancak ısı kaybının çoğu, doğru çalışmayla ve pratik bakımla minimuma indirilebilir. Enerji kayıpları başlıca beş kategoride incelenebilir ;

1. Isının, atık gazlarla bacadan dışarı atılması (Kuru baca gazı kaybı)
2. Isının hem gizli hem de duyulur ısıyı içerecek şekilde, sıcak su buharıyla bacadan dışarı taşınması.
3. Yanmamış yakıt ve eksik yanmanın ürünleri, külün içerisindeki yanabilir katı parçaları ve baca gazında karbon monoksit bulunması.
4. Kazanın yalıtımından kaynaklanan ısı kaybı. (Dış yüzeyde radyasyon ve konveksiyon kaybı)
5. Kazanın blöf edilmesiyle ısı kaybı [26].

Kazan ısı verim hesabında direkt ve dolaylı olmak üzere iki yöntem mevcuttur.

Direkt yöntem :

Direkt verimi veren metodu pratikte uygulamak zordur. Bunun yanı sıra çıkan buhardaki faydalı ısıyı belirlemek için, bir çok parametrelerden yararlanılır [27].

Bu yöntemde :

- Besi suyu ve buhar miktarları,
- Besi suyu ve ara buharın sıcaklık ve basınçları,
- Yakıt besleme miktarı,
- Yakıt alt ısı değeri

ölçülmelidir. Ölçülen bu değerler yardımıyla kazan verimi:

$$\text{Verim [\%]} = \frac{\text{Buhardan elde edilen kullanılabilir ısı enerjisi}}{\text{Yakıtın toplam enerjisi}} \quad (4.5)$$

Dolaylı Yöntem :

Bu yöntemde verim, bütün kayıpların miktarı ölçülerek hesaplanır. Bu metot genelde daha pratiktir ve önerilir.

$$\text{Verim [\%]} = 100 [\%] - (\text{TOPLAM KAYIPLAR [\%]}) \quad (4.6)$$

Bu yöntemde:

- Baca gazı analizi (baca gazında sıcaklık, hız, basınç toz ölçümü, gaz analizi) yapılır.
- Yakma havası debisi ve sıcaklığı ölçülür.
- Kazan dış cidar sıcaklıkları ölçülür.
- Blöf miktarı belirlenir.
- Yakıtın alt ısıl değeri belirlenir ve elementel analiz yapılır.

Bu ölçüm sonuçlarına göre önce özgül hava miktarı ve özgül baca gazı miktarları belirlenir. Daha sonra,

- Teorik özgül hava miktarı,
- Teorik özgül duman miktarı,
- Hava fazlalık katsayısı,
- Gerçek özgül hava ve duman miktarı,
- Baca gazı ısı kaybı oranı,
- Eksik yanma kaybı (ıs kaybı, toz emisyonundan faydalanarak bulunacaktır) oranı,
- Yanmamış yakıt kaybı oranı ,
- Blöf kaybı oranı,

belirlenerek bunlara bağlı olarak ısıl verim hesaplanır.

4.3. Kazan Verimine Etki Eden Faktörler

Kazan verimine çeşitli faktörler etki eder. Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Eksik yanma,
- Hava fazlalık oranı,
- Brülörler,
- Kazan yükü,
- Baca gazında su buharı nedeniyle olan ısı kaybı,
- Baca gazı sıcaklığı,
- Besleme suyu sıcaklığı,
- Kondens geri kazanımı,
- Yanma havası sıcaklığı,
- Isı transfer yüzeylerinde kirlilik,
- Blöf,
- Buhar basıncı,
- Buhar kazanındaki dış ısı kayıpları,
- Yakıt cinsi.

4.3.1. Eksik yanma

Eksik yanma, katı ve sıvı yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak kül içinde kalması veya baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbonmonoksit olarak atılması durumunda meydana gelmektedir.

Eksik yanma yakıt kaybına neden olduğu için tam yanmayı sağlamak amacıyla hava yakıt oranını tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlamak gerekir. Bu nedenle baca gazındaki O₂ miktarını optimum seviyede tutmak gereklidir.

4.3.2. Hava fazlalık oranı

Kazan verimliliğine etki eden faktörlerden birisi de hava fazlalık oranıdır. Hava fazlalık katsayısı pratikte en küçük değerde tutulur ve baca sıcaklığında çıkan ve ısıtılan gereksiz hava miktarı azaltılır. Eğer hava miktarı çok düşükse, baca gazında hızlı bir şekilde karbonmonoksit oluşur, daha ileri safhada duman üretilir. Bu da kazan verimini düşürür.

Pratikte yanma şartları ideal durumlardaki gibi değildir. Tam yanma sağlanabilmesi için teorik yanma havasından daha fazla hava kazana gönderilir. Gerçekte kazanlarda yanma için gerekli hava miktarı; yakıtın tipine ve bileşimine, ocağın dizaynına, yanma oranına, brülörün dizaynı ve ayarlanması gibi faktörlere bağlıdır. Kazanda hava-yakıt oranının doğruluk kontrolü, kazandan ayrılan baca gazlarının testiyle olur. Bütün kazan verim testleri bu temel üzerine oturtulmuştur. Bu gazların bileşimlerinin değerlendirilmesiyle, hava fazlalık oranı hesaplanabilir. Oksijen ve karbondioksit bileşimleri kimyasal dengeyle bağlantılı olduğundan değerlerinin her biri aynı hava fazlalık oranını verir. Eğer hava fazlalık oranı O_2 ve CO_2 bileşimleriyle uyum içinde değilse ölçümlerde hata yapılmış demektir. Baca gazı sıcaklıklarına uygun O_2 ve CO_2 bileşimleri bilinirse, hava fazlalığına bağlı olarak verim kaybı ölçülebilir [27].

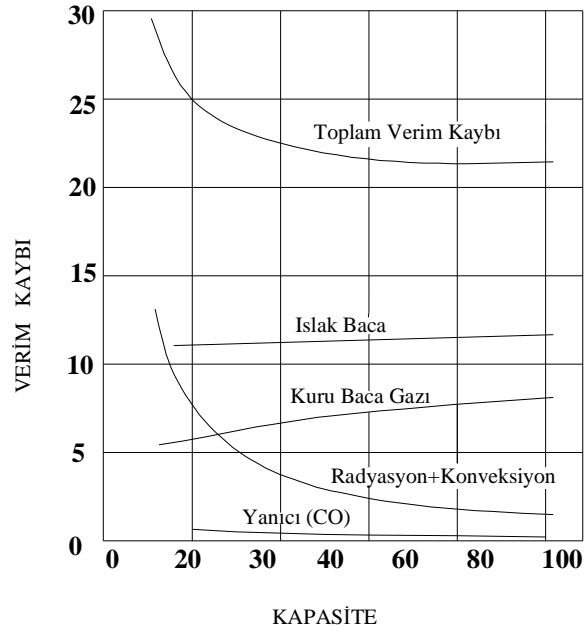
4.3.3. Yakıcılar (Brülörler)

Yanma verimi için önemli faktörlerden bir tanesi yakıtın ufak damlacıklar halinde atomizasyonudur. Böylece havayla daha homojen bir şekilde karışımı sağlanır. Brülör, hava ve yakıtı yanabilirlik sınırları içinde oransal olarak karıştıran, düzenli ve sürekli yanma sağlayan cihazdır. Yakıt içinde bulunan hidrojen ve karbon ile havanın içindeki oksijenin reaksiyon girmesi kolaylaştırılır. Brülörün performansı, kazan verimliliği açısından önemlidir. İyi dizayn edilmiş bir brülör, hava ve yakıt miktarını tam yanma sağlayacak biçimde minimum fazla hava oranı ile karıştırır. Tam yanma sağlanabilmesi için brülör fazla havaya ihtiyaç duyar. Bundan dolayı brülör performansı direkt olarak kazan verimliliğine etki eder. Hava-yakıt karışımını yük değişimlerinde efektif olarak ayarlayamayan brülörler, yüksek miktarda fazla hava kullanarak yakıt sarfiyatına neden olur. Brülörlerin iyi ayarlanamaması, yer değişimi

sırasında oluşan aşınmalar, yıpranmalar, sızıntılar gibi sebeplerden dolayı hava-yakıt oranı değişebilir. Bu da verim kaybına neden olur. İyi bakım yapılmamış, yıpranmış veya zarar görmüş brülör parçaları da verim düşmesini tetikler. Örneğin; yakıt partiküllerden bazısının küçük, bazısının büyük damlacıklarda püskürtülmesi sonucu yakıtın iyi atomize olmadığını gösterir. Bunun sonucunda yetersiz hava-yakıt karışımı olacağından karbonmonoksitin oluşumu fazla olacaktır. Baca gazında yüksek seviyede oksijen ve karbonmonoksit görülebilir. Benzer olarak brülör parçalarının temizlenmesinde aşındırıcı aletlerin kullanılması buradaki delik ve jet nozülleri etkiler ve düzgün olarak atomize olmasını önler [28].

4.3.4. Yanma oranı

Yanma oranının değişmesiyle, kayıpların ve kazan veriminin önemli bir şekilde değiştiği görülür. Özellikle radyasyon ve konveksiyon kayıpları yanma oranının azalması ile artmaktadır. Yanma oranının yükselmesiyle de kuru duman gazı kayıpları, baca gazı sıcaklığı yükseleceğinden artacaktır. Yanma oranının en yüksek verimi %70 - %90 oranında tutulması ile elde edilir [10]. Yük oranı %50'nin altına düştüğünde ise verim eğrisi hızla düşmektedir. Bu yük düşüşüne bağlı olarak kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının yüzdesi artacaktır.



Şekil 4.2: Kazan kapasitesi ve verimi arasındaki ilişki [10].

Kazan aşırı yüklenmesi durumunda yanma verimi düşecek ve baca gazı sıcaklıkları artacaktır. Şekil 4.2’de kazan kapasitesi ile kazan verimi arasındaki ilişki görülmektedir. Düşük yüklerdeki kayıplar genel olarak durma kayıplarından kaynaklanır. Kazan duruşa geçtiğinde hem dış yüzeylerden, hem de baca çekişi nedeniyle iç yüzeylerden soğumaktadır.

Kazan yükünün değişmesiyle yakıt miktarı da değişecektir. Maksimum verimlere genel olarak, kazan tam yükünün %70’den yukarı çalıştığı durumlarda ulaşılmaktadır.

4.3.5. Baca gazındaki su buharı nedeniyle olan ısı kaybı

Yakıtlar, serbest nem şeklinde ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı bünyelerinde nem bulundurlar. Yakıtın içerisinde bulunan nem, yanma esnasında buharlaşarak açığa çıkmaktadır. Su buharı olarak açığa çıkan nem, kazandaki faydalı enerjinin bir kısmının bacadan dışarı atılmasına neden olmaktadır. Yakıttaki serbest nemin yanmadan önce mümkün olduğunca azaltılması enerji tasarrufu açısından gereklidir.

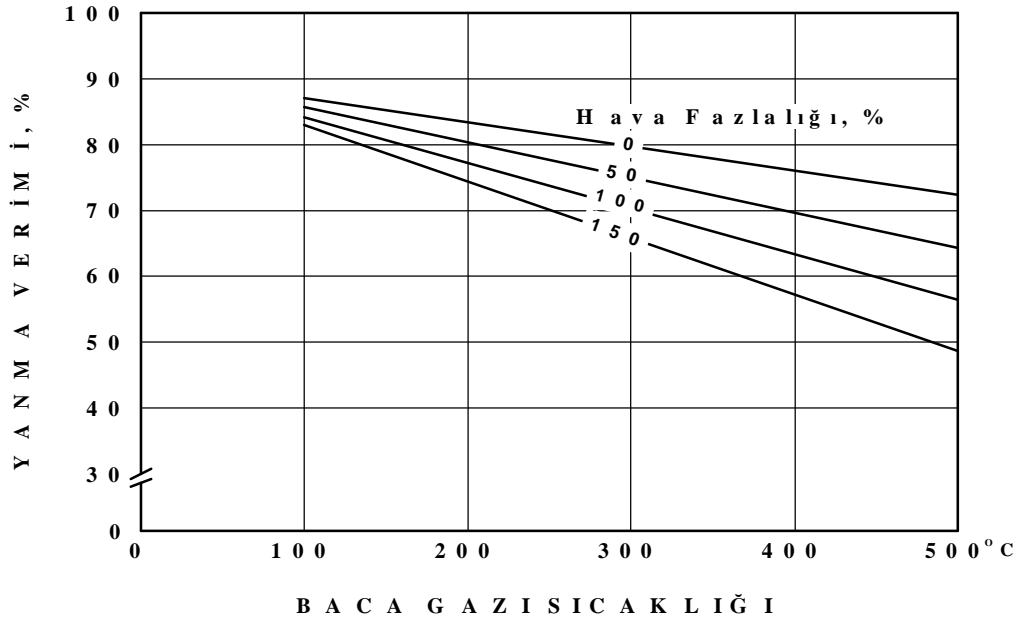
4.3.6. Baca gazı sıcaklığı

Kazan verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de baca gazı sıcaklığıdır. Kazan veriminin maksimum olabilmesi için baca gazı sıcaklığı minimum değerde tutulmalıdır.

Bacadan atılan ısının yüksek olmasının iki temel nedeni vardır:

1. Yetersiz ısı transfer yüzeyi: Bu durumda bacaya hava ön ısıtıcısı veya ekonomizör yerleştirilerek baca gazının ısısından faydalanma imkanı sağlanır.

2. Isı transfer yüzeylerindeki bozulmalar: Bu durumda kazan boruları belirli periyotlarla temizlenmeli, kazana verilen besi suyu kontrol edilmelidir.



Şekil 4.3: Baca sıcaklığı ile yanma verimi arasındaki ilişki [10].

Şekil 4.3’de kazanın farklı hava fazlalık oranlarında ve baca gazı sıcaklığında verim değişimi görülmektedir. Baca gazı içerisindeki karbondioksit ve oksijen yüzdelerinin hava fazlalık katsayısının artışı ile değişim göstermektedir. Karbondioksit oranı, hava fazlalık katsayısı ile ters orantılı değişirken, oksijen oranı doğru orantılı değişmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça baca enerjisi artacaktır. Böylelikle yanma verimi düşecektir [29].

Pratikte modern kazanlar için kazan temizken uygun O_2 ve CO_2 oranlarında sağlanan baca gazı sıcaklıkları optimum değer olarak kabul edilir. Optimum hava fazlalık katsayısı yakıt türüne, kazan tasarımına ve işletim parametrelerine bağlıdır. Bundan dolayı termal bir sistem kurulurken sisteme göre kazan, kazana göre yakıt, yakıtı göre hava fazlalık katsayısı belirlenmelidir [2].

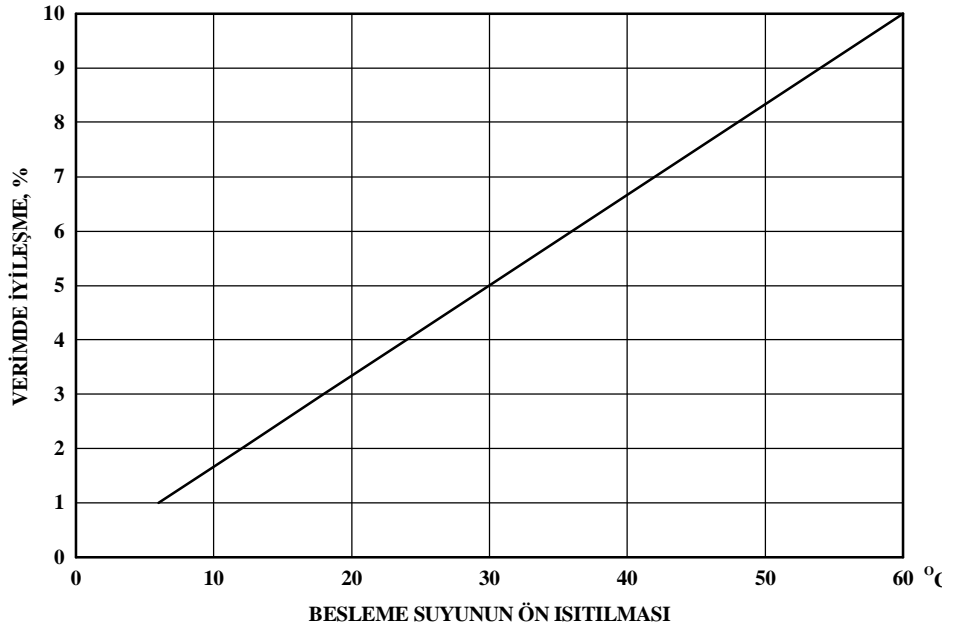
Hava fazlalık oranı yüksek kazanlarda, baca gazı sıcaklığının yüksek olması kazan veriminin çok hızlı düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, baca gazı sıcaklığını aşırı düşürülmesi sonucu baca çekişinde de önemli düşüşler meydana gelebilir. Baca gazı sıcaklığı düşürülürken bu durumların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Baca gazı sıcaklığı üzerine etki eden diğer faktörler:

- Yanma havasının olağandan az yada çok olması,
- Gaz geçiş yollarının kirlenmesi (kurum) sonucu ısının yeterli düzeyde suya aktarılamaması,
- Ocağın içinde alev boyunun yüksek olması,
- Gaz geçiş yollarında (kurumdan dolayı) oluşabilecek yanma sayılabilir.

4.3.7. Besleme suyu sıcaklığı

Kazan verimi, atık baca gazları ile besleme suyunun ön ısıtılmasıyla artırılır. Şekil 4.4'de besleme suyunun sıcaklığının yükselmesiyle kazan verimindeki artış görülmektedir.



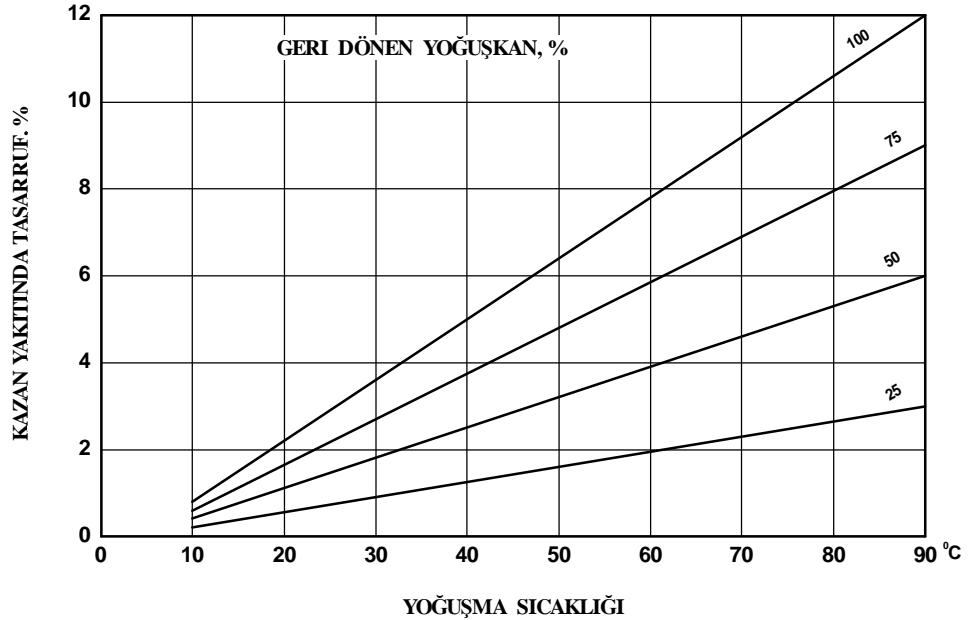
Şekil 4.4: Besleme suyunun ön ısıtılması ile kazan verimi arasındaki ilişki [10].

Genelde besleme suyu sıcaklığının yaklaşık olarak 6 °C artışı kazanda yanması gereken yakıttan %1 oranında tasarruf sağlar [10]. Yalnız kazan besleme suyunun ısıtılmasında duman gazları kullanılırsa kazan verimini direkt olarak etkileyecektir. Diğer durumlarda besleme suyu sıcaklığının artması, buhar üretimi için kullanılacak yakıtın azalmasına sebep olacaktır.

4.3.8. Kondens geri kazanımı

Kondens kazanımı, verimli kazan prosesi için çok önemlidir. Buhar proseste enerjisini bıraktıktan sonra kondens olarak sistemden ayrılır. Kondens genellikle sıcak, içerisinde kirletici maddeler bulunmayan değerli saf su olması sebebiyle kazan için ideal bir besleme suyudur. Prosesten geri kazanılan kondens, besleme suyu sıcaklığını yükselteceğinden yakıt ekonomisi sağlayacaktır. (Besleme suyunun sıcaklığının 6 °C artması, yakıt tüketimini %1 azaltacaktır.)

Şekil 4.5’de kondensin geri kazanılması ile elde edilecek yakıt tasarrufu görülmektedir.



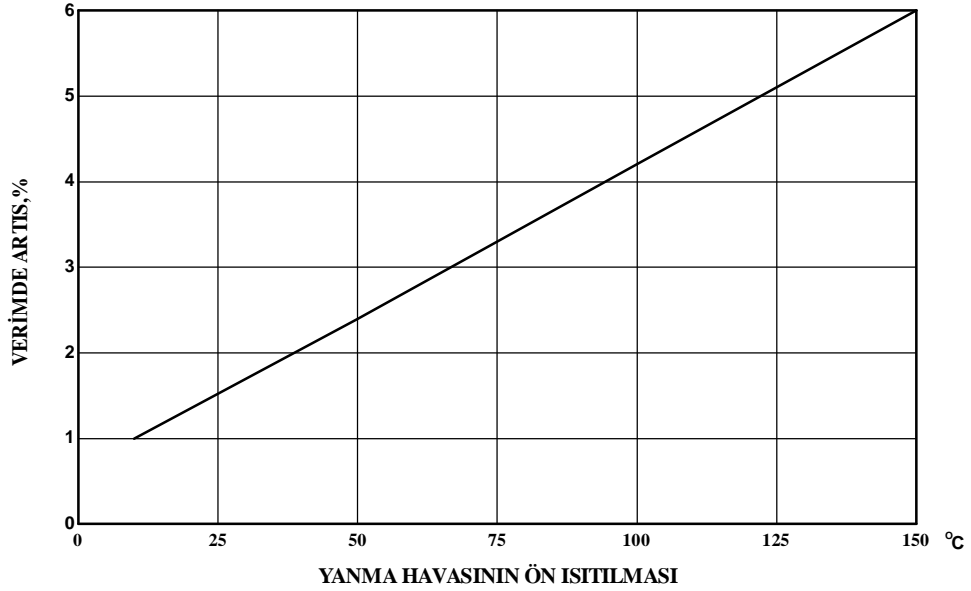
Şekil 4.5: Yoğuşma sıcaklığı ve kazan yakıtındaki tasarruf arasındaki ilişki [10].

Bazı sektörlerde (şeker endüstrisi, sabun endüstrisi) kondensin içine kirleticilerin karışma riski vardır. Bu durumda kondens ısı eşanjörlerinden geçirilerek ısı enerjisinden yararlanılabilir. Diğer bir alternatif de kondens hattına kirliliği algılayacak detektörler konularak, kontrollü bir şekilde kondensin kullanılmasıdır.

4.3.9. Yanma havası sıcaklığı

Yanma havasının ısıtılmasıyla ve baca gazının atık ısısının geri kazanılmasıyla kazan verimi artırılabilir. Şekil 4.6'de yanma hava sıcaklıklarında artışının verim değerlerine oranı gösterilmektedir.

Bu sonuçlarda yanma hava sıcaklığındaki 56°C yükseliş için %2 oranında verimde artış görülmektedir [30]. Besleme suyunun ön ısıtılmasında olduğu gibi baca gazlarından faydalanarak yanma havasının ısıtılması kazan verimini arttırır.



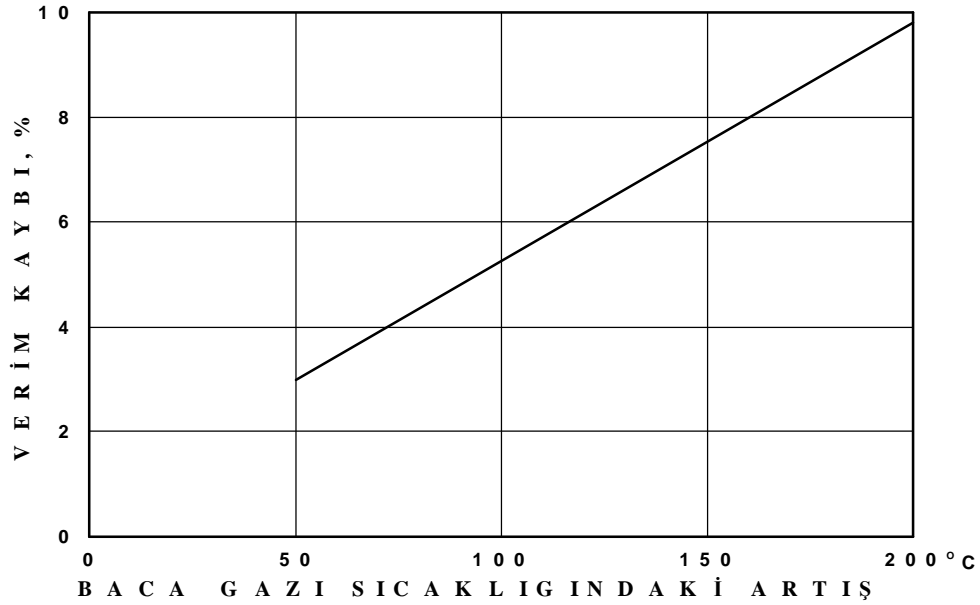
Şekil 4.6: Yanma havasının ön ısıtılmasıyla verim arasındaki ilişki [10].

Eğer yanma havası başka bir kaynakla ısıtılırsa yakıttan tasarruf sağlanır; ama kazan verimi yükselmez.

4.3.10. Isı transfer yüzeylerinin kirlenmesi

Su borulu kazanlarda boruların dış yüzeylerinde, duman borulu kazanlarda iç boru yüzeylerinde oluşan kireç taşı ve kurum birikimi yanma ürünlerinden kazan suyuna ısı transferini engeller. Buna bağlı olarak sıcak gazlar ısılarını suya geçiremeden kazanı terk ederler. Bu durumda artan baca gazı sıcaklığı kazan veriminin düşmesine neden olur.

Kazanlar için verilen ısı verim değerleri her hangi bir kir tabakasının oluşmadığı, temiz yüzeyli yeni kazanlar içindir. Doymuş buhar kazanları dizayn edilirken kazanın tam yükte çalıştığı durumdaki baca gazı sıcaklığı doymuş buhar sıcaklığının 25°C - 40°C üzerinde alınır [10]. Bu dizayn kriteri, başka referans sıcaklık olmaması durumunda, kazan borularının temiz olduğu durum için alınabilir (Ekonomizör veya reküperatör bulunan kazanlar bu kritere uymaz.).



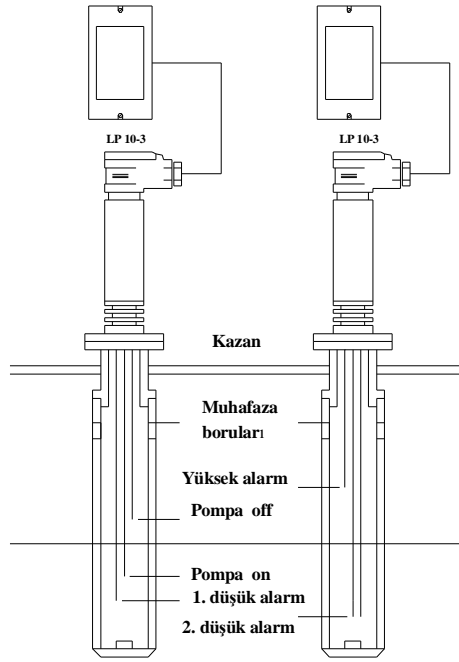
Şekil 4.7: Verim kaybı ile baca sıcaklığı arasındaki ilişki [10].

Şekil 4.7’de baca gazının her 20°C artışında kazan veriminde %1’lik bir azalma olacağı görülmektedir [10]. Bu kazan borularında su tarafından oluşan kireç taşları izolasyon etkisi göstererek ısı transferini engeller ve boruların sıcaklığını yükseltir. Artan baca gazı sıcaklığı, kazan borularının duman tarafında hata yoksa, su tarafında hata olduğunu gösterir. Bu durum yakıt israfına ve kazan borularının deformasyonuna sebep olur. Kazan besleme suyunun iyi hazırlanması bu problemi ortadan kaldıracaktır.

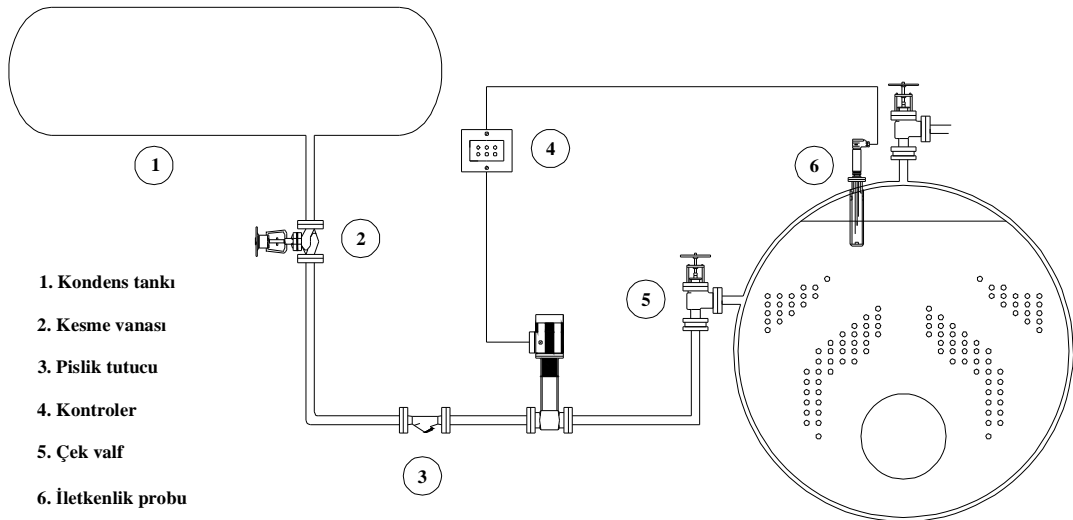
4.3.11. Kazan besleme suyu ve seviyesinin kontrolü

Buhar kazanlarında kazan besleme suyu besleme ve seviye kontrolü çok önemlidir. Kazan içerisinde su seviyesi belirli değerler arasında tutulmalıdır. Su seviyesi üst

değeri aştığında verim düşer ve kazan boğulması meydana gelebilir. Eğer kazan, alt değer altına düştüğünde kazan susuz kalır. Aşırı ısınmadan dolayı kazan borularının mukavemeti azalır. Kızgın kazana ani su girişi ile borular patlayıp, büyük hasarlar oluşabilir. Kazanlarda yapılan limit seviye kontrolünde besi pompaları en alt seviye kontrolünün üstünde ve en üst seviye kontrolünün altında belirlenmiştir. Alt limit seviyeye ulaşıldığında devreye girer üst seviyeye ulaşıldığında durur.

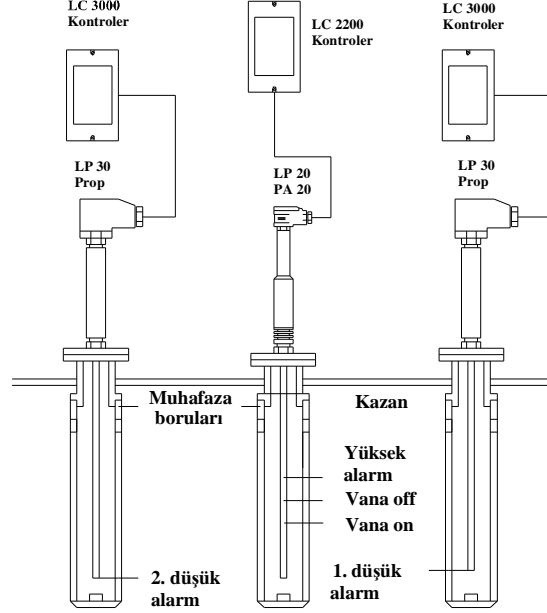


Şekil 4.8 : İletkenlik duyargaları [20].

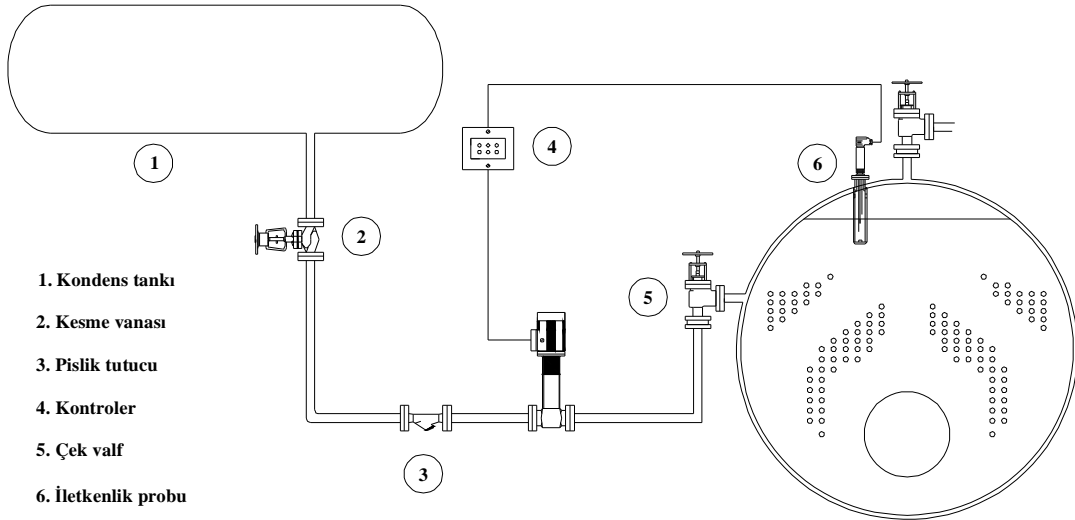


Şekil 4.9: On/off besi suyu sistemi [20].

Bir kontrol vanası bu seviyelerden aldığı sinyallerle tam açık veya tam kapalı (On/Off) olarak çalışır. Şekil 4.8’de iletkenlik duyargaları ve Şekil 4.9’da on-off besi suyu kontrol sistemi gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Kapasitans duyargaları [20].



Şekil 4.11: Oransal besi suyu sistemi [20].

Vananın kapadığı durumda su by-pass hattından geri döner. Bu tür seviye kontrolünde, kazan hacmine bağlı olarak toplam hacmin %3 ile %10’u kadar, nispeten soğuk suyun kazan içine pompalanması ile termal gerilmeler oluşmakta, bu da kazan ömrünü ve verimini azaltmaktadır. İkinci kontrol yöntemi “Oransal Seviye

Kontrolü''dür. Şekil 4.10'da kapasitans duyargaları ve Şekil 4.11'de oransal besi suyu sistemi gösterilmiştir. Bu sistemde kontrol vanası on-off olarak değil, oransal olarak çalışmaktadır. Bu sistemde ön ayar yapılan seviye ile kazandaki mevcut seviye farkı minimum değerde tutularak, alt ve üst seviyeler arasındaki dalgalanma önlenmektedir. Kontrol, bir hissedici elektrot ve buna bağlanan kontrol cihazı ile aldığı sinyallere göre oransal açma, kısma yapan bir kontrol vanası ile sağlanır [3].

4.3.12. Blöf ve kazan suyu kalitesi

Kazana besleme suyu olarak verilen ham suyun içinde bulunan gazlar, organik maddeler ve çeşitli tuzlar kazana zarar verir. Ham suyun içindeki gazlar, kazan yüzeylerinde korozyona, organik maddeler kazan içerisinde köpürmelerin ve kabarmaların oluşmasına, çeşitli tuzlar ise kazan cidarlarında kazan taşının veya kazanın alt kısmında kazan çamurunun oluşmasına neden olur. Tüm bu zararlardan kazanı korumak için, kazan suyunun çeşitli kimyasallar ile hazırlanması gerekmektedir.

Kazan suyunun sertliğini gidermek ve suya bir takım kimyasal özellikler kazandırmak için çeşitli katkı maddeleri kullanılır. Bu katkı maddeleri, buharlaşmanın saf su olarak gerçekleşmesi sebebiyle geride kalır ve su yüzeyine yakın bölgede, çözünmemiş katı konsantrasyonu (TDS) artar. Bu da suyun iletkenliğini artırır. İletkenlikte kazan imalatçılarının verdiği üst limit aşıldığında (7 bar basınçta çalışan kazanlar için 6500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) su yüzeyinde köpürme başlar [20]. Oluşan bu köpük tabakası buharlaşmayı zorlaştırır. Kazan borularının aşırı ısınmasına, kazan borularında hasar meydana gelmesine, kazan veriminde düşüşe sebep olur. Ayrıca buhar ile sürüklenerek, buhar tesisat borularında istenmeyen tabakalar oluşturur, armatürleri bozar.

Su kaynağından gelen veya kondens hattından sürüklenen ve kazan besi suyu içinde kalan katı partiküller, zamanla kazan içinde birikerek çamur meydana getirir. Kazanda meydana gelen bu kirlilikler kazan verimini etkiler ve kazana zarar verdikleri için kazandan uzaklaştırılması gerekir. Kazandan bu kirlilikleri uzaklaştırma işlemine ‘‘Blöf’’ denir.

Buhar sisteminin verimliliği açısından blöfün sakıncaları ;

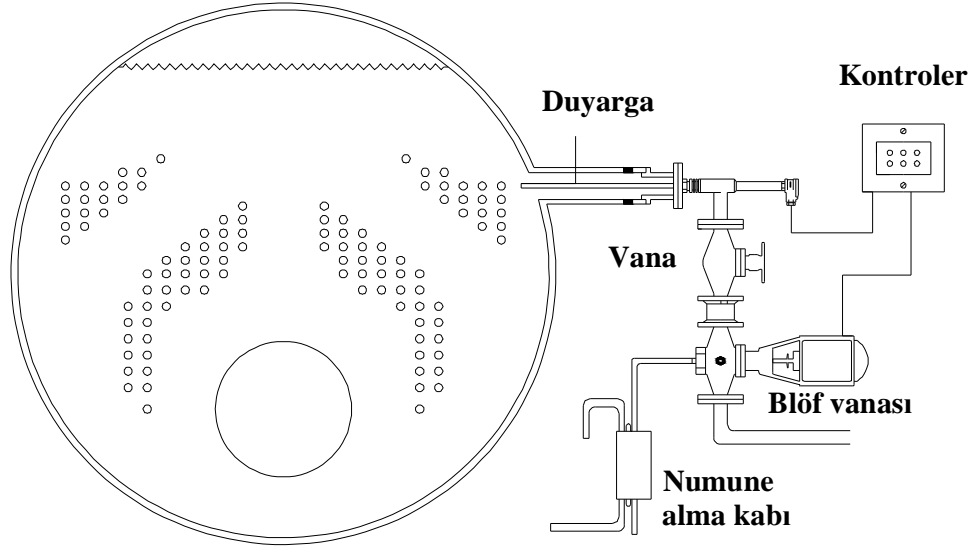
1. Buhar kazanına besleme suyu, su tasfiye cihazından kimyasallar kullanılarak yumuşatılıp alınmaktadır. Blöfün yapılmasıyla, atılan blöf miktarı kadar ham su, tekrar tasfiye cihazlarında kimyasal işlem görerek kazana alınacaktır.
2. Kondens sıcaklığı 70 – 80 °C civarında olmasına rağmen besleme suyunun 10 – 20 °C'dir. Bu durum da enerji kaybına sebep olacaktır.

Blöften amaç, kazan suyu TDS seviyesi veya iletkenliği verilen limitlerin arasında tutulabilmesi için çözünmeyen katıların kazan suyundan uzaklaştırılmasıdır. Bu işlemde otomatik ve manuel olarak yapılmaktadır.

1. Manuel Blöf : Bu sistemde blöf vanası manuel olarak açılarak kazan blöf edilir. (Enerji kaybı fazladır.)
2. Otomatik Blöf : Bu sistem, elektrik iletkenliği prensibine göre çalışır. Kazan su sıcaklığı artması ile elektrik iletkenliği de artar. İletkenlik ayar edilen değerin üzerine çıkınca blöf işlemi gerektiği kadar yapılır [31].

4.3.12.1. Sürekli yüzey blöfü

Buhar üretimi sırasında iletkenlik, saf su buhar olarak yüzeyden uzaklaştığı için suyun yüzeye yakın kısmında artar. Bu nedenle, iletkenlik kontrolü ve yüzey blöfü yüzeye yakın noktadan çıkan yüzey blöf borusundan ve sürekli olarak yapılır. Otomatik kontrollü bir sistem uygulamak suretiyle, yüzey blöf işlemini optimize etmek mümkündür. Sistem, elektrik aktüatörlü yüzey blöf vanası, bir iletkenlik duyar elektrotu ve iletkenliği otomatik olarak izin verilen sınırlar arasında olmasını sağlayan elektronik blöf kontrol edici içerir. Manuel olarak iletkenliği kontrol etmek zordur ve kazan içerisinde iletkenliğin izin verilen en üst değerin altında tutulması gerekir. Genelde işletmelerdeki uygulamalarda belirli aralıklarda yüzey vanası açılarak, iletkenlik belirlenen değerin altına indirilir. Bu sırada doymuş buhar sıcaklığına getirilen su blöf edilerek atılır. Bu büyük bir enerji sarfiyatıdır.



Şekil 4.12: Blöf sistemi [20].

Şekil 4.12’de yüzey blöf sistemi gösterilmiştir. Otomatik yüzey blöfünde iletkenlik en üst düzeye yakın konumda tutulur ve çok az değişimle sabit kalması sağlanır. Bu şekilde enerji tasarrufu sağlanır. Bunun yanında, blöf edilen su faydalı ısı içermektedir. Bunun için, bu su doğrudan kanala atılmadan sahip olduğu enerjinin bir kısmı geri kazanım sistemi ile geri alınmalıdır.

4.3.12.2. Kesikli dip blöfü

Kazan dibinde zamanla çamur birikintileri oluşacak ve bunlar çoğalarak ısıtma yüzeylerinde izolasyon katmanı oluşturacaktır. Bu durum ısı iletimini düşürecektir. Bu sebeple çamur birikintilerini düzenli olarak deşarj etmek gerekir. Bu dip blöf ile gerçekleştirilir. Dip blöf genelde günde 2-3 kere ve vananın 3-10 sn arasında açık kalması ile yapılır. Dip blöften atılan su, doymuş buhar sıcaklığında olduğundan dolayı çok sayıda ve uzun süre yapılan dip blöfler enerji sarfiyatına neden olur [32].

4.3.12.3. Blöf kontrolü

Basit olarak, elle kontrollü sistemde blöf vanası gerekli blöf miktarını verebilecek şekilde olmalıdır. Burada amaçlanan, kazan suyu içerisindeki TDS seviyesini,

kullanılabilecek maksimum seviyenin biraz altında tutmaktır. Bu durum alınacak numunenin analizine göre yapılır ve istenen şartlar sağlanır. Aşağıda blöf miktarının kontrolü ve hesabı için basit bir yöntem sunulmuştur. Kazana giriş yapan besleme suyunun yani kondens dönüşü ve taze suyunun TDS seviyesi biliniyorsa, gerekli blöf aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$BM = \frac{F}{(B - F)} \times S \quad (\text{kg/saat}) \quad (4.7)$$

4.3.12.4. Blöften ısı geri kazanımı

Blöf olarak dışarıya attığımız su kadar, taze su besleme tankından kazana ilave edilir. Blöf sıcak, besleme suyu ise soğuk olduğundan ısı geri kazanımı göz önüne alınmalıdır. Devamlı blöf sistemlerinde kazanılan ısı, aralıklı blöfe göre daha iyidir ve genel olarak devamlı blöfte geri kazanım uygulanır.

Blöf ısı geri kazanım sistemleri 6. bölüm sayfa 83'de anlatılacaktır.

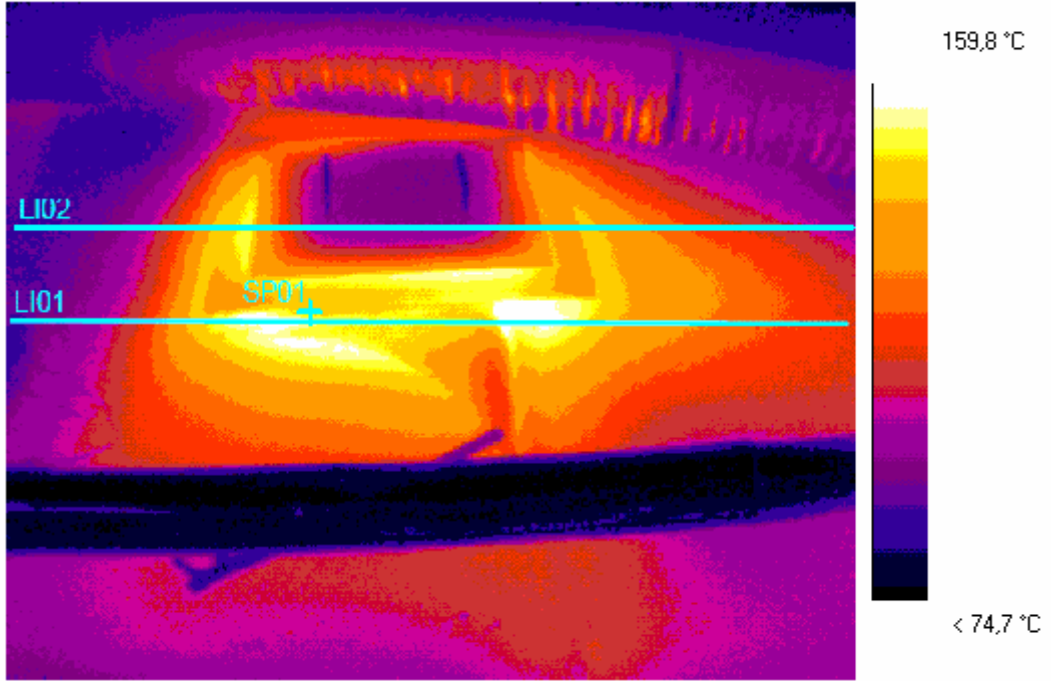
4.3.13. Buhar basıncının düşürülmesi

Kazanda buhar basıncını düşürmek genelde verimi yükseltmede bir yöntem olarak düşünülmez. Bununla birlikte buhar kazanında basınç düşürülmesi pratik olay tesislerde bu yöntem %1-2 arasında yakıt tasarrufu sağlayacaktır [10]. Yakıt tüketiminin azalması baca gazı sıcaklığının düşmesine, bu da kazan verimini yükseltecektir. Ana buhar ve hatlarından daha düşük radyasyon kaybına, flaşlardan daha az kaçaklara ve basınç düşürme istasyonlarında daha az enerji kaybına sebep olacaktır. Aynı zamanda kazan besleme suyu pompası da daha düşük basınçla çalışacağı için daha az elektrik enerjisi tüketecektir.

Kazanlarda basınç düşümü yapılmadan önce sistemin buhar ihtiyacının karşılanıp karşılanmadığı, kazan su taşması ve kazan dizayn limitleri göz önüne alınmalıdır.

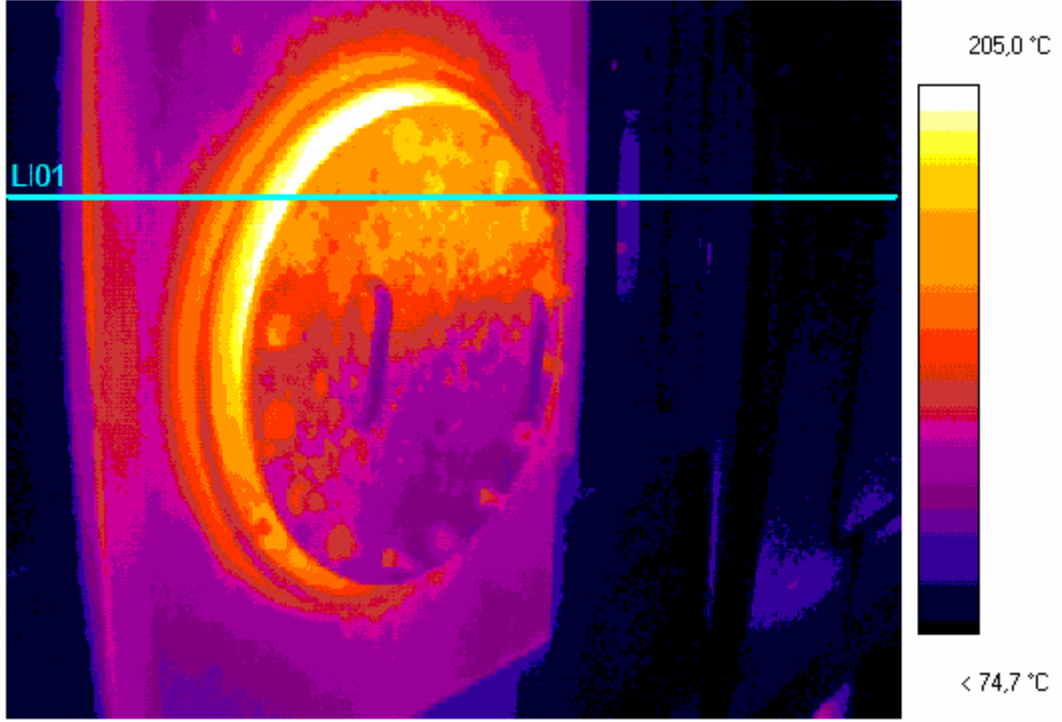
4.3.14. Kazan dış yüzeyinden ısı kayıpları

Kazan dış yüzeyinde ısı kayıpları ‘‘radyasyon ve konveksiyon’’ şeklinde olur. Modern kazanlarda bu kayıp genel olarak kazan tam yükte çalışıyorsa %1’den küçüktür. Eski kazanlarda bu oran izolasyonun zayıf olması nedeniyle %10’a kadar çıkabilmektedir. Radyasyon ve konveksiyon kayıpları ölçü aletleriyle okunarak ölçülemez. Dolayısıyla ısı balansında hesaplanamayan kayıp olarak ifade edilir. Bu kayıplar kazan çalıştığı müddetçe değişmez. Aşağıdaki resimlerde termal kamera ile çekilmiş kazan ısı kayıpları görülmektedir.



Şekil 4.13: Termal kamera ile çekilen kazan resmi

Şekil 4.13’de termal kamera ile çekilmiş kazan ısı kayıpları görülmektedir. Kazan düşük yükte çalışıyorsa, bu kayıplar değişmeyeceği için oransal olarak daha yüksek görülecektir. Eğer bir sistemde buhar üretimi iki buhar kazanının yarı yükte çalışmasıyla elde ediliyorsa, radyasyon ve konveksiyon kayıpları, kazan sayısından dolayı iki kat olacaktır. Birden fazla kazanla buhar üretimi düşünülen sistemlerde radyasyon ve konveksiyon kayıpları göz önüne alınmalıdır [27].



Şekil 4.14: Termal kamera ile çekilen kazan alt kolektörü

Şekil 4.14’de termal kamera ile çekilen kazan alt kolektörü görülmektedir. Açık yüzeylerin sıcaklıkları buhar kazanının ürettiği buharın doyma sıcaklığına göre değişecektir. Enerji kaybı çevre ve dış yüzey sıcaklığının ölçümüyle tahmin edilebilir. Kazan yüzey sıcaklığını ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C üstündeki bir değere düşürecek şekilde yapılmış bir izolasyon, bu tür kayıpları en aza indirmek açısından yeterli ve uygun olarak görülmektedir.

4.3.15. Yakıtın etkisi

Farklı yakıtların bileşimleri kazan verimine etki edecektir. Farklı yakıtların yanmasındaki ayırt edici özellik, içerdikleri hidrojen komponenti ve buna bağlı olarak baca gazı içerisindeki nem miktarıdır.

Yakıtların kendine has buharlaşma oranlarından dolayı, her bir yakıtın ortaya çıkaracağı ısı da farklı olacaktır. Buna bağlı olarak yakıtların cüruf, is ve kirlenme karakterleri birbirlerine benzemeyecektir. Sıvı ve gaz yakıtlar arasında verim farkı vardır. Örneğin tam yanma prosesinde, karbon atomları karbondioksiti oluştururken, hidrojen atomları su buharı oluşturur. Korozyon problemlerinden dolayı buharlaşma

gizli ısı bacasından yeniden elde edilemez. Doğalgazın hidrojen içeriği daha fazla olduğu için baca gazı içerisindeki su buharı miktarı fazla olacaktır. Bu da baca gazında oluşan enerji kaybını artırarak; kazan verimini sıvı yakıtlı kazanlara göre düşürecektir. Teoride sıvı kazan yakıtının gaz yakıtına göre daha yüksek verimi olmasına rağmen, pratikte ciddi farklılıklar yoktur. Yanmanın tamamlanması için sıvı yakıtta, gaz yakıtına göre daha fazla hava gerekmektedir ve hava ile karışımı çok daha zor olur. Sonuç olarak, sıvı yakıtların depolama problemleri vardır. Yakıtların pompalama problemleri ve ısı kayıpları göz önüne alındığında sıvı yakıtlı kazanların toplam veriminde düşme görülecektir. Buna ek olarak yakıt bileşimlerinin ısı içeriği veya kalori değerinin de önemli etkisi vardır [16].

5. BRÜLÖRLER

Brülörler günümüzde kazanlar için büyük önem arz etmektedir. Brülör sıvı ve gaz yakıtların ateşlemesinde kullanılan ana ekipmandır. Brülör aşağıdaki kriterlere uygun olmalıdır;

Tüm çalışma durumlarında, başlatma ve kapatma durumunu içeren yük farklılığında ve yakıt değişikliğinde güvenli çalışmalıdır.

1. Yanma verimi, gerekli minimum hava fazlasıyla olabilecek en yüksek değerde olmalıdır.

2. Kabul edilebilir verimlilik için tasarım, yeterli yanma oranı sağlamalıdır.

3. Malzemelerin yapımı ve tasarımı güvenilirlikleriyle uyumlu olmalıdır ve bakım gereksinimi az olmalıdır.

Kazanda eksik yanmanın ana sebebi, brülörlerde yakıt ve hava karışımının yetersiz olmasıdır. Gaz yakıtlar hava içinde kolayca yayıldığı için, yakıtın hazırlanmasına gerek yoktur. Ancak, sıvı yakıtlarda durum farklıdır. Sıvı yakıtlarda iyi bir karışım için, yanma havasında atomizasyon veya buharlaşma gerekmektedir. Sıvı yakıt ön ısıtıcı tarafından buharlaştırıldıktan sonra hava ile karışımı sağlanır. Bu teknik düşük kapasiteli brülörlerde kullanılan gaz yağı gibi düşük kaynama noktasına sahip yakıtlarda uygulanır. Atomizasyon buhar, sıkıştırılmış hava veya mekanik güçle de yapılabilir.

Brülör tasarımlarında, hava yanma bölgesinden iki aşamada geçirilir. İlk hava brülörde veya brülörden önce yakıt ile karıştırılır. İlk hava yanmaya katkıda bulunmasına rağmen, yanmanın tamamlanması için yeterli değildir. Yanmayı tamamlamak için yeterli olan ikinci hava en uygun yanma verimini sağlamak için uygulanır.

5.1. Gaz Yakıtlı Brülörler

Gaz yakıtlar kolayca havada yayıldığı için, yakıtın hazırlanması gerekli değildir. Yanma süresi kısa olup tutuşma sıcaklığına bir kez varılır ve uygun türbülans sistemde sağlanır.

Basit olarak iki tip yakıt brülörü vardır :

1. A.Ön karışım brülörler
B. Nozul karışım brülörler
2. Atmosferik basınçlı brülörler

5.1.1. Ön karışım brülörler

Ön karışım brülörlerde birleşik bir yapı oluşturulmuştur. Brülörün tek yanma borusu bulunmakta ve bu boru yanma odasına girmektedir. Brülör plakası ile ön karışım brülör yanma odasına sızdırmaz biçimde monte edilir. Bu brülörde alevin şekli sabittir. Ön karışım brülörleri kuvvet-akım uygulaması gerektiren yerlerde kullanılır. Hava ve yakıtın ön karışımı kısa ve güçlü alev vermesi nedeniyle, ön karışım brülörleri kısa alev gerektiren ocaklarda sıkça kullanılır [27].

5.1.2. Nozul karışım brülörler

Bu brülörlerde hava ve yakıt nozulda karıştırılır. Bu metotta geniş delikler kullanıldığı için gaz karışımı problemlidir. Bu brülörler genellikle parlak alev üretmekte olup, küçük çaplı boru veya büyük çaplı ring ile yanma odası içerisine uzanır. Ufak çaptaki boruyla veya büyük çaptaki yüzük yanma odasına kadar uzanır. Birkaç yakıt nozulundan giren gaz, yanma havasıyla hızlı bir şekilde karışarak yanma bölgesine girer. Bu yöntem küçük çaplı endüstriyel ve ticari kazanlarda çok kullanılır. Genelde nozul karışım brülörlerinde hava-yakıt oran kontrolü kolaylıkla sağlanır.

5.1.3. Atmosferik basınçlı brülörler

Bu brülörlerin en büyük avantajı doğal akım ile çalışabilmesi sayesinde, hava dağıtımı için enerji gerektirmemesidir. Bununla birlikte bu tip brülörlerin kapasitesi oldukça sınırlıdır. En büyük dezavantajları yakıt/hava kontrolünün zorluğudur. Kontrol sadece elle yapılır bu yüzden kontrol hassas değildir. Nozuldan yüksek hız ile çıkan yakıt, manuel olarak ayarlanmış hava diskinin slotlarından geçerek hava akımı ile karışır. Bu tasarımın bir başka modeli de venturi gövdenin çevresinden ilave hava akımı sağlayan ön karışım(nozul karışım) brülörleridir. Bu brülörlerde de hava akımı manuel olarak yapılır. Ancak bu dizaynda hassas kontrol yapılır ve nispeten daha yüksek kapasitelidir.

Atmosferik basınçlı brülörlerde hava giriş slotlarında ve alev nozulunda uyumsuzluk veya kirlilik, kazan verimini kolaylıkla düşürebilir. Yanma oranının kontrolü, gaz akışının manuel olarak ayarlanmasını gerektirir. Uygun hava-yakıt oranı her yakıt için manuel yapılarak tespit edilebilir. Sürekli olarak hava-yakıt oranını optimum değerde tutmak çok zordur.

5.2. Sıvı Yakıt Brülörleri

Sıvı yakıt brülörlerinde yakıt gelmeden evvel içindeki katı partiküllerin tutulması ve viskoziteyi düşürmek için ısıtma işlemi gibi, ön işlemler gerekir. Sıvı yakıt brülörleri hava-yakıt oranına ilave olarak bunları karıştıran ve yakıtı yanmaya hazırlayan cihazlardır. Brülör yakıtı temel olarak iki yöntemle yanmaya hazırlar.

1. Brülör içindeki ısıtıcı tarafından sıvı yakıt buharlaştırılabilir.
2. Brülör tarafından yakıt atomize edilebilir. Bu sayede yanma bölgesinde buharlaşma meydana gelebilir.

Birinci gruptaki brülörlere genellikle buharlaştırıcı brülörler denir ve düşük güçlerde kullanılır. Eğer sıvı yakıt uygun anda yanma bölgesinde buharlaştırılırsa, çok küçük parçacıklara ayrılan yakıt taneciklerinin ısınma yüzeyleri artar.

Bu atomizasyon üç yolla etkilidir :

1. Buhar ve basınçlı hava kullanılmasıyla sıvı yakıt parçacıkları ayrılır.
2. Basınç altındaki sıvı yakıt nozuldan geçer.
3. Yakıt filmindeki damlacığın merkezkaç kuvveti sayesinde dağıtılması.

Bu üç tip endüstride uygulama alanı bulan brülörlerdir.

Yakıtın tam yanma şartlarına yaklaşması için yüksek türbülans gereklidir. Brülör, yakıtın hızlı buharlaşması için yakıtın küçük parçalara ayrılmasını ve hava alarak yakıt parçacıkları ile havayı hızlı bir şekilde hareketini sağlar. Bu yakıt-hava hareketi yanma bölgesinde homojen bir karışım sağlar. Brülör yakıt damlaları ile hava arasında hareket sağlamalıdır.

Atomizasyon şekline göre , sıvı yakıt brülörleri beş kısma ayrılır :

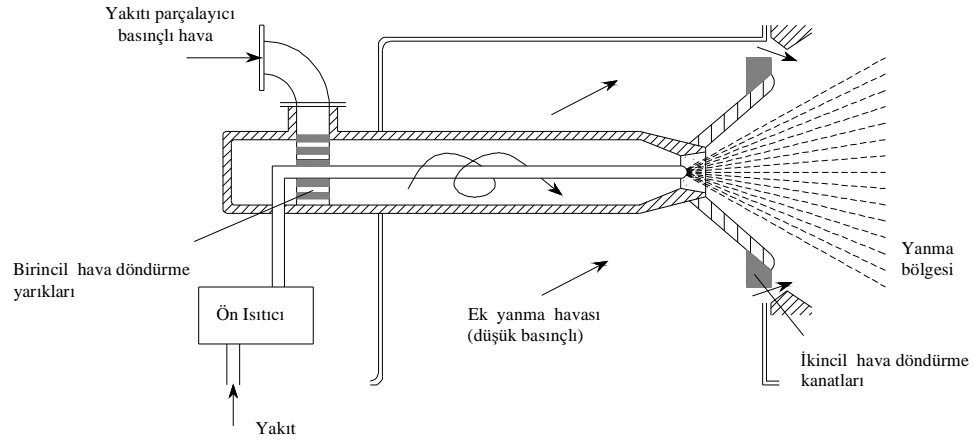
1. Buhar atomizasyonlu brülörler,
2. Hava atomizasyonlu brülörler,
3. Mekanik atomizasyonlu brülörler,
4. Nozul basınçlı brülörler,
5. Rotatif dönel kafalı brülörler.

5.2.1. Buhar atomizasyonlu brülörler

Bu sistem de brülörde, yakıtı atomize etmek için 5 ile 10 bar arasında buhar kullanılır. Buhar jeti ve sıvı yakıt, brülörün içinde veya dışında konsantrik kanal boyunca karışır. Bu brülörler her türlü sıvı yakıt viskozite ve sıcaklığa bağlı olmaksızın yakma yeteneğine sahiptir. Hava-yakıt oranı 7:1'dir [33]. Brülör kapasitesi, yakıcı kafası değiştirilerek kolaylıkla değiştirilebilir. Bununla beraber bu tip brülörlerde buhar basıncı çok önemlidir. Basıncıdaki düşüm yakıt atomizasyonunun zayıflamasına neden olur.

5.2.2. Hava atomizasyonlu brülörler

Hava atomizasyonlu brülörler, buhar atomizasyonlu brülörler ile aynı prensiple çalışır. Aradaki fark buharın yerini havanın almasıdır. Bu brülörlerde kullanılan havanın basıncı 2 bar altı ve 7 bar üzerinde brülör tasarımına bağlı olarak değişmektedir. Hava-yakıt oranı 7:1 de bile hava basıncının 3 bar ve üzerinde olması mümkündür. Şekil 5.1’de hava atomizasyonlu brülör görülmektedir. Hava atomizasyonlu brülörler büyük kazanlarda yüksek maliyetten dolayı yaygın olarak kullanılmazlar. Bununla beraber küçük doymuş buhar kazanlarında yaygın olarak kullanılırlar.



Şekil 5.1: Hava atomizasyonlu brülör [14].

5.2.3. Mekanik atomizasyonlu brülörler

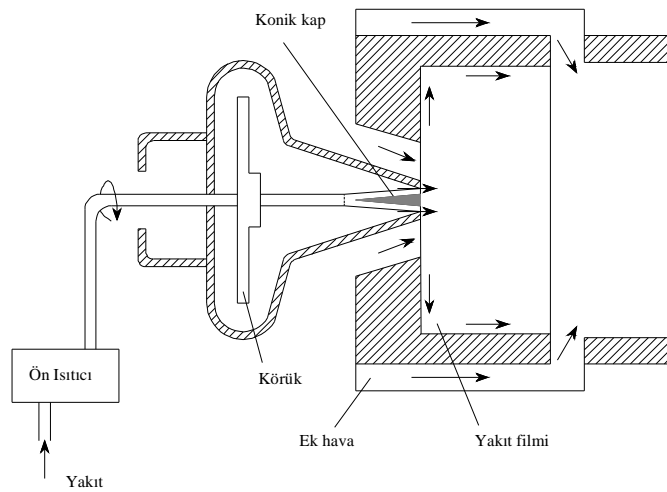
Bu brülörler namli tip brülörler olarak da adlandırılırlar. Slot disk yardımıyla küçük orifis içinden yüksek basınç (genellikle 5 ile 14 bar arasında veya daha yüksek) altında geçen sıvı yakıt atomize olur. Yakıt, atomizasyonun meydana geldiği nozula girmeden önce disk tarafından döndürme hareketi verilerek sıkıştırılır. Basınç ve akışa bağlı olarak en iyi atomizasyon dar brülör hacminde meydana gelir. Farklı tip brülör kafaları ile farklı nozul açıklıkları aynı brülör gövdesinde kullanılabilir.

5.2.4. Nozul basınçlı brülörler

Bu brülörler mekanik atomizasyonlu brülörlerle aynı prensipte göre çalışır. Yüksek viskozitedeki ağır sıvı yakıtların ısıtılması kaydıyla bütün yakıtlar için kullanılabilir. Bu brülörlerde genellikle 20 bar basınç istenir. Bu basınç değeri ise mekanik atomizasyonlu brülörlerden çok yüksektir. Bu tip brülörlerde yanma oranı 10:1'dir [33]. Bu brülörlerin düzgün yanma ve hava-yakıt oranı sağlama önemli özelliğidir.

5.2.5. Rotatif dönel kafalı brülörler

Bu tip brülörlerde sıvı yakıt, dar deliklerden geçirilerek atomizasyon sağlanır. Konik veya silindirik kap yüksek hızda döner (2500dev/dak). Kap içerisinde dönen yakıt, kabın kenarlarına ulaşır ve burada merkezkaç kuvveti bunu hava akımı içinde çevirir. Bu brülörlerde hava-yakıt oranı 5:1'in üzerindedir [33]. Bu tip brülörler otomatik ateşleme kazanlarında kullanılır. Bu brülörler her viskozitedeki sıvı, mazot, ağır yağ fuel oil yakıtını verimli bir şekilde yakabilme özelliği vardır. Bu brülörler 0,5-40 MW kapasiteye kadar kullanılabilir. Şekil 5.2'de rotatif dönel kafalı brülör şekli görülmektedir. Diğer sistemler ile karşılaştırıldığında performans açısından nispeten iyi olmasına rağmen maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle pek tercih edilmeyen brülörlerdir [14].



Şekil 5.2 : Rotatif dönel kafalı brülör [14].

5.3. Brülör Kontrol Sistemleri

5.3.1. Yakıt akışının manuel kontrolü

Bu tür sistemlerde yakıt akışı, yakıt valfinin elle kontrolüyle sağlanır. Operatör kazan basıncı ve ocak sıcaklığına göre yakıt akışını ayarlar. Hava akışı, elle kontrol edilen damperlerden veya valflerden yapılır. Bazı sistemlerde direkt olarak hava akışı kontrolü yoktur. Hava akışı, brülör portlarının açıklığına ve ocağın tasarımına bağlıdır.

Dezavantajlar :

Bu sistemde hava-yakıt oranı tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle, kazan verimi değişiklikler gösterir. Ocağa gönderilen yakıt karışımı fazla olduğu zaman, tehlikeli durumlar oluşabilmektedir.

Önerilen Uygulamalar :

Yakıt akışının manuel kontrolü, küçük uygulamalar dışında pek önerilmez. Sistemde en azından yakıt kontrol valfi ve hava damperi açıklık değerleri standart uygulamalar için belirlenip, işaretlenmelidir.

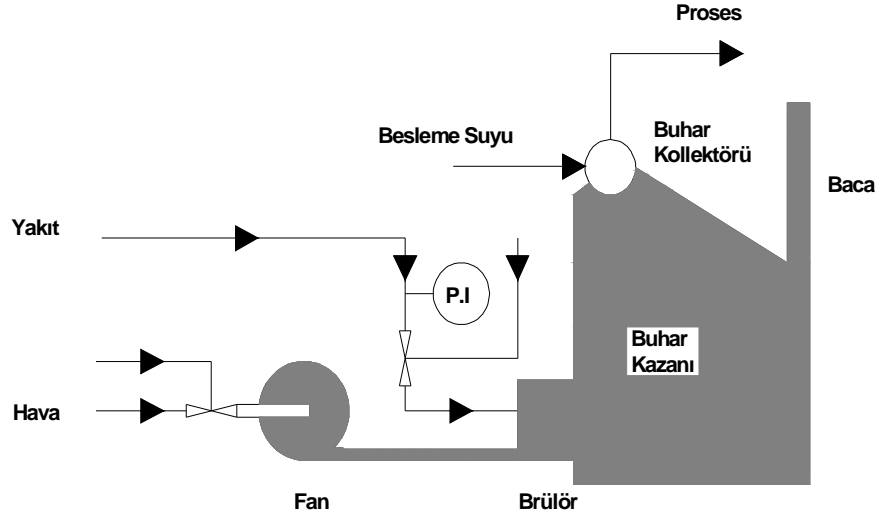
5.3.2. Hava-yakıt akışının kontrol sistemi

Manuel kontrolde, hava damperi ve yakıt valfi şaft vasıtasıyla birbirine bağlanmıştır. Hava damperi ve yakıt valfinin düzenlenmesi, ayarlanan şaft tarafından belirlenir. Bu mekanizma tek noktalı pozisyon olarak bilinir. Bu düzenlemede hava damperi ve yakıt valfinin bağımsız ayarlanması yerine, operatör ortak şaft sayesinde tek ayarlama yapar.

Dezavantajlar :

Yakıt ve hava basınçlarının sürekli ihtiyaçları karşılamayabilmesi sistem ile ilintili mekanik bağlantıların uygunluğuna bağlıdır. Yakıt basınçları kışın ve yazın değişmektedir. Basıncıdaki günlük değişim özellikle kış aylarında olmaktadır. Hava üfleyicilerinin performansına etki eden voltaj değişimleri ile hava basıncı da

değişebilmektedir. Bu dalgalanmaların önüne geçilmesi için mekanik bağlayıcıların sıkça ayarlanması gerekmektedir. Yakıtın basınç ve voltajında değişimlerin meydana geldiği yerlerde mekanik bağlantı sistemleri önerilmez. Şekil 5.3’de elle kontrol sisteminin mantık diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.3: Elle kontrol sistemi

Önerilen Uygulamalar :

Manuel kontrol sistemleri yakıt ve havanın sabit basınçta olduğu küçük kazan ve fırınlarda kullanılır. Bu sistem hava/yakıt karışımının bağımsız olarak kontrol edildiği sistemden verim açısından oldukça iyidir. Bu sistemler tek brülör ve tek yakıt için uygundur.

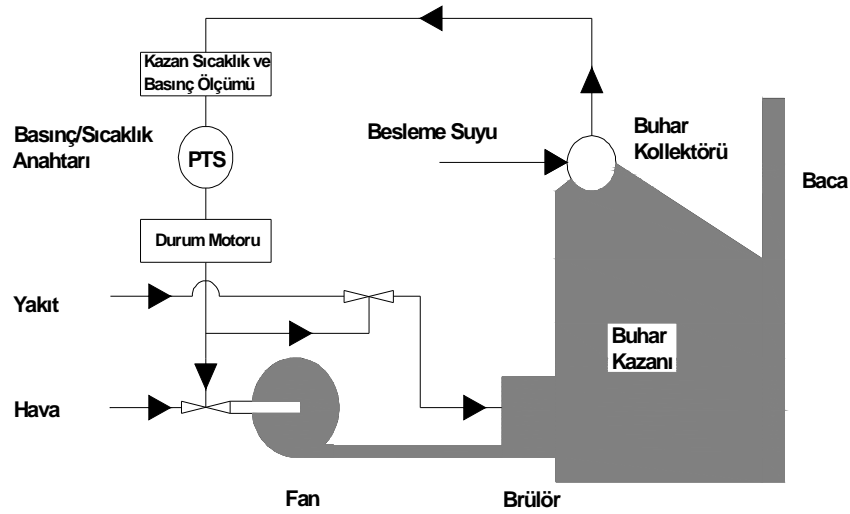
5.3.3. Aç-kapa (on-off) kontrol sistemleri

Aç-kapa kontrol sistemlerinin çalışması, termostatik kontrolle benzerlik gösterir. Kazan basıncı veya yanma odası sıcaklığı ayarlanan değerin altına düşmesi durumunda yakıt ve hava önceden ayarlanan oranda brülöre gönderilir. Hava damperi ve yakıt valfinin çalışması ortak şaftla bağlantılı modülasyon motoru vasıtasıyla olur. Eğer kazan basınç ve sıcaklığı ayarlanan değerinden daha yüksek değere ulaşırsa, yakıt ve havanın her ikisi birlikte kesilir ve sadece pilot alevi yanık kalır. Kontrol mekanizması Şekil 5.4’de gösterilmiştir. On-off kontrolleri tek ateşlemeli veya çoklu ateşlemeli olabilmektedir. Tekli ateşlemede brülör ateşi

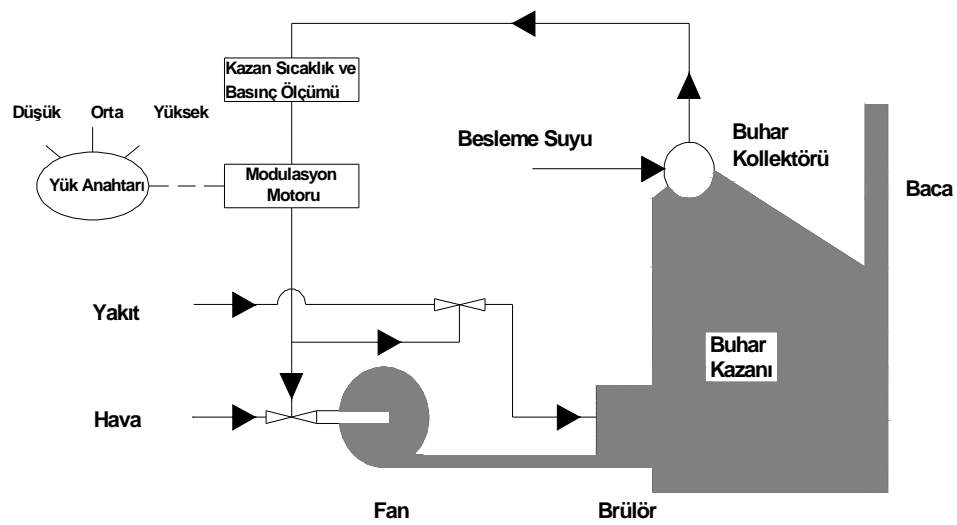
yalnızca tek pozisyondadır. Çoklu ateşleme ile, operatör düşük, orta, yüksek ateşleme pozisyonunu seçebilmektedir. Böylece çoklu ateşleme yük değişimlerinde daha yüksek esneklik sağlar. Şekil 5.5'te çoklu pozisyonlu on-off kontrol sistemi gösterilmiştir.

Dezavantajlar :

Kazan basıncı ve yanma odası sıcaklığı değişimleri ile sınırlıdır. Kazan yük aralığı arttıkça verim düşer.



Şekil 5.4: Tek ateşlemeli aç-kapa kontrol sistemi [33].



Şekil 5.5: Çoklu ateşlemeli aç-kapa kontrol sistemi

Önerilen Uygulamalar :

On-off kontroller genel olarak duman borulu ve ufak su borulu kazanlarda kullanılmaktadır.

5.3.4. Modülasyon kontrolleri

5.3.4.1. Tek nokta konumlu kontrol

Tek noktadan konumlu kontrol, manuel pozisyonlu kontrolün otomatik versiyonudur. Tek nokta konumlu kontrolde, hava akış damperi ve yakıt valfi modülasyon motoru vasıtasıyla birbirleri ile mekanik olarak bağlıdır. Kazan basıncı ve ocak sıcaklığı ile operatör tarafından belirlenen ayar noktası arasındaki fark modülasyon motorundaki sinyali belirler.

Dezavantajlar :

Tek nokta konumlu kontrolde, yakıt-hava oran ayarlamaları brülör çalışmaya girmeden önce mekanik bağlayıcı ve kam açılarındaki değişimler sayesinde yapılır. Brülör çalışırken yakıt-hava oranı değiştirilemez. Bu tür kontrol sistemleri değişken yük durumları için uygun değildir.

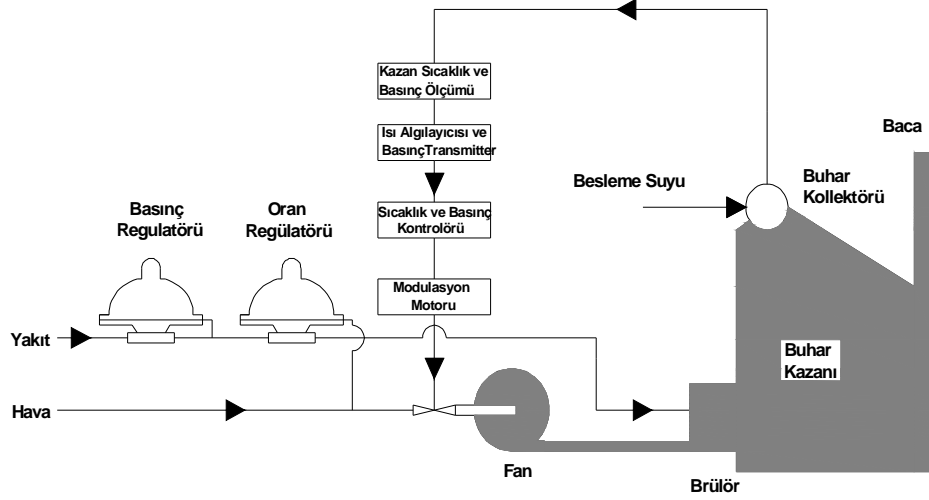
Önerilen Uygulamalar :

Tek nokta konumlu sistemleri özellikle yük değişimlerinin az olduğu uygulamalara uygundur. Güvenlik ve basitlik bu sistemlerin ayırt edici özelliğidir ve tek brülörlü paket kazanlarda yaygın olarak kullanılır.

5.3.4.2. Basınca bağlı yakıt-hava karışım kontrolü

Basınca bağlı yakıt-hava karışım kontrolü, yakıt ve hava kontrol valflerinin akışa karşı gösterdiği direnç tüm yakıcı sistemler için sabit olduğu kabulüne göre çalışır. Basınç tabanlı kontrol sisteminde yakıt-hava oran regülatörü, yakıt ve hava basınçlarını eşit veya orantılı tutar. Şekil 5.6'te bu kontrol sistemi gösterilmiştir.

Sıcaklık veya basınç denetleyicisi, modülasyon motoru vasıtasıyla hava kontrol valfini ayarlar. Hava akışındaki basınç değişimleri regülatöre iletilir. Ayar regülatörü, yakıt basıncıyla orantılı havanın basıncını ayarlar.



Şekil 5.6: Basınca bağlı yakıt-hava karışım kontrolü

Dezavantajlar :

Basınç tabanlı sistemin maliyeti, mekanik bağlantılı sistemden yaklaşık olarak %50 daha yüksektir. Bununla beraber, hassas yanma kontrolü ve geniş çalışma aralığıyla enerji tasarrufu sağlar.

Önerilen Uygulamalar :

Bir basınç tabanlı sistem, brülörün ateşleme aralığı boyunca yakıt-hava oran kontrolünün doğru olmasını sağlar. Mekanik bağlantılı sistemlerden farklı olarak, basınç tabanlı sistemin verimi yakıt ve havanın basınç değişimleri tarafından etkilenmez. Bu sistemler yakıt ve hava basıncında değişikliklerin olabileceği uygulamalarda önerilmektedir.

5.3.4.3. Paralel konumlandırılmalı kontrol

Paralel konumlandırılmalı sistemlerde, hava ve yakıt ayarı kam konumlandırıcısı ile bağlantılı olarak modülasyon motoruyla yapılabilir. Brülör çalışırken, manuel veya otomatik ayarlama tüm yük aralığı için, yapılabilir.

Dezavantajlar :

Paralel pozisyonlu kontrol sistemi gaz ve sıvı yakıtlar için önerilmemektedir. Bunun sebebi yakıt ve hava kontrol elemanları ateşleme sırasında güvensiz çalışmaktadır.

Önerilen Uygulamalar :

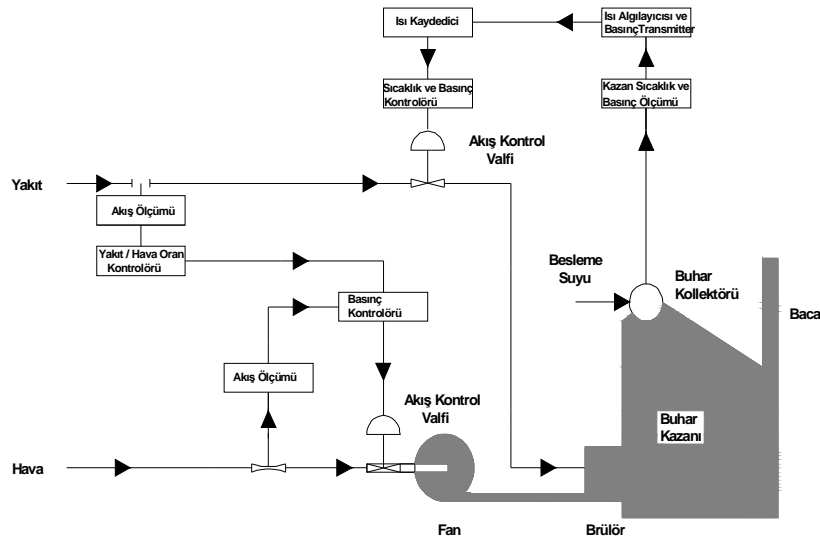
Paralel konumlandırılmalı kontrol sistemi kömür, talaş gibi depolanabilen ve yanmamış yakıtların büyük miktarda bulunduğu yerlerde kullanılır.

5.3.5. Ölçmeli kontrol sistemleri

Bu sistemlerde, hava-yakıt oranının kontrolü ölçülen hava ve yakıtın akışlarına bağlıdır. Kazana istenen miktarda yakıtın gönderilip gönderilmediğini kontrol için, denetleyiciye geri besleme sinyali olarak ölçülen akışlar alınır. Bu metot yakıt kalitesindeki değişimlerin kazan performansındaki etkilerini kompanse eder ve geniş yük aralığı için yanma verimliliğinin devamlılığını sağlar.

5.3.5.1. Seri ölçmeli yakıt-hava kontrolü

Bu sistemde, yakıt akışındaki ayarlamalar yakıt basıncı veya ocak sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak yapılır. Yakıt akışındaki değişimler ölçülür ve arzu edilen orana göre yanma havasının debisi ayarlanır.



Şekil 5.7: Seri ölçmeli yakıt-hava kontrol sistemi

Kontrol mekanizmasının mantık diyagramını Şekil 5.7’de içermektedir.

Sistemin çalışması :

1. Sıcaklık veya basınç kontrolörü kazana yerleştirilmiş ısı algılayıcısından (termokupl) sinyali alır. Basınç kontrolörü, kazan kollektörüne yerleştirilmiş basınç transmitterinden sinyali alır.

2. Kontrolör ölçülen sıcaklık ve basınç ile istenilen değerleri karşılaştırır ve kontrol valfi vasıtasıyla düzenleme yapar. Yakıt akışında olabilecek değişim yakıt hattına yerleştirilmiş olan orifis vasıtası ile ölçülür. Akış ölçümünde düşen basınç sinyali, doğrusal akış sinyaline dönüştürülür. Orifisteki basınç düşmesi akış transmitteri tarafından basınç düşümü sinyaline dönüştürülür.

3. Akış sinyali oran kontrolörünü besler. Oran kontrolörünün çıkış bilgisi hava akış kontrolörünün ayar noktasıdır ve bu da operatör tarafından ayarlanan yakıt-hava oranı ile belirlenir.

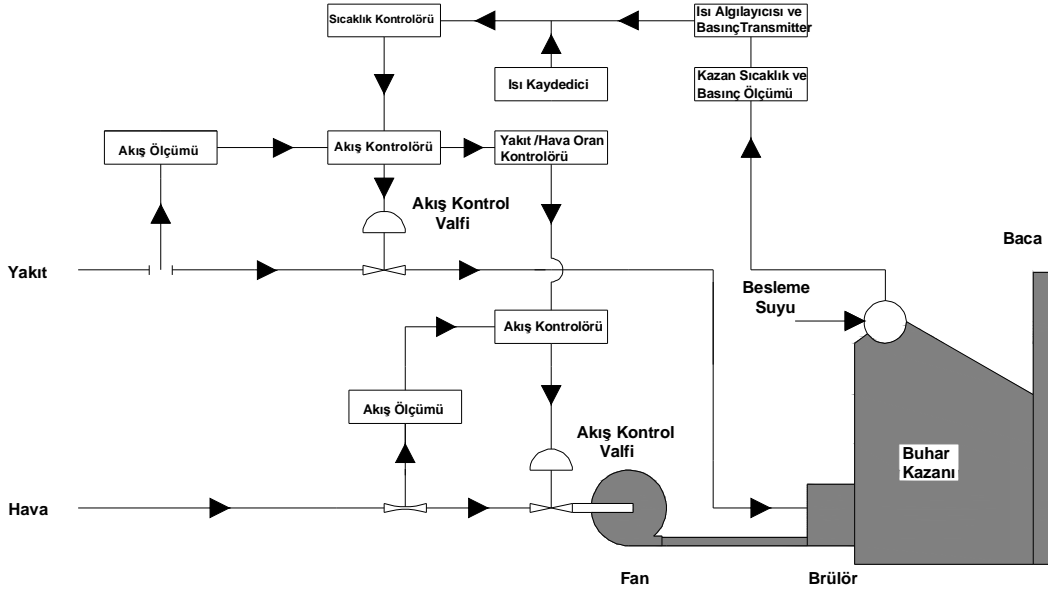
4. Akış kontrolörü aynı zamanda hava akış sayacından akış sinyalini alır. Oran kontrolörü tarafından ayar noktası ile karşılaştırılır ve hava akış damperi için gerekli hava akış oranını ayarlar.

Dezavantajlar :

Bu tip kontrol sistemi ile yükün ani artması durumunda, hava akış damperinin çalışması yakıt kontrol valfinin gerisinde kalabilmektedir. Bunun sonucunda eksik yanma olur ve güvensiz zengin yakıt karışımı yanma odasında oluşur. Bu nedenle, seri ölçüm sistemlerinin kullanımı kazan basıncında veya ocak sıcaklığında önemli değişimlerin olmadığı uygulamalarda sınırlandırılmıştır.

5.3.5.2. Paralel ölçmeli yakıt-hava kontrolü

Seri tiple karşılaştırıldığında paralel sistemlerde yakıt ve hava akış düzenlemeleri aynı zamanda yapıldığı için yük değişimlerine karşı daha hızlı tepki verir.



Şekil 5.8: Paralel ölçmeli yakıt-hava kontrol sistemi

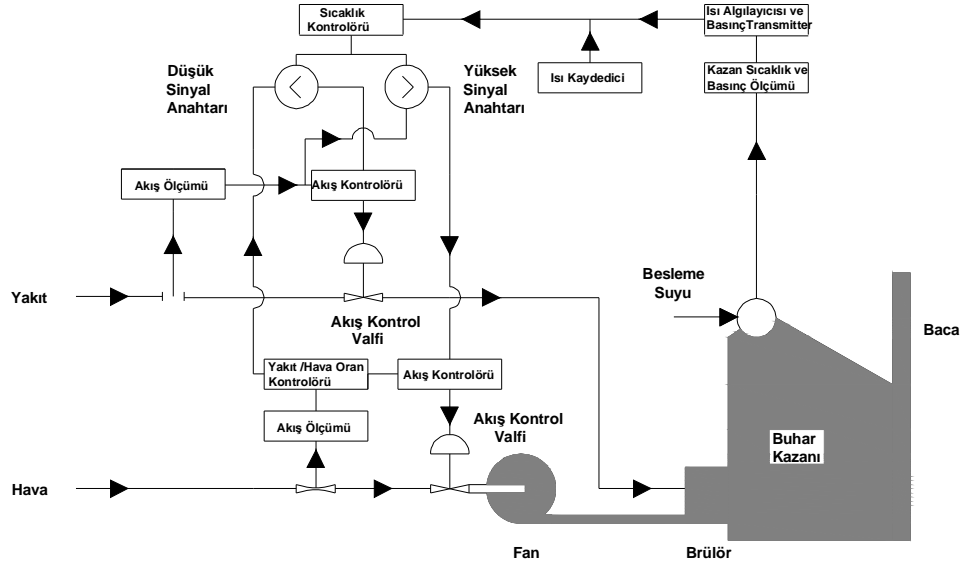
Şekil 5.8’de kontrol sisteminin diyagramı gösterilmiştir. Ana kontrol elemanı, operatör tarafından ayarlanan basınç veya sıcaklıktaki sapmaları bulur ve yakıt ve hava akış kontrolcülerine ayarlanmış sinyalleri düzelterip gönderir. Yakıt ve hava akış kontrolcülerini de akış ölçüm aygıtlarından giriş bilgilerini alır ve ana kontrolcü tarafından ayarlanan akış oranlarını saptar.

Dezavantajlar :

Paralel ölçüm sistemleri yük değişimlerinin az olduğu uygulamalarda sınırlandırılmıştır.

5.3.5.3. Karşıdan sınırlanmış ölçmeli kontrol

Bu kontrolün yük değişimi esnasında, oluşabilecek zengin karışımı önlemek için özel sinyal alıcısı vardır. Seri ve paralel ölçmeli sistemlerin tersine, yük artışı durumunda daima hava yakıtı yönlendirir ve yakıt, yük artışının gerisinde kalır. Şekil 5.9’da kontrol sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Karşıdan sınırlanmış ölçmeli kontrol sistemi

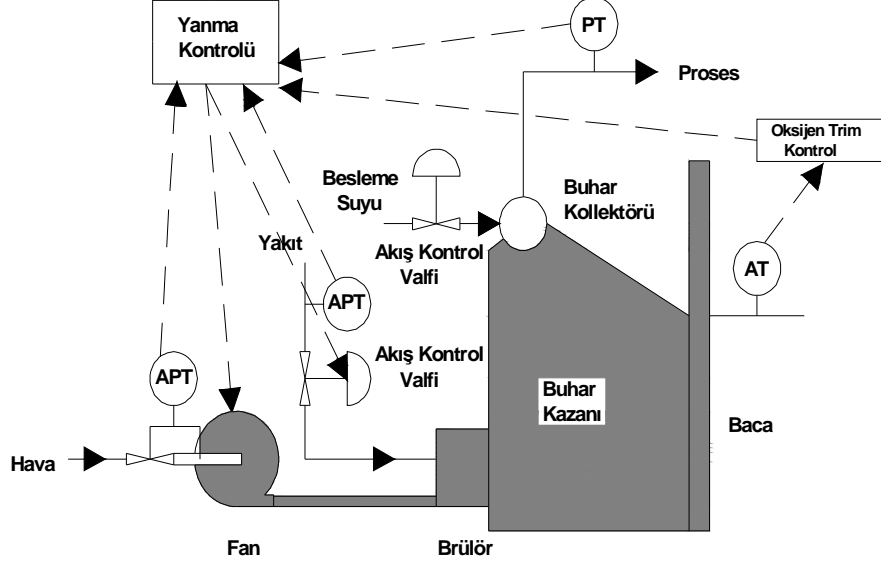
Sistemin çalışması :

1. Sürekli akış durumları altında sistemin çalışması paralel ölçümlü sistemle benzerlik gösterir. Yakıt ve hava akış kontrolörleri akış oranını set noktasında sıcaklık ve basınç kontrolörleri sayesinde tutar.
2. Yük artışı olduğunda, basınç ve sıcaklık kontrolcüsünden yakıt akış kontrolcüsüne gönderilen sinyali, düşük selektör modülü engeller. Yakıt akış kontrolcüsü hava akış ölçüm sisteminden ayar noktasının sinyalini alır. Bundan dolayı, hava akışında artış olana kadar yakıt akışında artış olamaz.
3. Yük azalışı olduğu zaman ise, yüksek selektör modülü ana kontrolcüden hava akış kontrolcüsüne ayar noktası sinyali gönderilmesini engeller. Hava akış kontrolörü bu durumda, yakıt akış ölçüm sisteminden ayarlanmış sinyali alır. Hava akışı, yakıt akışı ayarlamadan düşmez.

5.3.6. Oksijen trim sistemleri

Yanma verimliliği, baca içerisindeki fazla hava ve yanmamış yakıt miktarının azalması ile artar. Örneğin hava fazlalık değerlerindeki oksijenin her yüzde azalışı,

yanma veriminin yaklaşık %1 oranında iyileşmesine sebep olur. Oksijen trim sistemi bacada oksijeni ölçerek ve hava akışını ayarlayarak; yanma için gerekli hava fazlalığını kontrol eder [33].



Şekil 5.10: Oksijen trim kontrol sistemi [33].

Sistemin çalışması :

Kontrol sisteminin mantık diyagramı Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Oksijen trim sistemin çalışması aşağıda özetlenmiştir.

1. Oksijen sensörü baca gazındaki oksijen miktarını ölçer ve oksijen kontrolörüne bilgi olarak iletir.
2. Oksijen kontrolörü ölçülen oksijen değeri ile ayarlı değeri karşılaştırır. Ayarlı değer operatör tarafından belirlenir. Oksijen kontrolörü ayarlı set noktasının sinyalini hava-yakıt oran kontrolörüne gönderir.
3. Yüksek/düşük (high/low limit) sınır alarmı analizör/transmitter yakıt-hava karışımının hatalı okumasını engeller.
4. Yakıt-hava oran kontrolörü yakıt-hava oranını bacadan aldığı signallere göre ayarlar. Ölçümün yapılmadığı sistemlerde, oksijen kontrolünden sinyal direkt olarak hava damperinin pozisyonu için kullanılabilir.

Önerilen Uygulamalar :

Oksijen trim sistemi büyük ocaklarda ve su borulu kazanlarda kullanılır. Oksijen trim sistemleri, konumlandırılmalı ve ölçmeli kontrol sistemlerinin her ikisi ile uyum sağlayabilir. Konumlandırılmalı sistemlere ilave edilen oksijen trim sisteminin maliyeti yüksektir. Oksijen trim sistemi manuel, yarı otomatik veya otomatik uygulanabilir. Otomatik sistemler yük değişimlerinin sık olduğu yerlerde kullanılır.

Manuel Trim Kontrol : Oksijen analizöründen alınan sinyaller basit olarak kontrol odasında monitörde sürekli veya aralıklı olarak kaydedilir. Operatör manuel olarak hava-yakıt oranını arzu edilen noktada ayarlar.

Yarı Otomatik Trim Kontrol : Bu sistemde operatör oksijenin ayarlama noktasını (set değeri) programlayabilir ve sonra her ateşleme oranında yakıt-hava oranı bu ayarlama noktasını izleyerek her yanma oranı için manuel olarak ayarlar.

Otomatik Trim Kontrol : Tamamı otomatik trim kontrolde, kazan yük sinyali fonksiyon jeneratöründe yükün fonksiyonu olarak üretilen optimum oksijen sinyaline göre çalışır. Yanma verimi böylece bütün yük aralığı üzerinde en uygun seviyeye getirilir.

5.3.7. Oksijen/Karbonmonoksit trim kontrol

Gelişmiş yanma kontrolünde oksijen ile birlikte karbonmonoksit (CO) ölçümleri de kullanılabilir. Bu kontrol sisteminde CO ölçümü temel olarak alınır.

Avantajlar :

Doğruluk : CO direkt olarak bacadaki yanmamış yakıt miktarına bağlı olduğundan, tam yanmanın kontrolde kullanılması oksijen tabanlı kontrolden daha iyidir.

Basitlik : Kontrolde ayarlanan nokta yakıt türünden bağımsızdır. Bu kontrolde CO'nun 100 ile 350 ppm arasındaki değerleri alınır.

Güvenlik : Bacadan alınan CO sinyali hava sızıntısından etkilenmez.

Önerilen Uygulamalar :

CO analizörü oksijen ünitesinden dört kez daha pahalıdır. Oksijen tabanlı trim kontrol verimin %80-90 oranında olmasını sağlayabilir. CO'nun kontrolüyle %0.1-1 oranında verimde artış olur.

6. MEVCUT SİSTEMDE ENERJİ TASARRUFU POTANSİYELİ

Bir sanayi tesisinde enerji kullanımının etkin kontrolü, programlı bir şekilde yürütülen enerji yönetimi sayesinde yapılabilir. Böyle bir programın yürütülmesi ve yönetilmesinde doğru bilgi ve ölçümlere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler aynı zamanda tesiste yapılacak enerji taramasının temelini oluşturur.

Bu çalışmada ortalama 12-15 ton deri/gün kapasiteye sahip bir deri işleme fabrikası ele alınmıştır. Tesiste 4700 sm³/gün doğalgaz kullanılıp 7 bar basınç, 165°C sıcaklıkta buhar üretilmekte olup ekonomizör, reküparatör, degazör ve besi suyu ön ısıtma sistemi bulunmamaktadır.

Fabrikanın mevcut hali ile konvansiyonel enerji tasarruf yöntemlerinin uygulandığı yeni hali mukayese edilerek proste enerji tasarrufuna vurgu yapılacaktır.

6.1. Deri Sektöründe Başlıca Isı Tasarruf Kaynakları

Buhar kazanlarının verimini yükseltecek her uygulama, ısı kullanım ve dağılımında uygulanacak doğru yöntemler yakıt giderini düşürmek için önemlidir. Ayrıca baca gazı sıcaklığının düşürülmesi, yetersiz izolasyonun giderilmesi, buhar kaçaklarına ve açık buhar kullanımına izin verilmemesi de yakıt kullanımını düşürecektir.

Buhar kazanının verimli olarak işletilebilmesi için baca gazı sıcaklığının optimal düzeyde tutulması, duman borularının periyodik temizliği ve kazan besi suyu sertliğinin istenen değerlere getirilmesi gerekmektedir.

Yüksek baca gazı sıcaklığı ile kaybedilen enerji, baca gazı yoluna konulabilecek ekonomizör veya reküparatörlerle kısmen geri kazanılabilir. Blöf suyunun taşıdığı enerjiden plakalı eşanjörler yardımıyla ısı geri kazanımı mümkündür. Kondens suyunun taşıdığı flaş buhar kapasitesinden yine plakalı eşanjörler yardımıyla geri kazanmak mümkündür.

Deri sektörünün başlıca girdileri taze su, yakıt (Fuel-oil, LPG, Doğal gaz), iş gücü, elektrik enerjisi ve kimyasal malzemelerdir.

Üretimde verimlilik ve enerji ekonomisi doğru tesisat ve doğru cihaz kullanılması ile sağlanır.

Sistemimizde ısı enerjisi tasarrufu üç bölümde incelenecektir ;

1. Buhar Üretimi (Kazan dairesi, buhar kazanları, kazan ekipmanları)
2. Buhar Dağıtım Tesisatı (Buhar boruları, kontrol vanaları, kondensstoplar)
3. Kondens Toplama Tesisatı (kondens boruları ve tankları, flaş buhar ve tankları)

6.1.1. Buhar üretimi

Buhar üretiminde kullandığımız cihazlarda enerji elde edilmesinin birinci aşaması yanma'dır. Yanmanın mükemmel ve optimum olması, enerji maliyetlerini düşürmesine ilaveten; toplam verimin artmasına, daha az çevre kirliliğine, cihazların kullanma ömürlerinin artmasını da beraberinde getirecektir.

Buhar Kazanlarının emniyetle ve enerji tasarrufu ön plana çıkarılarak çalıştırılması işletme açısından özel önem taşımaktadır.

6.1.2. Yanmanın verimli olması ve duman gazlarının verimli kullanılması

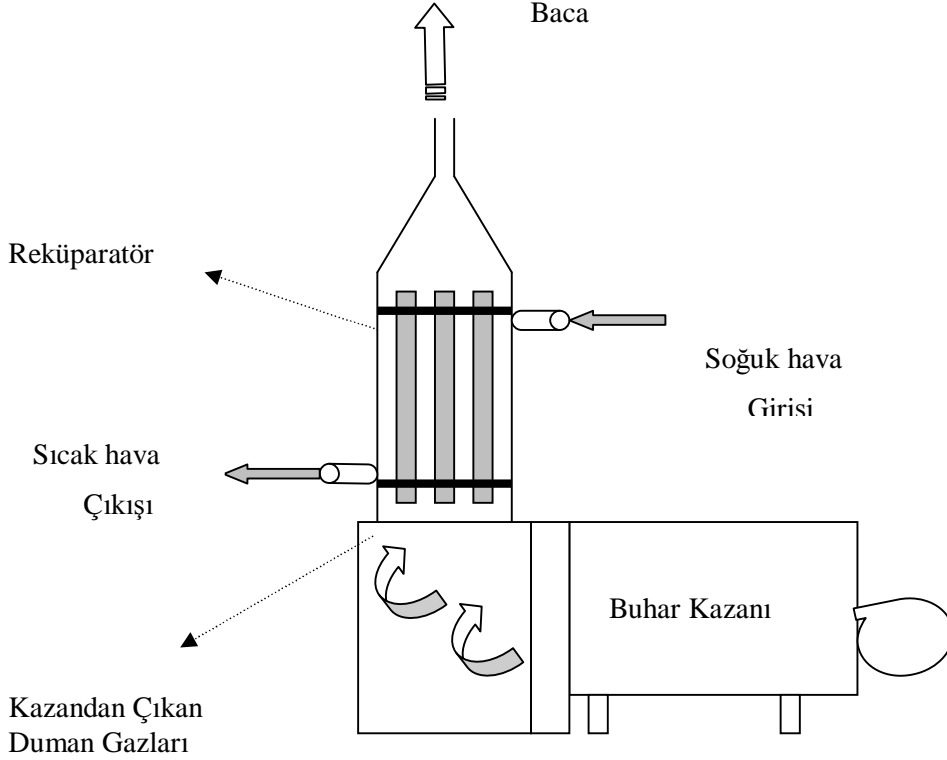
1. Brülörde yakıt - hava karışımının otomatik ayarlanması gerekmektedir. (Oransal kontrol).

2. Besleme havası sıcaklığının, brülör için izin verilen sıcaklığa kadar yükseltilmelidir. Kazan giriş sıcaklığı 25 °C ölçülmüştür. Bu değerde yakıt ekonomisi açısından yeterli değildir. Yanma havası ısıtılması için "reküparatör" kullanılmalıdır. Ekonomizör kullanılarak hem baca gazının enerjisi kullanılmakta hem de enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

3. Mevcut sistemde ekonomizör kullanılmamaktadır. Kazan besleme suyunun kazana giriş sıcaklığının yükseltilmesi gerekir. Bunun için blöften yararlanılabilir.

6.1.3. Reküparatör kullanımı ve yapılacak tasarruf

Kazan verimi yanma havasının baca gazıyla ısıtılmasıyla yükseltilebilir. Yanma havasının 56°C'ye kadar ısıtılmasıyla verim %2 artar [25]. Yanma havasının baca gazlarıyla ısıtılması kazan verimini yükseltecektir. Çünkü bacadan atılan enerji azalacaktır.



Şekil 6.1: Buhar kazanında reküparatör kullanımı

Eğer yanma havası başka bir atıl kaynak vasıtasıyla ısıtılırsa kazan veriminde bir değişiklik olmamasına rağmen yanma kalitesinden dolayı yakıt tasarrufu sağlanacaktır. Şekil 6.1'de buhar sisteminde reküparatörün çalışması gösterilmektedir. Dışarıdan gelen soğuk hava kazandan çıkan duman gazlarının ısısından yararlanılarak reküparatörde sıcak hava olarak çıkışı sağlanır. Bu sıcak hava brülöre verilir.

220 °C olan duman gazının 65.800 Nm³/gün debi ile reküparatöre girip, 110 °C sıcaklıkta terk etmektedir. Bu enerji ile 25 °C de kazana verilen yanma havası ısıtılarak kazan veriminin yükselmesi sağlanabilir.

Duman gazı için; $c_{p220^{\circ}\text{C}} = 0,332 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$c_{p110^{\circ}\text{C}} = 0,325 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$

Hava için; $c_p = 0,314 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Reküpöratör verimi : %90 olarak alınmıştır [34].

$$Q = m.(c_{p220^{\circ}\text{C}}.T_g - c_{p110^{\circ}\text{C}}.T_{\text{ç}}) \quad (6.1)$$

$$= 65.800 \text{ Nm}^3/\text{gün} (0,332 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C} \times 220^{\circ}\text{C} - 0,325 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C} \times 110^{\circ}\text{C})$$

$$= 2.453.682 \text{ kcal/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 736.104.600 \text{ kcal/yıl}$$

Doğalgazın alt ısı değeri: 8250 kcal/m^3

Tasarruf edilecek doğalgaz miktarı: $736.104.600 \text{ kcal/yıl} \times 0,90 / 8250$

$$: 80.302 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$$

Doğalgazın fiyatı : $0,305 \text{ \$/m}^3$

Yıllık toplam tasarruf: $24.492 \text{ \$/yıl}$

(Yalnızca duman gazı ile çevreye attığımız, kullanılabilir enerjinin maliyetidir.)

6.1.4. Yanma havasının ısıtılması ile yapılacak tasarruf

Yanma havasının ısıtılması yanma kalitesini arttıracığı için enerji tasarrufu sağlayacaktır. Baca gazından elde ettiğimiz enerji ile yanma havasını 25°C 'den 80°C 'ye ısıtırsak, ısıtılan yanma havası miktarı;

$$Q_{\text{duman gazının verdiği}} \times \eta_{\text{reküpöratör}} = Q_{\text{havanın aldığı}} \quad (6.2)$$

$$Q_{\text{havanın aldığı}} = m \times c_p \times (T_{\text{ç}} - T_g) \quad (6.3)$$

$$2.453.682 \text{ kcal/gün} \times 0,90 = m \times c_p \times (T_{\text{ç}} - T_g)$$

$$= m \times 0,314 \times (80 - 25)$$

$m = 127.869,9363 \text{ m}^3/\text{gün}$ olacaktır.

Isıtılan hava debisi kazanların yanma havası ihtiyaçlarını karşılayacak durumdadır.

Tablo 6.1: Hava debisinin sıcaklığa göre değişimi [20].

| Hava sıcaklığı (°C) | Hava yoğunluğu (ρ kg/m ³) |
|------------------------|--|
| 25 | 1,184 |
| 80 | 0,9995 |
| 85 | 0,98575 |

Tablo 6'da görüldüğü üzere yanma havası sıcaklığının 25 °C'den 80 °C'ye çıkarılması sonucunda, havanın yoğunluğu %15,6 oranında düşecektir. Kazan yanma havasının sağlanmasında bu oran göz önüne alınmalıdır [20]. Genel olarak, yanma havasının 80 °C'ye ısıtılması kazan verimini %2 arttıracaktır [10].

Yanma havasının ısıtılması ile yapılacak tasarruf: Yıllık doğalgaz sarfiyatı x %2

$$: 4700 \text{ Sm}^3/\text{gün} \times 300 \text{ gün/yıl} \times \%2$$

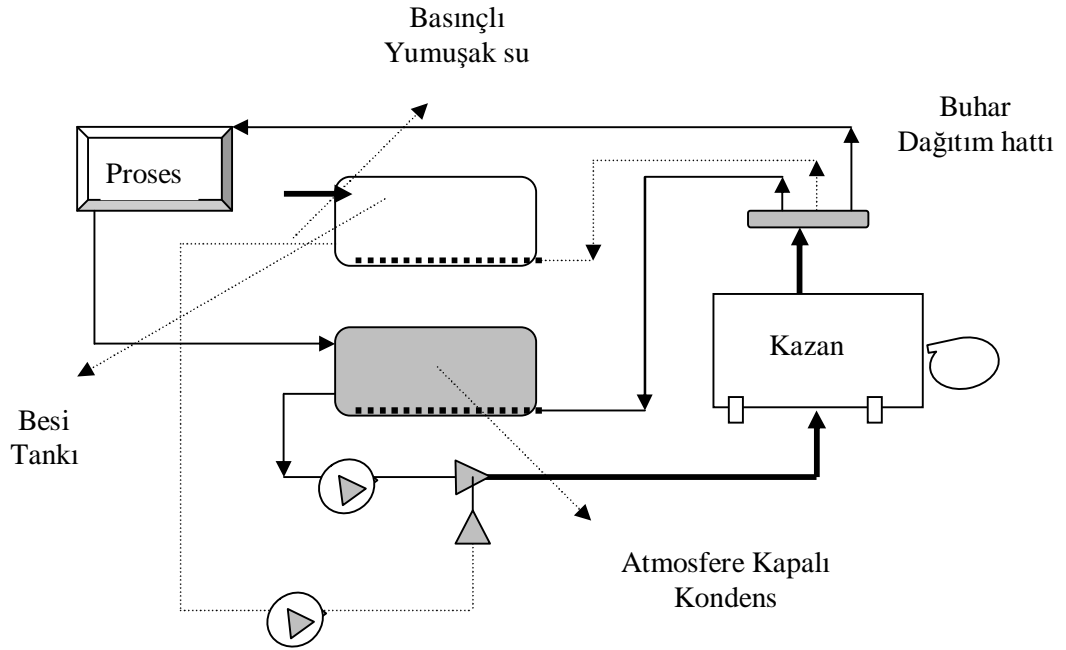
$$: 28.200 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$$

Doğalgazın fiyatı : 0,305 \$/m³

Yıllık toplam tasarruf: 8601 \$/yıl

6.1.5. Kapalı kondens kullanımı ve elde edilecek tasarruf

Mevcut fabrikada açık kondens tankı bulunmaktadır. Atmosfere açık kondens tanklarının havalık borusundan kaçan flaş buhar, tesiste üretilen buhar miktarının ortalama %10 mertebesinde [10]. Enerji kaybının yanında eksilen suyun tamamlanması için suyun arıtılması, degaze edilmesi gibi maliyetlerde beraberinde gelir. Bu mahsurları ortadan kaldırmak için deri sektöründe (5 bar 'ın üzerinde buhar ile çalışılmaktadır) kapalı kondens sistemi kullanılarak flaş buhar oluşumu engellenmiş olur. Eğer atmosfere açık kondens sistemi kullanılıyorsa flaş buhar plakalı eşanjörler kullanılarak mekan ısıtılmasında, besi suyu ısıtılmasında boyler de kullanılmalıdır.



Şekil 6.2: Kazan dairesinde kapalı kondens kullanımı

Şekil 6.2’de kazan sisteminde kapalı kondens kullanımı şematik olarak gösterilmiştir.

Tesiste üretilen buhar miktarı: 2300 kg/h

Atmosfere atılan buhar miktarı: 230 kg/h

Flaş buharın sıvılaşarak vereceği buharlaşma enerjisi: 500 kcal/kg

Kazan verimi: %80

$$\begin{aligned}
 Q &= 5520 \text{ kg/gün} \times 500 \text{ kcal/kg} \\
 &= 2.760.000 \text{ kcal/gün} \times 300 \text{ gün} \\
 &= 828.000.000 \text{ kcal/yıl}
 \end{aligned}$$

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8250 kcal/m³

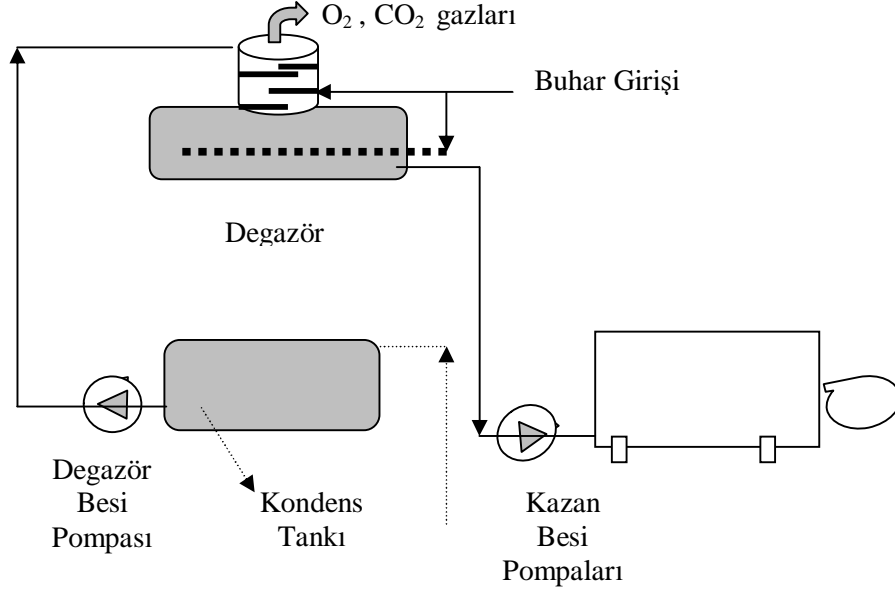
Tasarruf edilecek Doğalgaz miktarı: $828.000.000 \text{ kcal/yıl} \times 0,80 / 8250 = 80.290 \text{ sm}^3/\text{yıl}$

Doğalgazın fiyatı : 0,305 \$/m³

Yıllık toplam Tasarruf: 24.488 \$/yıl

6.1.6. Degazör kullanımı

Mevcut sistemde degazör bulunmamaktadır. Kazana basılan besi suyunda erimiş halde serbest oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2) bulunabilir. Bu korrozif gazlar kazan ısıtma yüzeylerinin su tarafında, buhar tesisatlarında ve kondens hatlarında korozyona sebep olurlar.



Şekil 6.3: Kazan dairesinde degazör kullanımı

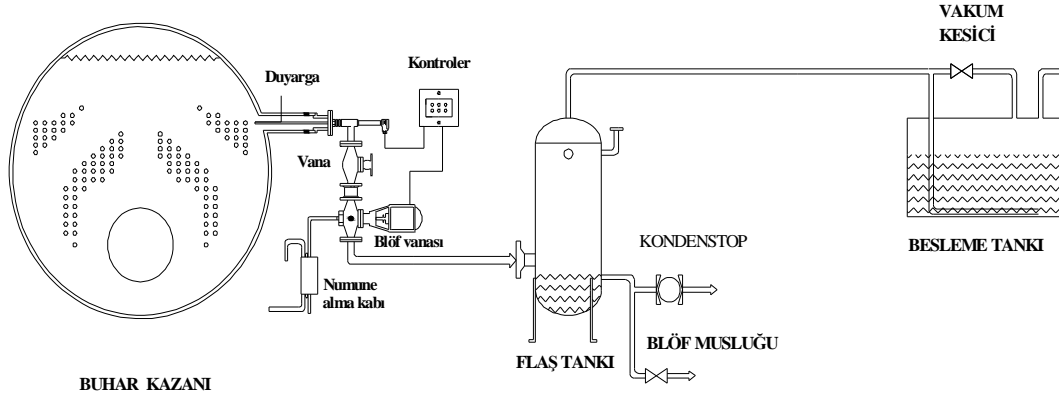
Kazan ve buhar hatlarını bu korrozif gazlardan korumak için sisteme mutlaka degazör takılmalıdır. Aksi durumda kazan borularının su tarafında O_2 'nin oluşturduğu mercimek büyüklüğünde oyuklar meydana gelerek kazanın ömrü azalacaktır. Şekil 6.3'de kazan dairesinde kullanılan degazör, şematik olarak gösterilmiştir.

6.1.7. Blöf ve yapılması gereken blöf miktarının hesabı

Blöf dolayısıyla kazanda enerji kaybı, kazan verim düşüklüğünün en önemli sebeplerindendir.

Blöf enerji geri kazanımı için birden fazla ısı geri kazanım yöntemi vardır. En başta ve en çok kullanılan ısı geri kazanım sistemi flaş buharın elde edilmesidir. Belirli bir

basınç altında suyu ısıtmaya başladığımızda suyun sıcaklığı ve buna bağlı olarak entalpisi yükselir. Bu artış o basınçtaki suyun kaynama sıcaklığına kadar devam eder. O sıcaklığa eriştikten sonra suyun tamamı buharlaşmaya kadar sıcaklık sabit kalır. Daha sonra da suyun tamamı buhar fazına eriştiğinde ısı tutumu farklı bir değerde olduğu görülür. Buhar ile temas halinde olan kondens suyu, buhar ile aynı sıcaklıktadır. Kondens suyu veya blöf, flaş tankında daha düşük basınçlı bir ortama geldiği için o basınçtaki doyma sıcaklığına kadar soğuyacak ve aradaki sıcaklık ve ısı tutumu farkı nedeniyle kondensin veya blöfün bir kısmı buharlaşacaktır. Bu buhara "flaş buhar" denir. Blöf ve flaş buharı flaş tankına alınır ve sonra flaş tankından ayrılırlar. Flaş buhar bir boru yardımıyla besleme tankına aktarılır [31,35].



Şekil 6.4: Kazan flaş sistemi.

Flaş buharın basıncı boşalma anındaki basınç ve boru şebekesindeki dirence göre olacaktır. Bu da genellikle 0,2 ile 0,3 bar civarındadır. Şekil 6.4'de Kazan flaş sistemi gösterilmektedir.

Bütün kazan besi suları, su yumuşatma kimyasalları gibi bazı maddeleri solüsyon halinde içerir. Buharlaşma işleminden dolayı saf su gidince, bu maddelerin oranı kazanda devamlı olarak artar. Bu da suyun iletkenliğinin (TDS seviyesi) artmasına sebep olur. Kazan suyu TDS seviyesi veya iletkenliği verilen limitlerin arasında tutulabilmesi için çözünemeyen katıların uzaklaştırılması yani blöf ile deşarj edilmelidir. Bu işlemde otomatik ve manuel olarak yapılmaktadır.

Otomatik blöf ısı geri kazanım ekipmanlarının maliyeti kontrol aletlerinin şekline, büyüklüğüne ve kazan konfigürasyonuna göre değişecektir.

Mevcut sistemde otomatik blöf sistemi kurulmuş olup, ısı geri kazanım ünitesi yoktur.

4.7 nolu formüle göre burada;

BM: Yapılması gereken blöf miktarı, kg/h

F: Besi suyu TDS değeri , $\mu\text{S}/\text{cm}$ (600 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

B: Kazan suyu için izin verilen üst limit TDS değeri, $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kabul)

S: Kazan kapasitesi, kg/h (2300 kg/h)

Yukarıdaki değerlere göre kazandan yapılması gereken blöf miktarı: 233,89 kg/h olmalıdır.

Kazanın 24 saat çalıştığı düşünülürse, günlük yapılması gereken blöf miktarı: 5613,36 kg/ gün olacaktır.

6.1.8. Flaş buharı ile enerji geri kazanımı ve yapılacak tasarruf

7 bar basınçtaki kazandan blöf yolu ile dışarıya atılan doymuş sıvının entalpisi 721,4 kJ/kg , 0,5 bar gösterge basıncındaki doymuş sıvının entalpisi 468 kJ/kg dır.

Eğer 7 bar basıncındaki blöf, 0,5 bar basıncındaki bir flaş deposuna serbest bırakılırsa $721,4 - 468 = 253,6$ kJ/kg değerinde bir enerji açığa çıkar. Bu enerji blöf edilen kazan suyunun bir kısmını buharlaştırır (Flaş buhar).

0,5 gösterge basıncındaki buharın buharlaşma entalpisi 2226 kJ/kg dır. Bu durumda flaş buhar oranı $253,6 / 2226 = 0,114$ dür. Yani 7 bar basınçtan 0,5 bar'lık bir tanka boşaltılan blöf ün % 11,4 ü buharlaşır.

Flaş buharın, blöf edilen sudan ayrılması ile; blöften elde edilen % 11,4'lük flaş buhardan tasarruf sağlanır. Bir başka deyişle, kazana bu miktarda 20 °C'de besleme suyu az girecektir. Aynı zamanda bu miktardaki su için kimyasal maddeler kullanılmayacaktır.

Günlük Blöf: 5613,36 kg/gün

7 bar dan 0,5 bar a düşürülmesi ile elde edilecek flaş buhar oranı: %11,4

Yapılan blöften elde edilen flaş buhar: 639,92 kg/gün

Geriye kalan blöf: 4973,44 kg/gün

Flaş buharın sıvılaşıarak vereceği buharlaşma enerjisi: 500 kcal/kg

Kazan verimi: %80

$$\begin{aligned} Q &= 639,92 \text{ kg/gün} \times 500 \text{ kcal/kg} \\ &= 319.960 \text{ kcal/gün} \times 300 \text{ gün} \\ &= 95.988.000 \text{ kcal/yıl} \end{aligned}$$

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8250 kcal/Nm³

Tasarruf edilecek Doğalgaz miktarı: $95.988.000 \text{ kcal/yıl} \times 0,80 / 8250 = 9307,9 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Doğalgazın fiyatı : 0,305 \$/m³

Yıllık toplam Tasarruf: 2838,9 \$/yıl

**6.1.9. Blöf'ün atıl ısısından yararlanarak yapılacak tasarruf
(Besleme Suyunun Ön Isıtılması)**

Kazan verimi, besleme suyunun ısıtılmasıyla arttırılabilir. Besleme suyu blöf ile veya açık kondens tankı bulunan tesislerde flaş buhar ile rahatlıkla ısıtılabilir. Genel olarak besi suyunun 6 °C ısıtılması ile %1 kazanda yakıt tasarrufu yapılabilir [10].

Blöf sıcaklığı: 110°C (0,5 bar flaş tank içinde)

Miktarı: 4973,44 kg/gün

Yukarıdaki miktardaki sıcak su, besleme suyu ısıtılmasında plakalı eşanjör ile kullanılabilir.

Plakalı eşanjöre 110 °C de giren 1174 kg/gün debili blöf, 70 °C de eşanjörden çıkarılırsa, yapılacak tasarruf:

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c_p \cdot (T_g - T_ç) & (6.5) \\ &= 4973,44 \text{ kg/gün} \times 1/24 \text{ gün/saat} \times 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (110 - 70) \\ &= 8289 \text{ kcal/h} \\ &= 8289 \text{ kcal/h} \times 24 \text{ saat} \times 300 \text{ gün} \\ &= 59.680.800 \text{ kcal/yıl} \end{aligned}$$

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8250 kcal/Nm³

Tasarruf edilecek Doğalgaz miktarı: 59.680.800 kcal/yıl x 0.80 / 8250 = 5787,23 m³/yıl

Doğalgazın fiyatı: 0.305 \$/m³

Yıllık toplam Tasarruf: 1765,1 \$/yıl

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tablo 7'ye bakıldığında önerilen sistemlerle doğalgaz kullanıldığında %14,5 civarında enerji tasarrufu yapıldığı görülmektedir.

Tablo 7.1: Konvansiyonel enerji tasarrufu yöntemleri ile yakıt tasarrufu

| Önemli Enerji Tasarruf Yöntemleri | Yapılan tasarruf m³/Yıl |
|--|---|
| Rekuperatör kullanımı | 80.302 |
| Yanma havasının ısıtılması | 28.200 |
| Kapalı kondens kullanımı | 80.290 |
| Flaş buharının geri kazanılması | 9307,9 |
| Blöften besi suyunun ısıtılması | 5787,23 |
| Toplam | 203887,13 |

Eski sistemde yıllık kullanılan doğalgaz miktarı : 1.410.000 sm³/yıl
: 430.050 \$/yıl

Önerilen sistemde yıllık kullanılan doğalgaz miktarı: 1.206.112,87 sm³/yıl
: 367.864 \$/yıl

Türkiye, kalkınmakta olan ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle enerji tüketimi hızla artmaktadır. Üretilen enerjinin ise yaklaşık üçte biri sanayide tüketilmektedir. Bu enerjinin önemli bir miktarı pratik bazı enerji tasarruf önlemleriyle geri kazanılabilir. Enerji tasarrufu sayesinde hem ülkemiz enerji darboğazından kurtulacak, hem de sanayici aynı ürünü daha düşük bir maliyetle elde ederek rekabet gücünü arttırmış olacaktır. Enerji tasarrufu, enerjinin azaltılması veya kısıtlanması şeklinde de düşünülmemelidir. Enerji tasarrufu, kullanılan enerji miktarının değil ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır. Enerjinin gereksiz kullanım alanlarının belirlenmesi ve israfın minimum düzeye indirilmesi veya tamamen ortadan

kaldırılması için alınan önlemleri içerir. Bu şekilde, üretici aynı miktardaki mal veya hizmetleri daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok mal ve hizmet üreterek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü arttırabilir.

Bu çalışmada literatürde var olan ancak iş yoğunluğu, önemsememe, eğitimsizlik veya bilinçsizlik gibi nedenlerle sanayi sektöründe kaybolan milyarlarca dolarlık tasarruf potansiyelini nerelerde aramız gerektiği vurgulandı. Çalışmada sanayi tesisinde tasarruf edilecek enerji ve bunun mali değerinin hesabı için gerekli prosedürler açıklandı. Her bir tasarruf potansiyeli için gerçekleştirilen enerji tasarrufu çalışmasından örnek verildi. Bu örneklerde tasarruf miktarı ve tasarrufun mali karşılığı vurgulandı.

Sanayi sektöründe enerjinin etkin kullanılması, ithal enerji talebinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak birim ürün başına daha az yakıt tüketilmesi zararlı emisyonların çevreye olumsuz etkilerini de azaltacaktır.

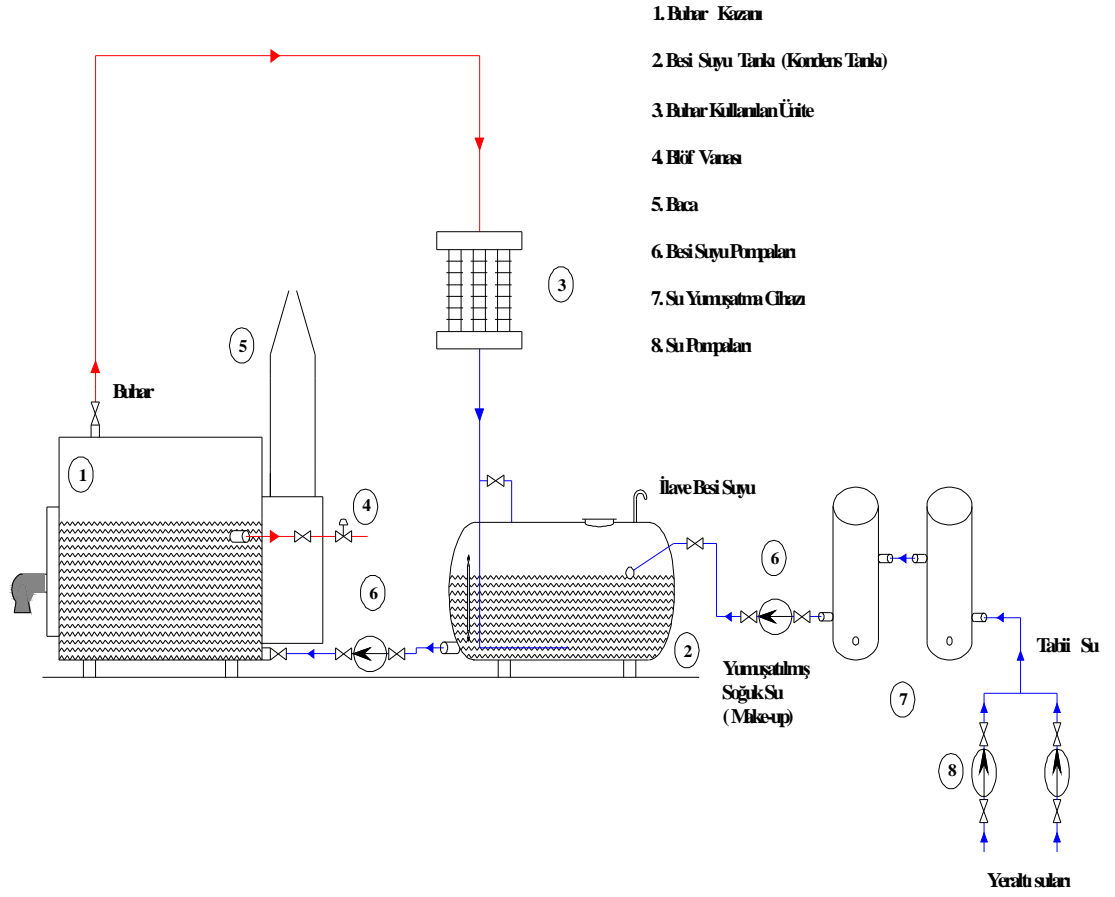
KAYNAKLAR

- [1] Dilli, B., Altaş, M., Aydın, Z., M., 2006, IX. Kalkınma Planı Genel Özel İhtisas Komisyonu Raporu[online], Devlet Planlama Teşkilatı, http://plan9.dpt.gov.tr/oik21_enerji/Enerji, (Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2006).
- [2] Çomaklı, K., Yüksel, B., ‘Kazanlarda Ekserji Analizi’, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 33-37, (2002).
- [3] Pagliaro, T., ‘Water Treatment Key to Maintaining Boiler Efficiency’, *Water Technology Magazine*, (August 1997).
- [4] Yıldız, A., Günerhan, H., ‘Katı Yakıtlı Kazan Tasarımı ve Kazan Isıl Kapasite Verimlilik Değerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi’, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89, 50-57, (2005).
- [5] Bilgin, A., ‘Kazanlarda Enerji Verimliliği’, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95, 13-18, (2006).
- [6] İlbaş, M., Yılmaz, İ., ‘Farklı Isıl Güçlerdeki Kazanlarda Yanma ve Emisyon Davranışının Hesaplanması’, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18, 18-27, (2002).
- [7] Çomaklı, K., Yüksel, B., Şahin, B., Karagöz, Ş., ‘Kazan Baca Gazlarında Meydana Gelen Enerji ve Ekserji Kayıpları’, *Tesisat Mühendislik Dergisi*, 92, 12-96, (2006).
- [8] Unitor Chemicals Handbook, ‘Water Treatment Handbook’, *Unitor Chemicals*, 1nd Edition, Id.No.08173, 5.
- [9] Pure Water Handbook, *Osmonics Inc.*, 2nd Edition, 13,43-45 (1997).
- [10] Mir, H.S., ‘Improving Steam Boiler Operating Efficiency’, *ENERCON yayınları*, Islamabad, Pakistan, 5-47, 87-91, 97-103, 107-124, (1987).
- [11] The Steam and Condensate Loop [online], Spirax-Sarco Ltd, http://www.spiraxsarco.com/learn/pdf/gcm_29.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2006).
- [12] Boiler Chemicals 101, *N.C. Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance*, 1-4, June, (2004).
- [13] Opelka, J., J., ‘Boiler Water Treatment Technology, State of Art: Practical Solutions to Common Problems’, *Associated Chemicals and Services, Inc.*, 3-10, Florida (1981).

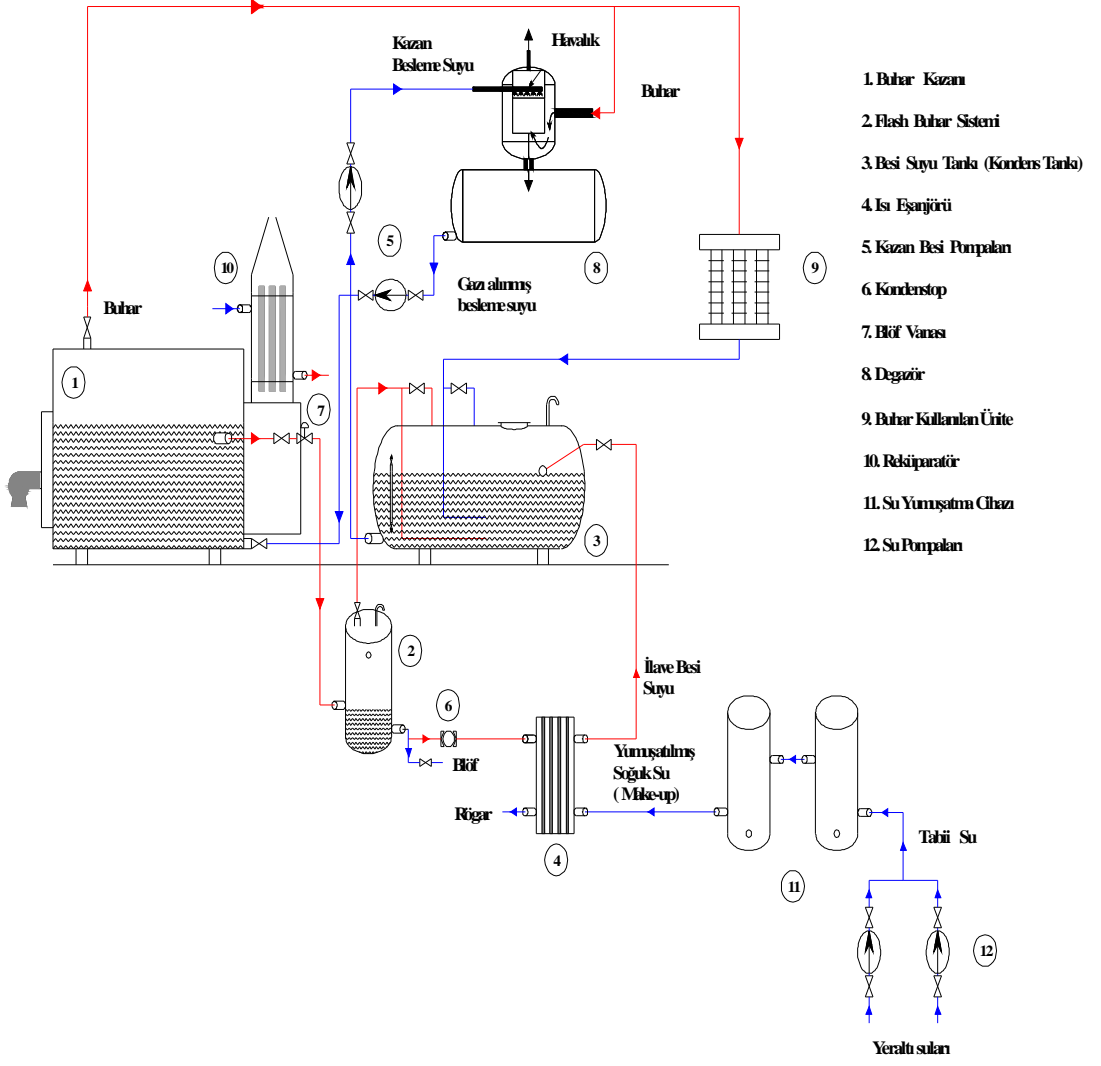
- [14] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, “Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı”, *TMMOB*, 9. baskı, no: 110, 32-34, 83-87, (2005).
- [15] Zeithz, A., R., “Energy Efficiency Handbook”, *Council of Industrial Boiler Owners, CIBO*, 8, (1997).
- [16] Inspection Manual for Energy Generating Plants [online], Environics, [http://www.eea.gov.uk/EPAP-Manuals/Cross%20Cutting/Boilers/Insp/Insp%20%20Manual%20\(fEnglish\)/Sec%202.doc](http://www.eea.gov.uk/EPAP-Manuals/Cross%20Cutting/Boilers/Insp/Insp%20%20Manual%20(fEnglish)/Sec%202.doc) (**Ziyaret Tarihi: 5 Eylül 2006**)
- [17] Burkut, E., “Buhar Kazanı Besi Suyu Hazırlama Teknikleri İçinde Ters Osmos Cihazının Ekonomik Yeri”, *III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, Teskon97, 297-301, (1997).
- [18] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı ve Buharlı Isıtma Sistemleri”, *TMMOB*, no: 282-2, Ankara , 17-18, 131, 194-197, (2003).
- [19] Isısan Çalışmaları, “Buhar Tesisatı: Kaynar Su-Kızgın Yağ”, *Isısan Yayınları*, 252, 9, 38, (2000).
- [20] Ünlü,C., “Buhar Tesisatları ve Buhar Cihazları El Kitabı”, *Intervalf*, 5.baskı, 10,94-97, (2002).
- [21] Küçükçalı, R., “Buhar Tesisatı”, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 253-259, (1999).
- [22] The Steam and Condensate Loop [online], Spirax-Sarco Ltd, http://www.spiraxsarco.com/learn/pdf/gcm_23.pdf (**Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2006**).
- [23] Oland, B., C., “Guide to Low-Emission Boiler and Combustion Equipment Selection”, *Oak Ridge National Laboratory*, DE-AC05-00OR22725, 39-40, (2002).
- [24] Franz, E., Two types of Steam Generation: A Comparison of Shell Boilers and Water Tube Boilers, Loos International, <http://www.loos.de/loos/fachber/001/fach13.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2006**).
- [25] Biarnes, M., Esteves, J., Freed, B., “Combustion”, *E Instruments Combustion Booklet*, 10, (2006).
- [26] Bilgin, A., “Kazanlarda Baca Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi”, *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Teskon*, 617-619, (2001).
- [27] Dockrill, P., Friedrich, F., “Boilers and Heaters: Improving Energy Efficiency”, *Canmet Energy Technology Centre*, Canada, 3-4, 10, (2001).
- [28] Herold, A., Schneider, L., Vizcarra, N., “Improving Energy Efficiency in Peruvian Boilers with the CDM”, *Öko-Institut*, 63-65, 73-74, (2003).

- [29] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, ‘‘Tesisat Mühendisliği’’, *TMMOB*, sayı:92, ISSN 1300-3399, 5-8 , (2006).
- [30] Güngör, C., Kaya, D., ‘‘Sanayide Enerji Tasarrufu Potansiyeli-II’’, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 515, (2002).
- [31] Gürel, S., ‘‘Buhar Üretimi ve Tesisatında Enerji Tasarrufu’’, *TTMD dergisi*, 21-23, 26, (2003).
- [32] Muira, ‘‘Muira Water Management Mandate’’, *Muira Boiler Co .Ltd*, 6315 Shawson Dr., Unit 17, On.L5T 1J2, 9, 22-24, (2002).
- [33] Enercon, ‘‘Burner Control Systems, *Enercon Industries Co.*, 8-20, (1987).
- [34] Dağsöz, A., K., ‘‘ Isı Değiştiricileri’’, *İTÜ Matbaası*, no: 1311, 148, (1985).
- [35] Alpagut, S., Gizdeş, C., Gizdeş, E., ‘‘Steam Traps’’, *Ayvaz Endüstriyel Mamuller Sanayi ve Ticaret A.ř kitabı*, 24, (2003).

EKLER



Şekil A1: Mevcut buhar sistemi



Şekil A2: Olması gereken buhar sistemi

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Deniz KARAKURT , 1980 yılında Van'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. Kocaeli Teknik Lisesi Elektronik Bölümünü bitirdikten sonra, 1998 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nden 2003 yılında Otomotiv Öğretmeni olarak mezun oldu. 2004 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen Lifli Rulo Deri Sanayi fabrikasında kontrol sorumlusu olarak çalışmaktadır.