



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**OLUKLU MUKAVVA MAKİNELERİNDE
TERMOKOMPRESÖR VE FLAŞ BUHAR TANKI
İLE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ**

Ersin ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Osman ISIKAN**

İSTANBUL, 2016

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTRİYEL KAZAN DAİRELERİ DÜZENLEMESİ.....	4
2.1. Genel Kurallar.....	4
2.2. Kazan Dairesi Yer Seçimi.....	4
2.3. Kazan Dairesi Çıkış Yerleri, Kapılar, Pencereleler	5
2.4. Kazan Dairesi Düzenlenmesi Ve Boyutlandırılması	6
2.5. Kazan Dairesi Havalandırması	7
2.5.1. Doğal havalandırma	7
2.5.2. Cebri Havalandırma	8
2.5.3. Fanlı Hava Beslemeli Kazan D. Hav. Dikkat Edilmesi Gereken Konular.....	10
2.6. Bacalar ve Duman Kanalları	10
2.7. Elektrik Donanımı.....	12
2.7.1. Proje Safhası.....	12
2.7.2. Montaj Safhası.....	12
2.7.3. Topraklama.....	13
2.7.4. Diğer Elektriksel Donanımlar	13
2.8. Gaz Donanımı	14
2.9. Diğer Konular	16
3. BUHAR ÜRETİMİ	17
3.1. Buhar Nedir, Nasıl Oluşur	17
3.1.1. Temel Kavramlar.....	18
3.1.2. Buhar Kullanım Nedenleri	19
3.1.3. Buharın Kullanım Alanları.....	19

3.2. Buhar Kazanları	19
3.2.1. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması.....	20
3.2.1.1. Alev Borulu Kazanlar.....	21
3.2.1.2. Su Borulu Kazanlar	23
3.3. Brülör	24
3.4. Buhar Kazanı Kontrol Ekipmanları	25
3.5. Besi Suyu Hazırlama ve Besleme Sistemi	29
3.6. Kondens Toplama İstasyonu.....	32
3.7. Blöf Soğutma Tankı.....	32
3.8. Ekonomizör.....	34
4. BUHAR DAĞITIM DEVRESİ.....	35
4.1. Buhar Kollektörü.....	35
4.2. Dağıtım Devreleri	36
5. KONDENS TOPLAMA DEVRESİ.....	41
5.1. Kondens	41
5.2. Buhar Kapanı	44
5.2.1. Mekanik Buhar Kapanı	44
5.2.2. Termostatik Buhar Kapanı	44
5.2.3. Termodinamik Buhar Kapanı.....	45
5.2.4. Buhar Kapanı Seçimi	45
6. BUHAR SİSTEMİNDE ENERJİ ANALİZLERİ	47
6.1. Buhar Kazanı Dış Cidar Kayıpları & Önlemleri	47
6.2. Baca Gazı Analizleri ve İç Soğuma Kayıplarının Değerlendirilmesi.....	48
6.2.1. Baca Gazı Analizleri	48
6.2.1.1. Tam Yanma	48
6.2.1.2. Eksik Yanma	48
6.2.2. İç Soğuma Kayıpları.....	51
6.3. Flaş Buhar Analizi	54
6.3.1. Flaş Buhar ve Kazan Blöf Geri Kazanımı.....	58
7. TERMOKOMPRESÖR.....	60
7.1. Giriş	60

7.2. Termokompresör ve Çalışma Prensibi.....	61
7.3. Termokompresörün Termodinamiği ve Tasarım Kriterleri	62
7.4. Endüstride Termokompresör Uygulama Alanları.....	64
8. TERMOKOMPRESÖR VE FLAŞ BUHAR TANKI UYGULAMASI	66
8.1. Mevcut Durum	66
8.2. Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulamalı Durum	69
9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	72
KAYNAKLAR.....	75
EKLER	77
Ek 1: Su buharı için Entalpi - Entropi diyagramı	78
Ek 2: Su buharı için Sıcaklık - Entropi diyagramı.....	79
Ek 3: Doymuş su / buhar – sıcaklık tablosu.....	80
Ek 4: Doymuş su / buhar – basınç tablosu.....	81
Ek 5: Kızgın buhar tablosu	82
Ek 5: Kızgın buhar tablosu (devam).....	83
Ek 6: Boru çaplarına göre buhar kapasitesi (kg/h)	84
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGE LİSTESİ

A	Alan – m ²
C%	Kondens dönüş oranı
c _p	Özgül ısı – kWh/Nm ³
d	Çap – mm
E	Elastisite modülü – N/mm ²
F	Sürtünme kuvveti – N/m
h	Entalpi – kJ/kg
H	Su sertliği – °dH – Alman Sertliği
H _u	Yakıt alt ısı değeri – kWh/Nm ³
k	Konveksiyon ısı transfer katsayısı – kJ/(m ² .°C)
L	Uzunluk - m
m	Kütle - kg
ṁ	Kütleli debi – kg/h
P	Basınç - bar
Q	Isı - kJ
T	Sıcaklık - °C
u	Hız – m/s
V	Hacim – m ³
ε	Siyah cisim katsayısı
η	Verim - %
γ	Kazan sıcaklığındaki havanın yoğunluğu – kg/m ³
μ	Sürtünme katsayısı
ρ	Yoğunluk – kg/m ³
σ	Planck katsayısı – kJ/(m ² .°C ⁴)
v	Özgül hacim – m ³ /kg

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kazan dairesi doğal havalandırma	8
Şekil 2.2. Kazan dairesi cebri havalandırma	9
Şekil 3.1. Buhar oluşumu	17
Şekil 3.2. Üç geçişli alev borulu kazan	21
Şekil 3.3. Alev-duman borulu buhar kazanı ve bölümleri.....	22
Şekil 3.4. Su borulu kazan	23
Şekil 3.5. Brülör	24
Şekil 3.6. TRD 604'e göre (72 saat) gözlem derecesinden bağımsız buhar kazanı donanımı	28
Şekil 3.7. Degazör	30
Şekil 3.8. Pompa performans eğrisi.....	31
Şekil 3.9. Çalışma noktasının pompa ömrüne etkisi	31
Şekil 3.10. Ana hatlarıyla kondens toplama istasyonu çalışma şeması.....	32
Şekil 3.11. Blöf soğutma tankı	33
Şekil 3.12. Ekonomizör	34
Şekil 4.1. Ana dağıtım buhar kollektörü	35
Şekil 4.2. Buhar borusu çap seçim grafiği-basınç kaybı	38
Şekil 4.3. Boru genleşme miktarı grafiği (çap-uzunluk-sıcaklık)	40
Şekil 4.4. Boru genleşmelerinde omega ve spiral dengeleyici	40
Şekil 4.5. Dıştan basınçlı kompansator	40
Şekil 5.1. Buhar hattında kondens oluşumu	41
Şekil 5.2. Buhar hattı kaba dizaynında kondens oluşumu.....	41
Şekil 5.3. Buhar hattı akış yönüne ters eğimde kondens oluşumu ve hız.....	41
Şekil 5.4. Buhar hattı branşmanı	42
Şekil 5.5. Proseslerde oluşan kondensin tekrar kazana ulaşması	42
Şekil 5.6. Koç darbesi oluşumu.....	43
Şekil 5.7. Buhar hattı dizaynında redüksiyon kullanımı	43
Şekil 5.8. Serbest şamandıralı buhar kapağı çalışma prensibi.....	44
Şekil 5.9. Denge basınçlı ve Bimetalik buhar kapağı.....	45

Şekil 5.10. Termodinamik buhar kapanı	45
Şekil 6.1. Yakma havasına bağlı baca gazı emisyonları.....	49
Şekil 6.2. Yakıttaki S ve O ₂ oranına bağlı olarak “gaz yoğuşma sıcaklığı eğrisi”	51
Şekil 6.3. Kazanlarda iç soğumaya neden olan hava sirkülasyonu	52
Şekil 6.4. Flaş buhar oluşumu	55
Şekil 6.5. Flaş buhar tankı ve bağlantı elemanları.....	56
Şekil 6.6. Kondensin flaş buhar oranı.....	57
Şekil 7.1. Termokompresör	61
Şekil 7.2. Ejektör boyunca hız ve basınç profili.....	62
Şekil 7.3. (a) entalpi-entropi diyagramı (izantropik sıkıştırma ve genişleme) (b) entalpi-entropi diyagramı (gerçekte)	63
Şekil 7.4. Endüstriyel işletmede termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması	65
Şekil 8.1. Endüstriyel tesisin mevcut durumu	66
Şekil 8.2. Endüstriyel tesiste termokompresör ve flaş buhar tankı uygulamalı durum	69
Şekil 9.1. Üretilen buhar miktarı – Oluşan blöf miktarı.....	73
Şekil 9.2. Üretilen buhar miktarı – Oluşan flaş buhar miktarı	73
Şekil 9.3. Üretilen buhar miktarı – Flaş buharın vereceği ısı miktarı	74

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Fanlı hava beslemesinde hacimsel hava debileri.....	10
Çizelge 3.1. EN 12953-10'a göre besi suyu	30
Çizelge 4.1. Boru çapına göre buhar hızları	37
Çizelge 4.2. Eşdeğer boru uzunluğu katsayısı	37
Çizelge 5.1. Buhar kapanı seçim çizelgesi	46
Çizelge 8.1. Düz çelik boruların ısı emiş miktarı (W/m)	68



ÖNSÖZ

Yerel ve global anlamda endüstriyel yatırımların sürekli artması ve bu yatırımların işlevselleşmesi adına katlanılan giderler üzerine detaylı analizleri zorunlu kılmıştır. Sınırlı sayıda enerji kaynaklarından enerji eldesi ve bu enerjinin mümkün olan en yüksek verimde kullanılması için çaba gösterilmelidir.

Bu çalışmada buhar üretimi, buharın sağlıklı ve doğru şekilde kullanımı için yapılması gerekenler anlatılmıştır. Üretilen buharın farklı basınç sınıfındaki makinalarda kullanımı ile alakalı çalışmalar yapılmıştır.

Tez çalışmamda bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Osman ISIKAN'a, tüm eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen aileme, yüksek lisans sürecinde fedakârlığını hissettiğim Mak. Müh. N. Yıldray KAHRAMAN'a, tez konusunu bulmada ve kaynak araştırmasında desteğini aldığım Mak. Müh. Ayhan YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Endüstriyel sektör enerji harcamaları, işletmelerin yıllık giderlerinin önemli bir kalemini oluşturmaktadır. Enerjinin üretimi ve üretilen enerjinin optimum verimde kullanılması da büyük önem arz etmektedir. Çünkü enerji tasarrufu ile üretim birim maliyeti düşürülmüş olur ki bu da rekabet gücüne pozitif etki eder. Rekabet gücünden uzak işletmelerin piyasaya tutunması oldukça güç hale gelmiştir. Bu durum enerji tasarrufunu zorunlu kılmıştır ki ülkemizde revize edilen enerji verimliliği kanunu ile de işletmeler enerji tasarrufuna teşvik edilmiştir.

Dünya genelinde mevcut buhar üretim tesislerinin büyük kısmı düşük enerji verimliliği ile çalışmaktadır. Bunların çoğu çok daha verimli çalışabilecek durumda olmasına rağmen sistemin doğru kullanılmadığından kaynaklı verimsiz çalışmaktadır. Günümüz ısı teknolojisinin sunduğu imkânlardan faydalanarak yüksek verim değerlerine ulaşmak mümkündür. Bu verim artışı ile birlikte uygulanan teknolojinin gerektirdiği ilk yatırım maliyetlerinin de kısa sürede geri dönüşü sağlanabilmektedir.

Verimli buhar sistemlerinde üretilen buharın tamamının proseslerde kullanılması istenir. Kurulu sistemlerde kullanılmayan enerji atmosfere atılmaktadır. Bu sebeple kullanım oranını arttırmak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlardan biri de kondens içinde bulunan flaş buhardan faydalanmak üzerinedir. Flaş buhar uygulaması ile düşük basınçta buhar elde edilir. Bu buhar çeşitli noktalarda kullanılabilir. Basıncın yettiği yerlerde direkt kullanıma sunulurken, yetmediği yerlerde termokompresör gibi uygulamalar ile desteklenerek değerlendirilir.

Tez çalışmamızda buharın daha verimli kullanılması için uygulanması gereken temel konulardan bahsedilmiştir.

Bu çalışmamızın temel amacı flaş buhar tankı ve termokompresör ortak kullanımını ile atık buhar enerjisinden prosese uygun kullanılabilir buhar enerjisi üretmektir.

ABSTRACT

Industrial sector energy consumption is an important item of business of the annual expenses. Production and use of energy in the optimum efficiency of the energy produced is of great importance. Because saving energy reduced the unit cost of production, which will impact positively on the competitiveness. To hold on to market the competitiveness of remote business has become quite difficult. This situation makes it imperative that energy savings and energy efficiency in our country, the company also revised law has been promoted to save energy.

Most of the existing steam production facilities worldwide are operating with low energy efficiency. Most of them are due to inefficient working very likely able to work more efficiently although the system is not used correctly. Benefiting from the opportunities offered by today's technology can achieve high thermal efficiencies. The cost of the initial investment required for the technology implemented with increased efficiency can also be provided to return soon.

It is required to use all of the steam in processes which produced in efficient steam systems. In the installation system unused energy is excreted to the atmosphere. Therefore, various applications to increase the utilization rate has been developed. One of them is located on the inside condensate to take advantage of flash steam. Flash steam treatment with steam at low pressure is obtained. This steam can be used at various points. Where sufficient pressure offered for direct use in enough places that are supported by applications such as thermocompressors is considered.

The steam thesis study has been mentioned key issues that should be applied to more efficient use.

The basic aim of this study is to using flash steam tank and thermocompressors appropriate process used steam energy from waste steam energy.

1. GİRİŞ

Buhar, endüstrinin birçok alanında, prosesin çalışması için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak üzere, yaygın olarak kullanılan ısı transfer akışkanıdır. Kullanım kolaylığı, riskin az olması, nispeten ucuz ve yüksek verimli olmasından dolayı tercih edilen enerji türüdür. Sanayi devriminin en önemli enerji ayaklarından olan buharın birçok kullanım alanı vardır. Kâğıt, petro-kimya, gıda, tekstil, ilaç ve daha birçok endüstriyel tesiste kullanılabilen bu enerjiden gerektiğinde elektrik enerjisi de üretilmektedir. Kullanım alanı bu denli geniş enerjiyi korumak ve tasarrufuna önem vermek, üretmek kadar değerlidir. Zira enerji konusunda dışa bağımlı ülkemizin enerji ithalatını azaltmak için tasarruf etmesi gerekir. Enerji tasarrufunun önemi kavranmalı ve ilgili tüm unsurların konunun hassasiyetini kavraması sağlanmalıdır.

Gün be gün artan enerji maliyetleri, artan ürün ihtiyacı ve sınırlı sermaye enerjinin tasarruflu kullanımını zorunlu kılmaktadır. Mevcut kurulu tesislerin birçoğunda ısı geri kazanımı ile ilgili sistemler kullanılmamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte teknik ve mali açıdan uygun sistemlerin kullanılması, yüksek verim ve enerji tasarrufu ile üretici için yüksek bulunan ilk yatırım maliyetlerinin de kısa sürede geri dönmesi sağlanmaktadır.

Mevcut sistemlerde kazan dairelerinde üretilen yüksek basınçlı buhar, sürtünme kayıpları ve diğer küçük enerji kayıpları ihmal edildiğinde, üretim alanındaki sisteme aynı basınç değeriyle iletilmektedir. Üretim alanında bulunan makinalar her zaman aynı basınçta çalışmazlar. Kimi makinalar yüksek basınçta çalışırken, kimi makinalar da nispeten düşük basınçta çalışmaktadır. Düşük basınçta çalışan makinalar için buhar basıncı, basınç düşürücü komponentler kullanılarak düşürülür. Bu çalışmamızda düşük basınçta çalışan makinalar için basınç düşürücü grubuna ihtiyaç duymadan, termokompresör ve flaş buhar tankından faydalanarak makina için optimum basınç değeri yakalanıp prosesin çalışması sağlanacaktır.

Kurulu enerji sistemlerinde buhar hattı prosese ulaşarak enerjisini aktarır. Prosese ulaşıncaya dek enerjisini kaybedebileceği birçok alandan geçer ve bu kısımlarda çoğunlukla sıvı faza geçer. Buharın bu sıvı fazına kondens adı verilir. Kondens, boru hattıyla tekrar kondens tankına dönüp buhar üretimine en başından başlar. Dönen bu kondensin içinde belli oranda buhar da bulunmaktadır. Üretilmiş buharın sıvı faz ile karışıp buhar üretim sisteminin ilk halkasına dönmesi enerjinin verimsiz kullanımınıdır. Bu çalışmada kondens tankına giden enerjiden de faydalanmak amaçlanmıştır. Kondensin içindeki buhardan faydalanmak flaş buhar tankı ile mümkündür. İleride daha detaylı anlatacağımız flaş buhar tankı içindeki birikim iki faz şeklindedir. Tankın üst kısmında buhar fazı birikirken alt kısımda kondens birikir. Üst kısımda biriken buharın kondens tankına dönmeden termokompresöre iletilerek prosese ulaşması ve bu sayede hem makinanın çalışmasının sağlanması hem de enerjinin tasarruflu kullanılmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmamızın ikinci bölümünde buhar üretim merkezinin olması gerektiği gibi düzenlenmesi ele alınacaktır. Endüstriyel kazan daireleri olabildiğince titizlikle

hazırlanmalıdır. Çünkü standartlar dışında kurulan kazan daireleri ileride ciddi problemlere neden olabilmektedir. Kazan dairelerinin genel kuralları, yer seçimi, havalandırma, baca, elektrik gibi temel konularından bahsedilmiştir ki tüm bu gerekliliklerin yerine getirilmesi sağlanmalıdır.

Buhar üretim merkezleri kadar, buhar üretici cihazların da önemi büyüktür. Üçüncü bölümde bu buhar üreteçlerinden buhar kazanlarının ve buharın detaylı incelemesi yapılacaktır. Buhar nedir, nasıl oluşur, faz değişimleri nasıl yaşanır, temel kavramları gibi konular şekil ve grafiklerle detaylı incelenecektir. Buhar üreteçlerinin çeşitlerinden ve kullandıkları yerlere göre değerlendirmeleri yapılacaktır.

Buhar üretimi prosesin beslenmesi için gerçekleştirilir. Dolayısıyla buhar üretim merkezinden prosese ulaşıncaya kadar bir dağıtım devresine ihtiyaç vardır. Bu dağıtım devresi uygun dizayn edilmelidir ki enerjinin prosese sağlıklı aktarımı sağlansın. Aksi takdirde üretilen enerji nihai yere olması gerektiği verimlilikte ulaşmaz ve bu da enerji kaybına neden olur. Dördüncü bölümde ana dağıtım kollektöründen cihaz girişine kadar olan hattın temel tasarımından bahsedilecektir.

Dağıtım devresi kadar kondens toplama devresi de önem arz eder. Beşinci bölümde kondens toplama devresi ele alınacaktır. Kondens oluşumu, toplama şekilleri ve kondens devresinin en önemli elemanı olan buhar kapanlarından detaylı olarak ele alınacaktır. Sistemlere uygun buhar kapanı seçimleri tablo şeklinde sunulacaktır.

Enerjinin bu kadar önemli olduğu bu dönemde, enerji analizlerinin yapılması ve konunun proseslerde uygulanması büyük önem arz eder. Dünya nüfusunun gittikçe artması ve bunun paralelinde enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi, toplumları bir yandan mevcut enerji potansiyelini daha etkin şekilde kullanmaya iterken diğer yandan da yeni enerji kaynakları bulmaya zorlamaktadır. Bunların yanı sıra geleneksel enerji kaynaklarının dünya üzerinde homojen olmayan dağılımı ve son yıllarda değişip gelişen çevre bilinci insanları enerjiyi daha verimli kullanmaya mecbur etmektedir. Altıncı bölümde çeşitli enerji analizleri yapılarak daha verimli enerji eldesi için çalışmalar yapılacaktır.

Endüstriyel işletmelerin kayda değer miktarında birincil ısı kaynağı olarak buhar kullanılmaktadır. Buharın elde edilmesi de hayli meşakkatli hale gelmiştir. Çünkü genel olarak buhar, fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir. Bu kaynakların hızla tükendiğine ve hatta yakın zamanda bulunamayacağı endişesi, yakıt fiyatlarında ciddi artışa ve dolayısıyla buhar üretiminin birim maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Bu sebepten endüstriyel işletmeler, buharın üretiminden son tüketim noktasına ulaşıncaya dek doğru kuralları uygulayıp verimli şekilde kullanımı konusunda tedbirli davranarak maliyetleri minimize etmeye çalışmaktadırlar. Bu maliyetleri minimize etmenin yolu yalnızca doğru hatlarla buharın son tüketime ulaşmasını sağlamak değil, aynı zamanda üretilen her buhar zerresinden en verimli şekilde faydalanmak olacaktır. Bunu sağlamanın bir yolu da kondens içinde var olan düşük basınçlı flaş buharın kullanımınıdır. Termokompresörler ve flaş buhar tankları ile bu düşük basınçlı buhar alınıp kullanılabilir buhar basıncına ulaştırılarak geri dönüşüme katkı sağlamaktadırlar. Günümüzde çoğu işletmeler, basıncı düşük olduğundan kondens içindeki buharı kondens tankına ve oradan da atmosfere atmaktadır. Dolayısıyla üretilmiş olan buharın atmosfere atılması, kullanılan yakıt ve harcanan emek göz önüne alındığında ciddi kayıpların olduğu görülecektir. Bu

noktada termokompresörler, düşük basınçlı buhar ile yüksek basınçlı buharın harmanından kullanılabilir basınçta buhar elde etmek için uygun cihazlardır. Termodinamik kuralları çerçevesinde çalışan bu cihazlar, düşük basınçlı flaş buharı alıp yüksek basınçlı buhar yardımıyla sıkıştırarak optimum basınçta prosese iletilmesini sağlar.

Çalışmamızın son bölümlerinde flaş buhar tankı, termokompresör ve bunların birlikte çalıştığı sanayi kuruluşlarından uygulama örnekleri verilecektir.



2. ENDÜSTRİYEL KAZAN DAİRELERİ DÜZENLEMESİ

2.1. Genel Kurallar

1. Çalışma koşullarına uygun teçhizat ve kontrol edevatları kullanılmalıdır.
2. Kullanılmak üzere satın alınacak ekipmanlar, Türk Standartları Enstitüsünden alınmış belgeye ya da uluslararası geçerliliği olan standartlara haiz malzemeler olmasına dikkat edilmelidir.
3. Kullanılacak her ekipmanın üzerine bakım ve yağlama talimatlarının yazılı olduğu bilgilendirme yazıları konmalıdır.
4. Her malzemenin üzerine ya da görünür ve anlaşılır yakınlıkta bakım ve işletme talimatları asılmalıdır.
5. Kullanılan malzemelere ait numaralandırma sistemi uygulanmalı ve bu numara sistemine göre tasnifi yapılmalıdır. Numaralandırılmış malzemelerin miktarı, teknik özelliklerinin yazılı olduğu dosya tutulmalıdır.
6. Kazan dairesi sorumlusunun işletme bakım ve teknik verilerini sürekli yazabileceği ve düzenli kayıt tutabileceği bir defterinin olması gerekmektedir.
7. Kazan dairesi içerisinde, kazan dairesi sorumlusunun kullanabileceği, etrafı cam ile çevrili, kazan dairesinde olabilecek her duruma hakim olması için bir oda tahsis edilmelidir. Bu oda içerisinde kazancının rahat edebilmesi için ortam sağlanmalı ve mutlaka yetkililer ile iletişim kurabileceği telefon bulundurulmalıdır.
8. Kazan dairesi içine ilgililerden başka kimsenin serbest girişine izin verilmemelidir. Giriş çıkış kontrolleri yapılmalıdır.
9. Zamanın kontrolü için görünür yerde bir duvar saati bulundurulmalıdır.
10. Günlük sıcaklıkların kayıt altına alınması için kazan dairesine bir termometre konulmalıdır.
11. Kazan dairesindeki ekipmanların mümkün olduğunca otomatik kontrolü sağlanmalıdır.

2.2. Kazan Dairesi Yer Seçimi

0,5 bardan yüksek basınç değerinde çalışan buhar ya da kızgın su kazanlarının yerleştirileceği kazan dairesi seçimi yapılırken Bayındırlık Bakanlığınca hazırlanan teknik şartnameye uyulmalıdır.

İşletme basıncı ile su hacminin çarpımının 10' a eşit ya da 10' dan küçük olması şartı aranmaktadır. Bu şart sağlanamıyorsa, bu şartlara haiz yeni bir kazan dairesi inşasının zorunlu olduğu bilinmelidir.

Kazanlar, belediyeler ruhsat müdürlüğü kurallarına göre aşağıdaki gibi üç grupta sınıflandırılmışlardır:

- I. Sınıf kazanlar $V (T - 200) \geq 200 H$
- II. Sınıf kazanlar $50 < V (T - 100) < 200$
- III. Sınıf kazanlar $V (T - 100) \leq 50$

Burada;

V: Kazan su hacmi (m³)

T: İşletme basıncındaki doymuş buhar sıcaklığı (°C)

I. Sınıf Kazanlar

Kazan daireleri genel kullanım binalarına en az 20 m mesafede bulunmalıdır. Zorunlu durumlarda bu mesafenin daha yakın olması gerektiğinde ise araya bir koruma duvarı yapılmalıdır. Ayrıca kazan dairesi müstakil olmalıdır, üzerine kat yapılamaz.

II. Sınıf Kazanlar

Kazan daireleri genel kullanım binalarına en az 10 m uzaklıkta yapılmalıdır ya da en az 45 cm kalınlığında bir duvar ile ayrılmalıdırlar.

III. Sınıf Kazanlar

Bu tip kazan daireleri her türlü bina içine yerleştirilebilirler.

2.3. Kazan Dairesi Çıkış Yerleri, Kapılar, Pencereler

1. Kazan dairelerinde her zaman kullanıma açık şekilde bulunan, birbirine zıt yönde olan iki adet çıkış yeri olmalıdır. En az bir tanesi direkt bina dışına çıkmalıdır. Zorunlu durumlarda bu çıkış yerlerinden bir tanesi pencere olabilir.
2. Kazan daireleri kapıları yanmaz malzemeden imal edilmiş olup kazan dairesi dışına doğru açılacak şekilde olmalıdır.
3. Kazan dairelerinde bina dışına açılan minimum bir pencere bulundurulmalı ve bu pencerenin de yanmaz malzemelerden imal edilmiş olması gerekmektedir. Bu pencerenin alanı ise santral döşeme alanının 1:12' sinden daha düşük olmamalıdır.
4. Yırılma Yüzeyi
 - i. Bir kazanın gücü 120.000 kcal/h (140 kW)' dan fazla olması durumunda ya da kazan dairesinin tüm kapasitesi 1.200.000 kcal/h (1.400 kW)' dan fazla ya da kurulu kapasitenin kazan dairesi hacmine oranı 945 kcal/m³h (1.100 W/m³)' den fazla ise; kazan dairesinin, kazan patlamasının yaşanması durumunda binaya bir zarar vermemesi için bir yırılma yüzeyi inşa etmek zorunludur. Bu yüzey kazan dairesinin tavanında veya yan duvarlarında olabilir.
 - ii. Kazan dairesinin hacmi, bu yırılma yüzeyinin inşası belirleyici rol oynamaktadır. Bu alan 300 m³ hacme kadar ulaşan kazan dairelerinde 0,2 m²/m³ büyüklüğünde olmalıdır.
 - iii. Yırılma yüzeyi bulundurmamak için yukarıda saydığımız şartlardan bağımsız mutlaka yapılması gereken durumlar aşağıda belirtilmiştir.
 - a. Yurt, okul, hastane, tiyatro, sinema gibi kamunun yoğunlukta kullandığı alanlar var ise,
 - b. Kazan dairelerinin yakınında ya da üzerinde bina olması durumunda,
 - c. Ortak kazan dairesi içerisinde hem doğalgaz hem de katı yakıt kullanılması durumunda yırılma yüzeyi inşa edilmelidir [1].

2.4. Kazan Dairesi Düzenlenmesi Ve Boyutlandırılması

1. Kazan dairesi için gereken en küçük hacim 8 m³ olarak kabul edilmektedir. Gerekli tavan yüksekliği en az 2,5 m değerinde olmalıdır. Küçük kazan dairelerinin bu boyutlarının çok üzerinde endüstriyel kazan dairelerinin olduğu bilinmektedir.
2. Kazan dairesi içinde bulunan kazan, brülör, kondens tankı, genleşme tankları, ekonomizör, kollektör vb. daha birçok ekipman düşünülerek boyutlandırma yapılmalıdır. Bu boyutlandırma yapılırken kazan dairesi teknik şartnamenin kuralları çerçevesinde hareket edilmeli, gerekli durumlarda bakım ve onarım yapılabilecek konumlarda yerleşim yapılmalıdır. Şartnamede belirtilen duvar ile kazan arası ya da iki ekipmanın birbiri arasındaki minimum mesafelere riayet edilmesi gerekmektedir. Aksi durumlarda işletim sırasında zorluk çekileceği aşikardır.
3. Yukarıda saydığımız kazan dairesi yerleşim kriterlerindeki mesafelerin yeterli büyüklükte olmasının istenmesiyle beraber, en küçük hacme yerleşmek de bu kurallardandır. İzin verilebilir kazan dairesi hacmi, kazan gücünün her 293 kW kısmı için 21 m³ 'tür.
4. Birden çok kazan barındıran aynı kazan dairesinde, birbiri ardına dizilen iki kazan arası mesafenin minimum 50 cm olduğu unutulmamalıdır.
5. Kazan dairesinde, kazanın arka kısmında duvar ile minimum 1m, ön kısmında minimum kazan boyu büyüklüğünde mesafe olmalıdır.
6. Kazan dairesinde, kazanın üzerine konulabilmesi için en az 10 cm kalınlıkta beton kaide dökülmelidir.
7. Kazan dairesinde kazanın, duvarlara monte edilmiş cihazlardan ya da duvara olan mesafesi en az 70 cm olmalıdır.
8. Kazan dairesi minimum yüksekliğinden daha yüksek olması gerektiği durumlarda minimum yüksekliği belirlerken, kazan üzerindeki en yüksek aksesuar seviyesinden en az 1,2 m daha yukarıda olacak şekilde tasarlanmalıdır.
9. Her cihazın kullanım kılavuzu görünür yerde asılmalıdır.
10. Acil durumlarda yapılacak işler ile alakalı aranabilecek bütün telefonlar kazan dairesinde görünür yerde asılmalıdır.
11. Kazan dairelerindeki kolonlar arasındaki boşluk 6 m olmalıdır (tercih edilir).
12. Kazan dairesi boyutlandırılması yapılırken, kazan önünde duman borularının temizlenebilmesi için en az duman borusu uzunluğunca mesafe olmalıdır.
13. Kazan dairesi tasarımında kazan ve kazana bağlı tüm elemanlar düşünülmelidir. Tavan ile kazan üst kotu arasında minimum 1,8 m mesafe olmalıdır. Eğer degazör kullanılacaksa, degazör tabanı ile pompa eksenini arasındaki mesafe de 2,3 m olmalıdır. Tavan yüksekliği belirlemede degazörün de etkili olduğu söylenebilir.
14. Kazan dairelerinde kazanın üzerine oturtulacağı kaide yapılırken bunun bitmiş döşeme üzerinden en az 10 cm yüksekte yapılması ve hava emiş ağzının (brülör) yerden en az 30 cm yukarıda olacak şekilde ayarlanmasına dikkat edilmelidir. Beton kaide dökülürken minimum 300 doz beton kullanılmalıdır. Kaide üzerine gelecek yük hesaplanmalı, zemin mukavemeti kontrol edilmelidir [1].
15. Kaidenin ön kısmı sabitlenmesine karşın arka kısmının oynar şekilde olmasına dikkat edilmelidir. Genleşen kazanın hareket alanı kısıtlanmamalıdır.

16. Baca ile kazan arasına, genişmeyi absorbe edecek şekilde duman kanalı üzerinde en az bir boğumlu bombe olmalıdır.
17. Baca ile kazan arasında fazla bir mesafe olmamalıdır. Zira baca çekiş gücünü azaltabilir.
18. Tasarımda ilk başta ekonomizör düşünülmediyse de daha sonra gelebilme ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5. Kazan Dairesi Havalandırması

Kazan dairesinde kazanın sağlıklı çalışabilmesi için mahallin havalandırılması zorunludur. Havalandırma alt havalandırma ve üst havalandırma şeklinde iki kısımda yapılmaktadır. Alt havalandırmanın amacı, yanma olayının sağlanabilmesi için gereken taze havanın sağlanmasıdır. Üst havalandırma ise kazan dairesinde olası bir sızma ya da yanma sonucu oluşan atık gazların ortamdan tahliyesi için gerekli durumdur. Kazan dairesi havalandırma hesabı yapılırken sıcaklığın kış aylarında 32 °C değerini aşmaması istenmektedir. Yaz aylarında eğer kapasitenin üst noktalarında çalışılmaya devam edilecekse mevcut havalandırmaya ilave yapılmalıdır.

Alt havalandırma genelde kapının alt kısmına açılan panjurlu menfezler vasıtasıyla yapılırken; üst havalandırma alt havalandırmanın karşı tarafına gelecek şekilde, tavana yakın kısımda ve yine panjurlu menfezler şeklinde yapılmalıdır. Havalandırmalar, panjurlu menfezler yardımıyla doğal olarak yapılabileceği gibi, fan kullanılarak cebri olarak da yapılabilir. Eğer cebri havalandırma yapılacaksa dikkat edilmesi gereken husus, kazan dairesi içerisinde negatif basıncın oluşumuna izin verilmeyecek şekilde tasarım yapılmasıdır. Kazan dairesinde her zaman pozitif basınç oluşmalıdır. Dolayısıyla alt havalandırma doğal olduğunda, üst havalandırmanın cebri olmasına izin verilmez. Ters olması sistemde aksamalara neden olmayacaktır. Doğalgaz kazanı ile birlikte farklı yakıtlı kazanların bulunduğu ortak kazan dairesinde, bütün kazanların doğalgaz kazanı gibi kabul edilmesi gerekmektedir.

2.5.1. Doğal havalandırma

Kazan dairesinin doğal havalandırması için hem alt hem de üst havalandırma menfezlerinin atmosfere direkt temasının olması gerekmektedir. Alt havalandırmanın mümkün olduğunca aşağıda, üst havalandırmanın da mümkün olduğu kadar yukarıda olması lazım ki mahallin doğal sirkülasyonu sağlanabilsin (bkz. Şekil 2.1). Ayrıca kısa devre önlenmiş olur. Projeye uygun hazırlanan havalandırma menfezlerinin galvaniz ya da dkp sacdan imal edilmiş olmalıdır. Menfezlerin hava şartlarından etkilenip paslanmalarını önlemek için antipas boya ile koruma altına alınmalıdır.

Doğal Havalandırma Hesabı:

Alt Havalandırma hesabı:

$$A_a = 540 + \frac{Q_{br}}{60} \times 4,5 (cm^2) \text{ net alan} \quad (2.1)$$

Q_{br} : Brülör ateşleme kapasitesi

Alt havalandırmanın minimum değeri 300 cm²' dir.

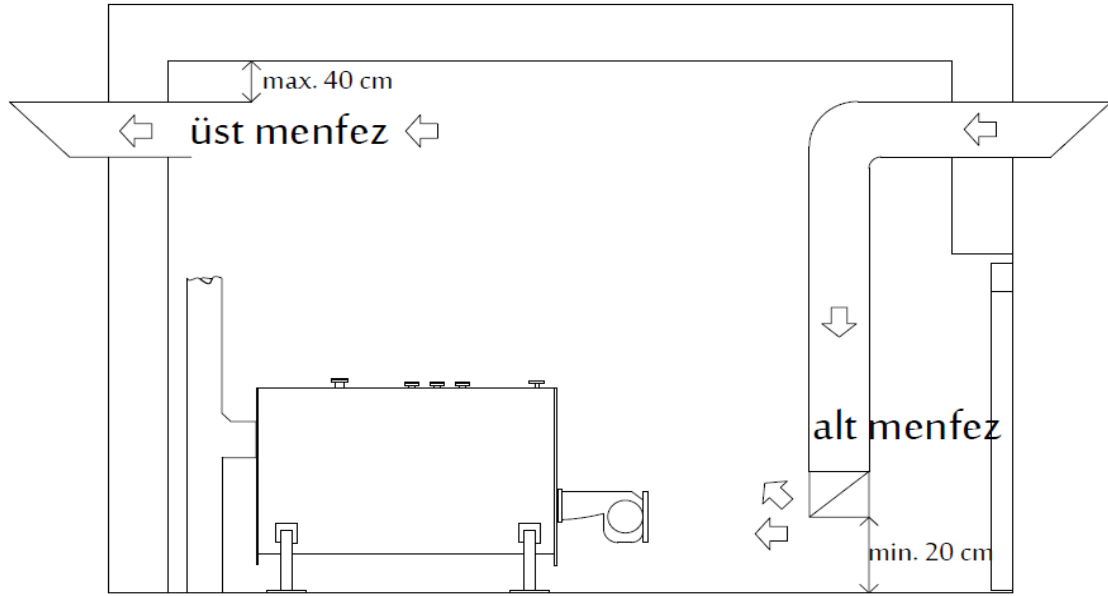
Üst havalandırma hesabı:

$$A_{\ddot{u}} = \frac{A_a}{2} (cm^2) \text{ net alan} \quad (2.2)$$

Üst havalandırma alanının minimum değeri 250 cm²' dir. Havalandırma menfezlerinin kanatları arasında kalan alanların toplamı net alandır. Menfez boyutlarının hesabı net alanın %50 fazlası şeklindedir [1].

Doğal havalandırmada şu konulara dikkat edilmelidir:

- Menfezler direkt olarak atmosfere açılmak zorundadır.
- Menfezlerin düzgün yerleşimi sağlanmalıdır.
- Üst havalandırma menfezleri mümkün olan en üst kısımda (tavana yakın) olmalıdır.
- Yanmış havanın bir kanal ile yer kotuna iletilmesi gereken durumlar, yalnızca üst seviye açıklıklarının mümkün olduğu durumlarda olabilir.
- Panjurlar, kazan dairesine yüksek hızlı hava akımlarının girmesini engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Havalandırma panjurları kazan dairesinin en az iki tarafında ve dahi mümkün ise dört tarafına yerleştirilmelidir.



Şekil 2.1. Kazan dairesi doğal havalandırma

2.5.2. Cebri Havalandırma

Kazan dairelerinde doğal havalandırmanın mümkün olmadığı durumlarda cebri havalandırma yapılmalıdır. Bu havalandırma sisteminde kazan dairesinin sürekli pozitif

basınç altında tutulması gerekmektedir. Cebri havalandırmada taze hava egzoz fanlarının çalışmaması durumunda brülörün kitlendiği bir otomatik kontrol sistemi kullanılmalıdır.

1. Yanmanın sağlanabilmesi ve doğal havalandırmanın olması için, özellikle kapasitesi 586 kW' ın üzerindeki brülörlerin bağlı olduğu kazanlar için, kabul edilen maksimum fazla hava, kazan kapasitesinin her 293 kW değeri için 0,04 m³/s' dir. Bu değer cebri çekişli brülörlerin bağlı olduğu kazanlarda, kazan kapasitesinin her 293 kW değeri için 0,024 m³/s olarak belirlenmiştir [1].
2. Kazan dairesi havalandırmasında, sıcaklık boyutunun yaklaşık 28°C dolaylarında olacak şekilde hesaplama yapılmalıdır. Kazan tarafından kazan dairesine verilen ısı, kazan kapasitesinin yaklaşık %3 kadarıdır [1].
3. Kazan dairesi havalandırma menfez boyutları bir önceki maddede verilen değerleri karşılamıyorsa, yapılacak olan havalandırma, sıcaklığı 32°C' nin altında olacak şekilde hesaplanmalıdır [1].

Cebri havalandırma hesabı (üflelemeli brülörle için)

Alt havalandırma hesabı:

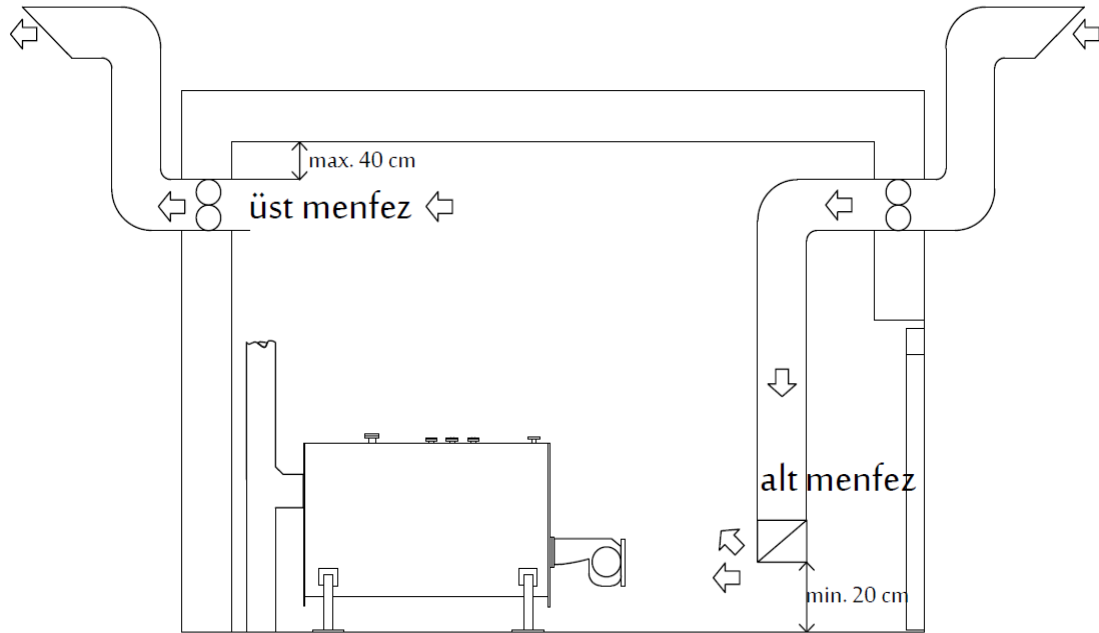
$$\text{Hava debisi} = Q_{br} \times 0,9 \times 3,6 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (2.3)$$

Üst havalandırma hesabı:

$$\text{Hava debisi} = Q_{br} \times 0,6 \times 3,6 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (2.4)$$

Denklemden;

Q_{br} : Brülör ateşleme kapasitesi (kW) alınmalıdır.



Şekil 2.2. Kazan dairesi cebri havalandırma

2.5.3. Fanlı Hava Beslemeli Kazan D. Hav. Dikkat Edilmesi Gereken Konular

- Fanlardan biri besleme havasını içeri alması, diğeri de içerideki havayı dışarı atması için kullanılabilir.
- Özel durumlarda tek fan kullanılmak zorunda kalıncaksa bu taze hava için olmalıdır. Tahliye havası doğal şekilde olabilir.
- Düşük seviyeden hava beslemesi olmalıdır.
- Doğal hava egzoz delikleri en yüksek seviyede olmalıdır.
- Fanda herhangi bir arıza meydana geldiği zaman, brülör gaz beslemesini kesecek hava akış presostatı konulmalıdır. Havanın fan ile kazan dairesine ulaştırılması durumunda miktarı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Fanlı hava beslemesinde hacimsel hava debileri [1].

Havanın şartları	Kazan veriminin her 1000 kW değeri için m ³ /dk olarak hava akış hızı(1000 kcal/h için m ³ /h)			
	Doğal çekişli brülör		Fan çekişli brülör	
	Çekiş sapırcı	Baca stabilizatörü	Direkt baca bağlantısı	Baca stabilizatörü
Minimum yanma ve seyrelme havası	1,35 (26,28)	0,91 (17,12)	0,63 (12,11)	0,83 (15,95)
Minimum yanma seyrelme ve havalandırma havası	2,23 (43,12)	2,00 (38,69)	1,81 (35,15)	1,92 (37,21)
Çıkış havası	0,87 (16,83)	1,08 (20,97)	1,19 (23,04)	1,08 (20,97)

2.6. Bacalar ve Duman Kanalları

- Birden çok kazan olması durumunda, her kazan için ayrı baca yapılmalıdır.
- Kazan dairesinde baca kesitinin çok büyük olmamasına dikkat edilmelidir. Gaz yandığında oluşan su buharı, katı ya da sıvı yakıtların yakılmasında ortaya çıkan su buharından fazladır. Bu durumda baca kesiti büyük olduğunda, cidarda yoğuşma meydana gelebilir. Böyle durumlarda yeni bir baca inşası çözüm olabileceği gibi mevcut bacanın içerisinden paslanmaz çelik bir borunun geçirilmesi de düşünülebilir.
- Kazan imalatçısının tavsiyeleri ve standartlar, baca çap ve yüksekliğini belirlemede yardımcı olacaktır.
- Soba, şofben gibi cihazların bacaları kazan bacasına bağlanamaz.
- Bacanın yükseldiği yerin dip kısmında yoğuşan suyun tahliyesini sağlayabilecek küçük çapta borudan faydalanılabilir.

6. Bina dış duvarına baca konmamalıdır. Eğer konması gerekiyorsa mutlaka izolasyonu yapılmalıdır.
7. Bacada mutlaka sızdırmaz bir temizleme kapağı bulundurulmalıdır.
8. Baca duvarı inşa edilirken duvar kalınlığının bir tuğladan daha az kalınlıkta olmamakla birlikte briket ya da delikli tuğla asla kullanılmamalıdır.
9. Bacaların iç-dış sıvaları iyi yapılmalıdır.
10. Bacanın olduğu mahale yakın binalardan olanaklar dahilinde en az 6 m uzaklıkta olmalıdır ve bacanın, ait olduğu mahal mahyasının en üst noktasının üzerine kadar yükseltilmesi gerekir.
11. Mümkün olduğunca bacaların yön değiştirmesi istenmez. Böyle bir zorunluluk olacak ise bu yön değişimin yatay ile yapacağı açı değerinin en az 60° olduğu unutulmamalıdır.
12. Yatay doğrultuda gelen duman kanallarının bacaya bağlantısı en az %5' lik yükselen eğimle olmalıdır. Yatay duman kanallarının uzunluğu her durumda en fazla baca yüksekliğinin %25' i kadar olmalıdır.
13. Bacaya bağlanan duman kanallarında dirsek kullanımının zorunlu olduğu durumlarda geniş açılı dirsekler kullanılmalıdır. Keskin köşelerden kaçınılmalıdır.
14. Kazana özel baca olması gerektiğini 1. Maddede ifade etmiştik. Fakat ayrı baca inşasının mümkün olmadığı durumlarda aşağıdaki kriterler yerine getirildiği zamanlarda doğalgazlı kazanlar ile sıvı yakıtlı kazanların aynı bacaya bağlanmasına müsaade edilebilir.
 - a) Ortak bacaya bağlanmak istenen söz konusu kazanların toplam kapasitesi, baca kesitinin taşıyabileceğinden fazla kapasitede olmamalıdır.
 - b) Kazanların bağlanacağı ortak bacalarda, baca ve bacaya bağlı tüm elemanların kazan toplam ısı kapasitesi baz alınarak hesaplanmış olmalıdır. Ortak bacaya bağlı her eleman 5 dakika süreyle çalıştırılarak ısıtılır. Hiçbir cihaz bağlantısı yoksa bile gerekli ısıyı sağlamak için herhangi bir ısı kaynağı kullanılabilir.
 - c) Hava akımının sağlandığı dış ortama açılan tüm açıklıkların kapalı olması gerekmektedir. Test yapılırken en alttaki duman tableti uygulanır. Diğer katlardaki mevcut cihazlarda, duman kibriti yakılarak geri tepmenin olup olmadığı kontrol edilir. Mümkünse aynı kattaki testler aynı anda yapılmalıdır. Bacanın çekmediğinin anlaşılması, geri tepmenin olduğuna işarettir. Nedenleri bulunup olumsuzluklar giderildikten sonra test tekrarlanır.
 - d) Baca kesit hesabı yapılırken bacaya bağlanacak tüm cihazların kapasiteleri göz önüne alınarak yapılmalıdır. Kazan dairesinin havalandırma hesapları yapılırken ise; her bir kazan çıkışındaki bağımsız baca hesabının uygulanmasında sakınca yoktur.

2.7. Elektrik Donanımı

2.7.1. Proje Safhası

1. Kazan dairesindeki buhar ve kızgın su kazanlarının elektrik tasarımı detaylı oluşturulmalıdır. En ince detaylarına kadar hesap edilip projelendirilmelidir.
2. Makine dairesindeki diğer tip kazanların elektrik projesinin tek hat şeklinde çizilmesinde mahsur yoktur.
3. Elektrik projesinin üzerinde komponente ait tüm değerler yazılarak hesaplanmalıdır.
4. Projede brülörü kumanda eden bütün elemanlar belirtilmelidir.
5. Bina projelendirme esnasında gereken durumlarda sirkülasyon pompaları, pis su pompaları gibi elemanlar tasarıda görünür kılınmalıdır.
6. Topraklamalar ve ilgili tüm elemanlar tasarıda görülmelidir.

2.7.2. Montaj Safhası

1. Enerji panoları ex-proof tipte olmalıdır.
2. Kazan dairesinde kullanılan bütün panolar mümkünse ex-proof tipte olmalıdır. Brülör panosu da ex-proof olmalı ve brülöre yakın yerde montajı yapılmalıdır.
3. Brülör panosu ile ana pano arasında çekilecek besleme hattı tesisatı tasarıda hesaplanmış kesitte antigron kablo ile döşenmelidir.
4. Brülör kumanda panosu ile brülör arasında çekilecek kablolarda ilave edilmesi gereken durumlarda kesinlikle buat kullanılmalıdır.
5. Düz ya da spiralli boru bağlantıları rakorlarla yapılmalıdır. Boru içerisindeki kablolar görünmemelidir.
6. Kazana bağlı brülörlerin yakınındaki elektrik tesisatları (genelde hareketli tesisat) metal spiraller içinde olmalıdır.
7. Kazan dairesinin aydınlatmasında kullanılan florans ya da contalı glop tip armatür ile tavan arası mesafe en az 50 cm olmalıdır. Elektrik tesisatı da antigron olarak çekilmelidir.
8. Kazan dairesinde zaman saati kullanımı olduğunda, zaman röleleri kullanılarak sirkülasyon pompaları bu zaman saatinden beslenmelidir. Bu tesisat antigron tipte olmalıdır.
9. Kazan dairelerinde cebri havalandırmanın zorunlu olduğu durumlarda, fan motoru ile brülör gaz besleme noktaları arasında elektriksel bağlantı kurulup fandaki herhangi bir arızada brülörün devre dışı kalması sağlanmalıdır.
10. Acil durumlarda kazan dairesindeki tüm elektriği kesecek bir acil durum şalteri kesinlikle bulunmalıdır.
11. Kazan dairelerinde buhar ya da kızgın su kazanı bulunması durumunda bir veya biden fazla yere kurulacak gaz kaçağı tespit alarm sistemi bulunmalıdır. Kazan görevlisinin ya da herhangi birinin kazan dairesi dışında olsa bile görülebildiği, ulaşılması kolay bir yerde ve tehlike anında kazan dairesinin tüm elektriğini kesebilecek bir acil kesme butonu olmalıdır.

2.7.3. Topraklama

1. Kazan dairesinin topraklaması yapılmalıdır. Brülör, kazan ve baca topraklamasının yapılması zorunludur.
2. Kazan dairesinin topraklaması daha önce yapılmış ise, bu topraklama değeri tekrardan ölçülmelidir. Ölçülen bu değer standartlardaki sınır değerler içinde değilse, bu sınırlara getirmek için çalışmalarda bulunulmalıdır. Genelde direncin 20Ω ' dan az olması istenir.
3. Tesisat topraklanırken üç çeşit iletken kullanılır; (t: Kalınlık, A: Alan)
 - a) Galvaniz kaplama levha; $t= 1 \text{ mm}$, $A= 0,5 \text{ m}^2$
 - b) Bakır levha; $t= 2 \text{ mm}$, $A= 0,5 \text{ m}^2$
 - c) Bakır çubuk elektrotlar (bakır kaplama olmamalı) [1].

Olabilmektedir. Topraklama elemanları toprak yüzeyinde bırakılmamalıdır. Bakır ve galvanizli levhalar toprak yüzeyinden yaklaşık 1 m aşağıda olmalı, bakır çubuk elektrotlar ise toprak yüzeyinden yaklaşık 0,2m derinliğe çakılmalıdır.

4. Yukarıda belirttiğimiz iletkenlerin pano ile irtibatının sağlanması gerekmektedir. Belirtilen bütün topraklama çeşitlerinde, topraklama elemanı ile pano arasında örgülü bakır tel kullanılarak irtibat sağlanmalıdır. Telin bir ucu topraklama elemanına kaynak ile birleştirilirken(ya da lehim), diğer ucu panoya iletilmelidir. 3. Maddede bahsedilen durumların tamamında en az 16 mm^2 çıplak örgülü bakır tel lehim veya kaynak ile elektroda tutturulmalıdır.
5. Projede hesaplanan kablo kesitlerine uyulmalıdır. Hesaplanan kesitten büyük çapta iletken kullanılabileceği; fakat küçük çapta kesinlikle kullanılamayacağı bilinmelidir. Tedbiren bir üst kesit kullanımında fayda vardır.
6. Topraklamada kullanılan elemanların özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır; $t_1= 16 \text{ mm}$, $L_1= 1250 \text{ mm}$ ya da $t_2= 20 \text{ mm}$, $L_2= 1000 \text{ mm}$ [1].
7. Topraklama yapılırken elektrotların içlerinin kesinlikle dolu olmasına dikkat edilmelidir. Yalnızca dışının bakır olması kabul görmez. Bu durum kesinlikle sağlıklı bir uygulama olmayacaktır.
8. Topraklamanın yapıldığına dair ölçüm değerleri tutanaklarda belirtilerek kayıt altına alınmalıdır.

2.7.4. Diğer Elektriksel Donanımlar

Yukarıda belirtilen donanımlara ilave olarak;

- Gaz kaçaqları ile ilgili donanımlar
 - Detektörler ile ilgili donanımlar
 - Uyarı sistemleri
 - Emniyet armatürleri
 - Kablo tipleri
 - Sesli uyarı tertibatı
 - Havalandırma fanları
- Gibi donanımlar da ayrıntılı incelenebilir.

2.8. Gaz Donanımı

1. Gaz tesisatının düzenlenmesi standartlarca belirtilmiştir. Uygulanmalıdır.
2. Gaz tesisatında kullanılan fittings malzeme iyi kalitede olmalıdır.
3. Kazan dairesine gelen gaz önce gaz ölçüm birimindeki sayaçtan geçmek durumundadır. Çünkü gaz dağıtım şirketi tarafından verilen gazın bedeli buradan hesaplanmaktadır. Gaz sayacında oluşabilecek arıza durumuna hazırlıklı olmak adına bu sayaca by-pass olabilecek ve gaz dağıtım şirketi yetkilileri tarafından mühürlenmiş bir vana ile kontrol altına alınmalıdır. İşletme, herhangi bir arıza olması durumunda, üretimi durdurmamak adına gaz dağıtım şirketi yetkililerinin bilgisi dâhilinde bu vanayı açarak çalışmanın devamını sağlamalıdır. Aksi durumda by-pass vanası sürekli kapalı konumda kalmalıdır.
5. Ana servis vanası servis kutusunun çıkışında, gaz sayacına varmadan kazan dairesi dış duvarındaki gaz borusuna monte edilecek şekilde olmalıdır.
6. Boru ve boru elemanlarının montajı:
 - a) Gaz hattını besleyen boruların standardı, TS 7363' e göre API5L kalitesinde TS EN 10208' e uygun olmalıdır. Bu kaliteye uygun boru elemanları da DIN, ISO, BS ve TSE standartlarına haiz olmalıdır. Boru elemanlarının (fittings) TS 931, TS 11 ve TS 2649 standartlarında olması istenir [1].
 - b) Gaz hatlarında DN50 (2") dâhil, bu çapa kadar olan boru elemanları dişli, bu çapın üzerindeki elemanlar flanşlı ve kaynaklı olmak durumundadır. Belli şartlarda bu kaynaklara röntgen filmleri çekilerek kontrol edilir. Kimi durumlarda ultrasonik teste de tabi tutulabilir.
 - c) Sistemin kaynaklı olması durumunda, kaynak yapacak kişinin, mutlak suretle yetkili kuruluşlardan aldığı sertifikalarının olması gerekmektedir. Kaynak yapma yetkisine haiz kaynakçılar dışında kimseye kaynak yaptırılmamalıdır.
 - d) Eğer dişli bağlantı yapılacak ise, dişlerin arasından gaz kaçağını önlemek adına keten ile macun kombini kullanılır. Gelişen teknoloji ile bunların yerini sızdırmaz sıvı contalar almıştır.

7. Boru Montaj Hattı (gaz):

- a) Hattın boruları gizlenemez, açıktan gitmelidir.
- b) Borular gaz taşıma dışında başka amaçlar için kullanılamaz.
- c) Gaz borularının yatayda ilerlemesi durumunda, diğer tesisat borularında oluşabilecek herhangi aksi durumdan etkilenmemesi adına, diğer boruların üstünden gitmesinde fayda vardır.
- d) Gaz boru hatları, sıcak su hatları ve elektriksel ekipmanların en az 3 cm açığından gitmelidir. Oluşabilecek olumsuz durumlardan etkilenmeyi minimuma indirmek için aradaki mesafenin daha fazla olması sağlıklı olacaktır.
- e) Gaz boru hattı bina içerisinde gizlenemez;
 - Asma tavan
 - Asansör boşluklarından
 - Çöp depolarından
 - Kolay ulaşımı mümkün olmayan mekânlardan

- Binanın ıslak hacimli mahalleri içinden
- Merdiven boşluklarından
- f) Boru hatları dilatasyondan geçmek durumunda kalırsa, bu geçişlerde esnek geçiş elemanı kullanılmalıdır. Projede açık şekilde belirtilmelidir.
- g) Duvar geçişlerinde boru çapından büyük çapta kılıf kullanılmalıdır ki korozyon oluşmasın. Ayrıca kılıf konduktan sonra boru ile kılıf arası mastik dolgu ile doldurulmalıdır.
- h) Boru kelepçeleri ve konsol sistemleri:

- Gaz borularının çaplarına uygun kelepçe ve konsol sistemleri ile sabitlenmelidir. Kelepçe aralıkları gaz şartnamelerinde mevcuttur.
- Konsollar sabit noktaya çelik dübeller ile tutturulmalıdır.
- Kelepçenin özellikle kullanıldığı yerler vardır. Örneğin dirsekli dönüşler.
- Fittingslerde oluşabilecek arızalar nedeniyle (özellikle dışlilerde), bu elemanların dışlı kısmına denk gelecek kelepçeler bağlanmamalıdır.

i) Regülatör, Sayaç ve Filtre Montajları:

- Gaz armatürleri ya da sayaçlar, havalandırılmış, atmosfer şartlarından korunaklı, nemden arındırılmış, gerektiğinde bakım ve onarımı kolay noktalara monte edilmelidir. Sayaçlar, eğer duvara montajı yapılacaksa, buna uygun konsol sistemleri yapılarak, kolay okunabilecek yüksekliğe (maksimum 2,2 m) yerleştirilmelidir.
- Sayaçların bina dışına montajı yapılmak istenmesi durumunda, sayaç ve sayaca bağlı grup elemanlarının korozyon problemini yaşamayacağı şekilde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Muhafaza altına alınan bu grubun havalandırılması gerekmektedir.
- Sayaç grubu, elektrikli aletlerden uzakta olmalıdır. Zorunlu durumlarda bu mesafe en az 30 cm olmalıdır. Mümkün ise aralarında yalıtkan malzeme konmalıdır.
- Kazan dairesi içine sayaç montajı yapılmamalıdır.
- Sayaç montajı baca duvarlarına yapılamaz.
- Büyük çapta sayaçlar kullanıldığında demir konsollar yerine beton kaidelerin hazırlanması daha sağlıklı olacaktır.
- Körüklü, küçük sayaçlar kullanıldığında, girişlere esnek bağlantı elemanları kullanılmalıdır.
- Boru hattı sayaca girmeden, küresel kesme vanası kullanılmalıdır.
- Dışlı bağlantılarda keten macun ikilisi ya da sıvı conta; flanşlı bağlantılarda ise uygun contalar (klingrit) kullanılmalıdır.
- Regülatör ve filtre bağlantısı yapılırken, oluşabilecek bir arızayı gidermek için, kolay sökülüp takılabilecek, temizliğinin kolayca yapılabileceği pozisyonlarda montajı yapılmalıdır.
- Vana montajı yapılırken, vana kollarının kolayca açılıp kapanmasına olanak sağlanacak şekilde monte edilmesi gerekmektedir.

j) Gaz Alarm Cihazı (gaz kaçağı tespit):

- Katı yakıtlı veya sıvı yakıtlı kazanların gaz yakıtlı kazanlara dönüşümü gerçekleştirilirken, statik nedenlerden kaynaklanan bir hasar, bir yırtılma yüzeyi oluşturmanın mümkün olmadığı durumlarda, gaz seviyesinin tehlike boyutlarına ulaşmasını engellemek adına gaz alarm cihazı kullanılmalıdır.
- Yırtılma yüzeyini tamir şansı varsa bile, kazan dairesinin olduğu yerin yakınında başka binaların olması durumunda gaz alarm cihazı (gaz kaçağı tespit cihazı) kullanılmalıdır.
- Gaz alarm cihazı (gaz kaçağı tespit cihazı), kazan dairesinin havasını kontrol edeceği gibi gaz ölçüm odasının havasını da kontrol etmelidir. Bu sebepten detektörler hem kazan dairesine hem de gaz ölçüm odasına konmalıdır.
- Gaz alarm cihazı yerleşimi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi de kapasitelerdir. Mevcut kurulu kapasitenin kazan dairesi hacmine oranı 2408 kcal/hm^3 ten büyük olması durumunda iki adet gaz kaçağı tespit cihazı kullanılmalıdır.
- Gaz detektörleri, gaz yoğunluğuna bağlı olarak sinyaller üretirler. Bu sinyallerin işlem gördüğü merkezi birimleri vardır. Merkezi birimler, elektrik panosuna, tehlike bölgesinin dışına yerleştirilmelidir.
- Gaz detektörleri, hedef bölgedeki gaz yoğunluğunun alt patlama sınırının $1/5$ ' ine vardığında, cihazdan sesli ve ışıklı uyarılar algılanır, acil durum havalandırma fanları devreye girer. Fanın kapasitesi belirlenirken de, kazan dairesinin havasını 10 defa/saat yenileyebilecek özellikte ve elektrik motorunun ex-proof (patlama güvenli) nitelikte olmalıdır.
- Gaz detektörleri, hedef bölgedeki gaz yoğunluğunun alt patlama sınırının $2/5$ ' ine vardığında, uyarı sistemini sürdürürken, aynı zamanda elektriksel bağlantılı olduğu kontrol elemanlarına da etki (selenoid valfler) ederek kazan dairesine gelen gazı keser. Hedef bölgedeki elektrik hatları da kesilmiş olur. Dolayısıyla yalnızca acil durum fanı ve alarm lambaları faal durumda kalır.

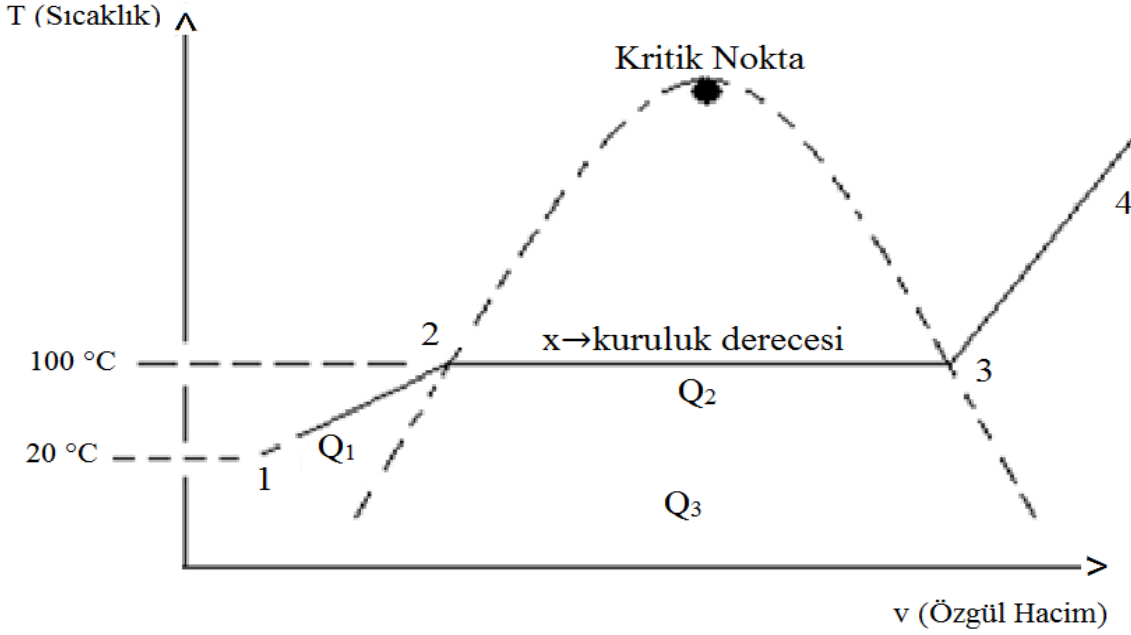
2.9. Diğer Konular

- Yapılar, yangın şartnamesine uygun şekilde inşa edilmelidir.
- Kazan dairesi görevlisinin dinlenmesi ve sosyal ihtiyaçlarını karşılayabileceği alanlar olmalıdır. Ayrıca kazan görevlisinin yukarıda anlatılan konulardan haberdar olması için belli aralıklarla eğitime tabi tutulmalıdır.
- Kazan dairelerinde oluşabilecek kötü durumlara hazırlıklı olmak gerekmektedir. Örneğin kazan dairesi içerisinde oluşabilecek su birikintilerinin tahliyesi düşünülp önlemi alınmalıdır.

3. BUHAR ÜRETİMİ

3.1. Buhar Nedir, Nasıl Oluşur

Sıvıların ve bazı katı maddelerin ısı etkisiyle şekil değiştirerek geçtikleri gaz haline buhar denir. Bir sıvının gaz haline geçmesi olayına da buharlaşma denir. Her sıcaklıkta buharlaşma olur ve dolayısıyla atmosfere açık serbest yüzeyli sıvılarda her zaman buharlaşma olur demek yanlış olmaz. Şekil 3.1'de buhar oluşumu safhaları görülmektedir. Bu safhaların özelliklerini tablolardan ya da diyagramlardan görmek mümkündür.



Şekil 3.1. Buhar oluşumu

Isı Hesabı:

- 1→2 suyun doymuş hale gelmesi

$$Q_1 = \dot{m} \times c_p \times (T_2 - T_1) = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (3.1)$$

- 2→3 doymuş suyun, doymuş buhar haline gelmesidir. 2→3 arası aynı zamanda ıslak buhar özelliği taşımaktadır. Su+buhar şeklinde karışımdır. Buhar miktarının tespiti için kuruluk değeri (x) belirlenir. Buharlaşan sıvı molekülleri sürekli hareket eder ve birbirine çarparlar. Su moleküllerine çarpan buhar molekülleri su haline geçer. Belli bir zaman sonra ne kadar su molekülü buhar haline dönüşmüşse aynı miktar buhar molekülü suya dönüşür ve böyle bir doymuş buhar dengesi kurulmuş olur. Yeryüzünde sürekli olan buharlaşma olayının canlılar üzerindeki etkileri de yadsınamaz. Okyanuslar, denizler, göller ve diğer su kaynakları göz önüne alındığında buharlaşma hacmi konusunda fikir sahibi olunabilir.

$$Q_2 = \dot{m} x h_{fg} = \dot{m} x (h_3 - h_2) \quad (3.2)$$

$$x = \frac{\dot{m}_{buhar}}{\dot{m}_{toplam}}$$

$x = \text{kuruluk derecesi}$

$$0 < x < 1$$

- 3→4 doygun buharın kızgın buhar haline gelmesi. 4 noktasına gelindiğinde kızgın buhar elde edilmiş olur.

$$Q_3 = \dot{m} x (h_4 - h_3) \quad (3.3)$$

Suyu kızgın buhar haline getirebilmek için gerekli toplam ısı miktarı:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (3.4)$$

Q: Isı (kJ/h)

\dot{m} : Kütleli debi (kg/h)

c_p : Sabit basınçta özgül ısı (kWh/Nm³)

T: Sıcaklık (°C)

h: Entalpi (kJ/kg)

3.1.1. Temel Kavramlar

Doyma sıcaklığı: Belli bir basınç değerinde saf sıvının kaynamaya başladığı sıcaklıktır.

Doyma basıncı: Belli bir sıcaklık değerinde saf sıvının kaynamaya başladığı basınçtır.

Sıkıştırılmış Sıvı: Belli bir basınç değerinde, sıvının sıcaklığının doyma sıcaklığının altında olması ya da belli bir sıcaklıkta sıvının basıncının doyma basıncının üzerinde olması durumudur.

Doymuş sıvı: Belli bir basınç değerinde, o basınca karşılık gelen doyma sıcaklığında olup, içinde buhar zerresi olmayan sıvıya denir.

Doymuş buhar: Belli bir basınç değerinde, o basınca karşılık gelen doyma sıcaklığında olup, sıvının tamamının buhar fazında olduğu durumdur.

Kızgın buhar: Belli bir basınç değerinde, buharın sıcaklığı, o basınçtaki doyma sıcaklığından daha yüksek olması durumunda o buhar kızgın buhardır.

3.1.2. Buhar Kullanım Nedenleri

- Isı taşınmasında optimum özelliklere sahip olması
- Nispeten küçük çaplı borular ile yüksek miktarda ısı transferi sağlaması
- Çevreye zarar vermemesi
- Enerji tasarrufu sağlanabilmesi (geri kazanım ile)
- İlave bir itici güce gereksinim duymadan akışkanın taşınabilmesi
- Hassas sıcaklık kontrollerine izin vermesi
- Borulama tesisatındaki korozyon riskini azaltması
- Termodinamik özelliklerinin iyi olması ve minimum ısı kaybına sahip olması
- Yatırım giderleri muadillerine göre daha az olması
- Emniyetli olması
- Saf ve çevreci bir akışkan olması

3.1.3. Buharın Kullanım Alanları

- Petrokimyada
- Termik santrallerinde elektrik üretiminde (Buhar türbinleri)
- İlaç ve gıda endüstrisinde
- İnşaat malzemeleri endüstrisinde
- Buharlı ısıtma sistemleri (kalorifer tesisatları)
- Rafinerilerde
- Kimya endüstrisinde
- Sterilizasyon (ambalaj ve gıda)
- Gübre endüstrisinde
- Kauçuk ürünlerinin vulkanizasyonunda
- Kâğıt endüstrisinde
- Ahşap işletmesi ve şekillendirilmesinde
- Tekstil endüstrisinde

Ve daha yukarıda ismini saymadığımız birçok kullanım alanı vardır.

3.2. Buhar Kazanları

Yakıtın kimyasal enerjisini kullanarak içerisindeki sıvının buharlaştırılmasının sağlandığı basınçlı kaplara buhar kazanı denir. Hazırlanmış yakıtlar (petrol-kömür-doğalgaz vb.) hava ile pülverize hale getirilip yanma odasının içine püskürtülür. Yanma sonucunda açığa çıkan ısı, kazan borularının içindeki suyu buharlaştırır. Arta kalan katı atık ve cürufklar kazanın altındaki su teknesine düşer, oradan da bantlarla dışarı atılır. Yanma sonucunda oluşan gazlar da ısıyı iyice alındıktan sonra 110–200 °C civarında bacadan gönderilir. Kazanda üretilen buhar, buhar kullanıcılara yönlendirilir.

3.2.1. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması

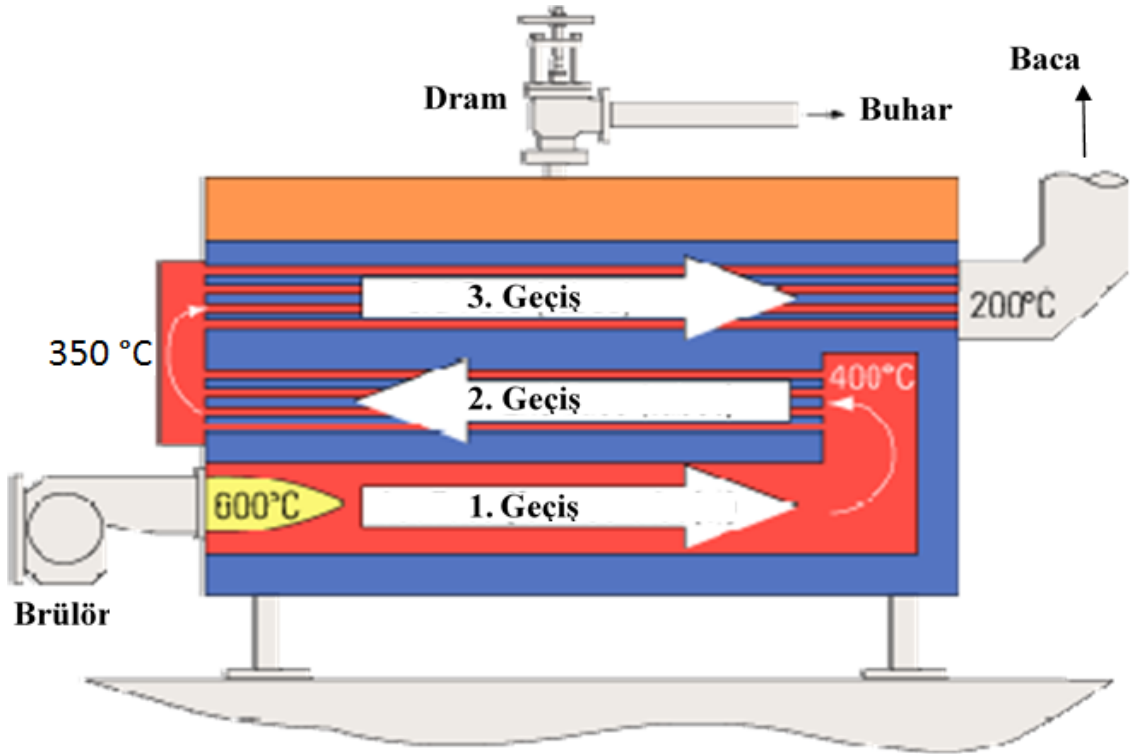
- **Kullanım yerine göre**
 - Sabit kazanlar
 - Portatif kazanlar
 - Lokomotif kazanlar
 - Gemi buhar kazanları
- **Kazan basıncına göre**
 - Alçak basınçlı kazanlar
 - Yüksek basınçlı kazanlar
 - Süper kritik basınçlı kazanlar
- **Ocak cinsine göre**
 - Dıştan ocaklı kazanlar
 - İçten ocaklı kazanlar
- **Kullanılan yakıt cinsine göre**
 - Kömür yakan kazanlar
 - Sıvı yakıt kullanılan kazanlar
 - Gaz yakıt kullanılan kazanlar
- **Konstrüksiyonuna göre**
 - Duman borulu kazanlar
 - Alev borulu kazanlar
 - Alev-duman borulu kazanlar
 - Su borulu kazanlar

olmak üzere çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir.

Buhar kazanları üretiminde kullanılması muhtemel malzemeler standartlarda belirtilmiştir. TS ve Avrupa normları, basınca maruz kalan kazan saclarında 1,0425/P265GH ve 1,0481/P295GH çelik malzeme kullanılmasını ister. Ayrıca duman boruları için EN 10216-2/10217-2' ye uygun çelik boru tanımlanmıştır. Kaynak süreçleri EN 288' e uygun olmalı ve kaynak işlemini yapacak kişinin de EN 287' ye göre sertifika sahibi olması gerekir. Buhar kazanları imalatı, Avrupa Birliği Basınçlı Kaplar Direktifi 97/23/EC' e tabidir. Buhar kazanlarının tarif edildiği Avrupa Normu EN 12953, TSE tarafından kabul edilerek TS 377/EN 12953 başlığı ile yayımlanmıştır.

3.2.1.1. Alev Borulu Kazanlar

Alev borulu kazanlar, yakıtın yanmasıyla oluşan kızgın gazların borular içinden geçerek buharlaştırılacak su borularının dışında bulunduğu kazan tipleridir. Su ve buhar aynı kısımda yer alır. Çok miktarda suyu depo etmesi, ısı kaybı az ve kazan veriminin yüksek olması bu tip kazanların başlıca özelliklerindedir. Buhar rezerv haznesi geniş olduğundan buhar tutma süresi uzundur. Bu yüzden ani çekiş ve ara duruşlarda tekrar tam yüke girme süreleri kısadır. Üç geçişli alev borulu kazan Şekil 3.2'de verilmiştir.

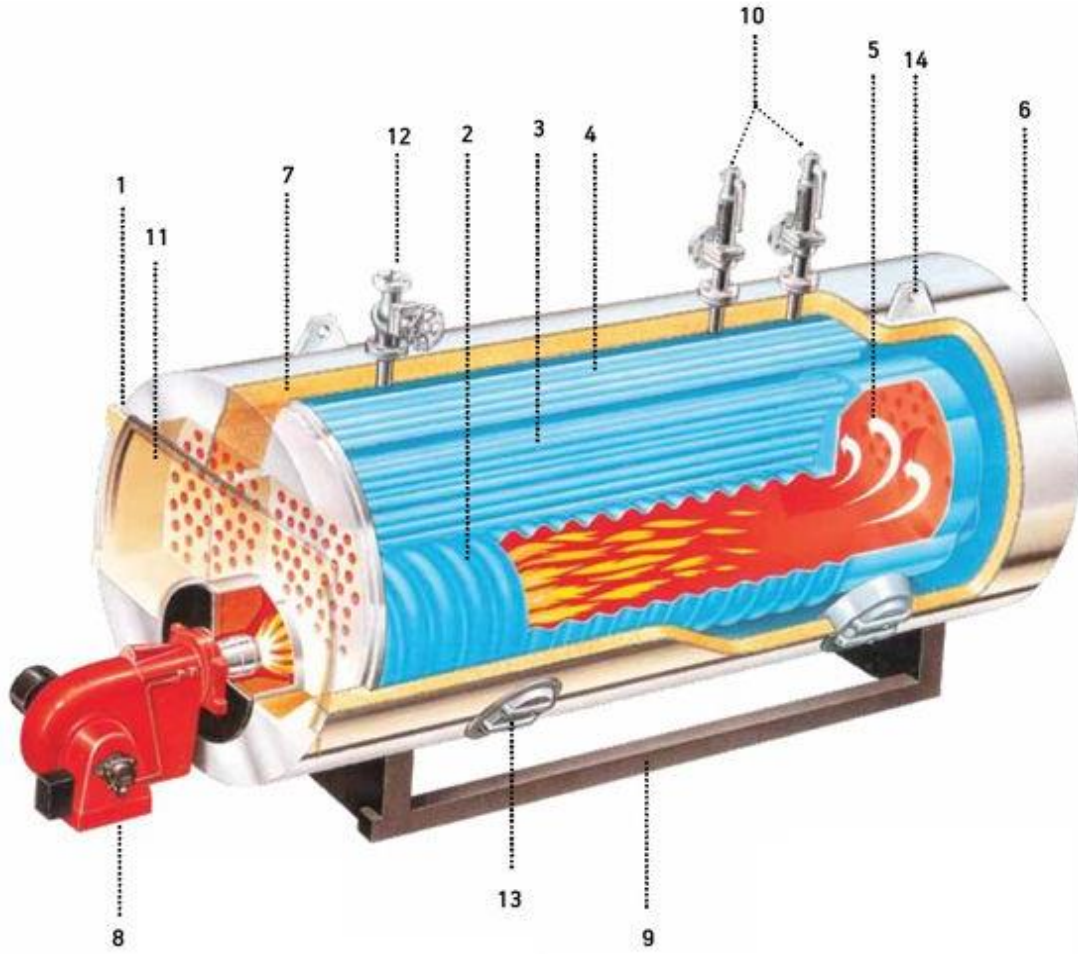


Şekil 3.2. Üç geçişli alev borulu kazan

Endüstride 25 t/h ve 25 bar değerlerinin altındaki sistemlerin daha yaygın olarak kullanılması ve doğalgaz dağıtımındaki gelişmelerden dolayı daha düşük kurulum maliyetli ve kompakt tasarımlı alev-duman borulu kazanlara uygulamada daha sık rastlanmaktadır.

Sıvı/gaz yakıtlı alev-duman borulu buhar kazanı tasarımında yüksek verim ve düşük NO_x emisyonları sayesinde üç geçişli Skoç tipi tasarım kabul görmüştür. Skoç tipi kazanlarda yanma külhanı olarak da adlandırılan yanma hücresinde gerçekleşir. Bu bölgede ortam sıcaklığı 1200-1400°C'dir. Yanma sonucu oluşan duman gazları yanma hücresini terk ederek cehennemliğe girer. Cehennemlik, yanma hücresi ve ikinci duman gazı geçiş borularını bağlayan duman kutusudur. Cehennemlikteki duman gazı sıcaklığı 900°C civarındadır. Duman gazları, cehennemlikten ikinci geçiş

borularına dağılır. İkinci geçiş boruları, kısa duman boruları olarak da adlandırılır. Bu bölgede ısı transferi yoğun olarak konveksiyon yoluyla gerçekleşir. Kısa duman borularından çıkan duman gazları, ikinci ve üçüncü duman gazı geçişlerini birleştiren ön duman sandığına ulaşır. Ön duman sandığında gaz sıcaklığı 450°C civarındadır. Duman gazları, kazan içindeki son geçişini gerçekleştirmek üzere ön duman sandığından üçüncü geçiş borularına girer. Üçüncü geçiş boruları uzun duman boruları olarak da adlandırılır. Duman gazları uzun duman borularında 220-280°C'ye kadar soğutulduktan sonra arka duman sandığında toplanarak bacaya atılır. Venta'ya ait alev-duman borulu kazan ve komponentleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Alev-duman borulu buhar kazanı ve bölümleri [4].

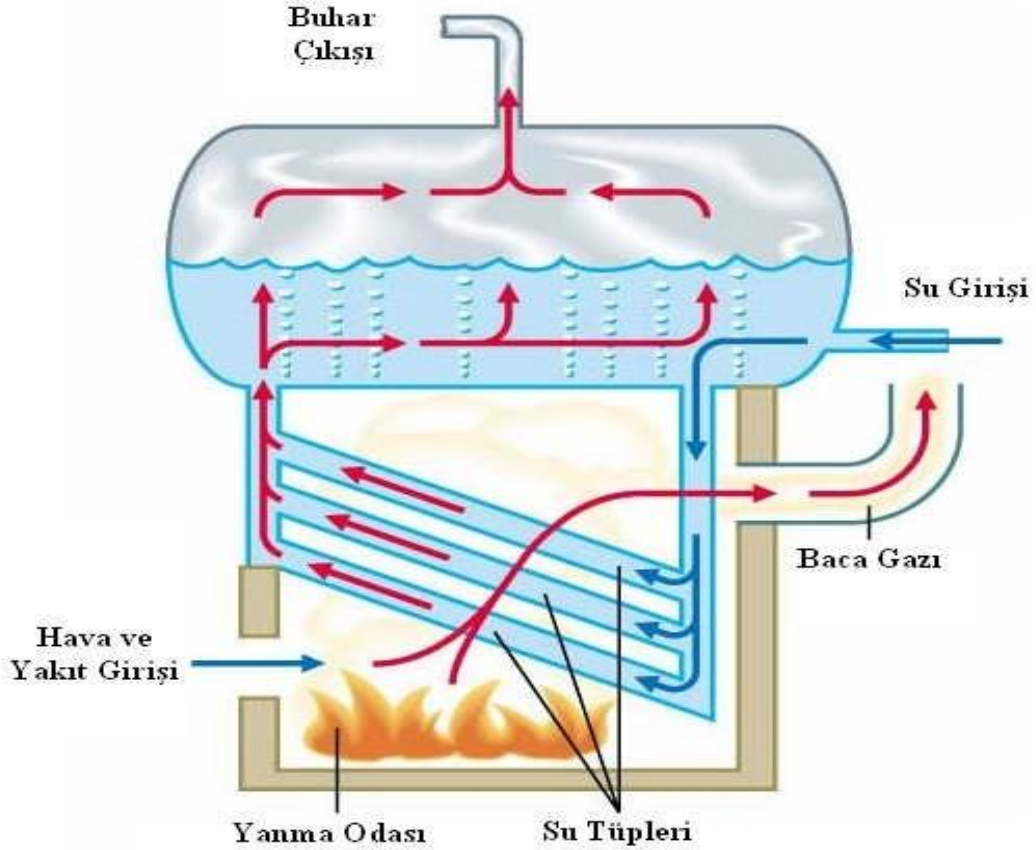
- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Gövde | 8. Brülör |
| 2. Külhan | 9. Kazan Kaidesi |
| 3. Duman boruları II. Geçiş | 10. Emniyet Ventili |
| 4. Duman boruları III. Geçiş | 11. Ön Duman Sandığı |
| 5. Su soğutmalı cehennemlik | 12. Buhar Çıkış Vanası |
| 6. Duman gazı çıkışı | 13. Temizleme Menholü |
| 7. İzolasyon | 14. Kaldırma Halkası |

3.2.1.2. Su Borulu Kazanlar

Suyun boru içinde dolaştığı ve buharlaşmanın burada sağlandığı su borulu kazanların özellikle yüksek kapasitede sıcaklık ve basınca ihtiyaç duyulan endüstriyel tesislerde kullanıma uygundur. Su hacmi, alev ve alev-duman borulu kazanlara oranla daha küçük; fakat sıcaklık ve buhar basıncının nispeten yüksek olduğu kazanlardır. Şekil 3.4'te su borulu kazan örneği verilmiştir.

Su borulu kazanların avantajlarından bazıları şunlardır:

- Yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar üretirler
- Buhar tutma süreleri uzundur
- Kapasiteleri, alev borulu kazanlara göre yüksektir
- Patlama tehlikesi olmaz
- Verimleri yüksektir
- Alev borulu kazanlara nazaran kapladıkları hacim küçüktür
- Kısa sürede buhar basıncını yükseltebilir



Şekil 3.4. Su borulu kazan

3.3. Brülör

Yakıt ve havanın optimum oranda karıştırılarak, yanma odasına alınan yakıtın tamamının yanmasını sağlayan cihazlara brülör denir. Atmosferik ve üflelemeli tipleri vardır.

Atmosferik brülörler, gaz ile çalışan ve alçak basınç aralığında yanmanın sağlandığı brülörlerdir. Hareketli parçaları olmadığından sessiz çalışırlar. Meme, karışım borusu, iç yanma odası ve yanma levhasından oluşur. Memeden çıkan gaz, ortamdaki havayı da alarak brülör içine girer ve gaz-hava karışımı kendiliğinden oluşur. Gaz ve hava karışımı yanma levhasından çıkarak yanar.

Üflelemeli (fanlı) brülörler, yanma havasının aynı anda brülörün yanında ya da ayrı monte edilmiş bir fan yardımıyla elde edildiği ve yakıt - yanma havası karışımının brülörün kafasında sağlandığı brülör tipidir. Yanma olayı yatay doğrultuda bir fan yardımı ile gerçekleşir. Üflelemeli brülörler yakıt türüne göre üç bölüme ayrılır.

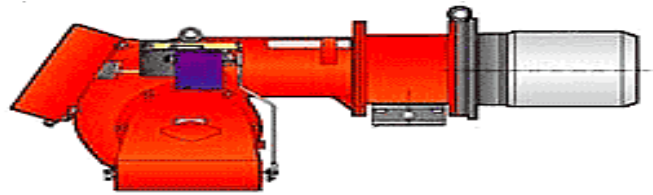
- Gaz yakıtlı brülörler
- Fuel-oil yakıtlı brülörler
- Motorin yakıtlı brülörler

Brülörleri çalışma şekillerine göre de sınıflandırmak mümkündür. Yakıtın atomizasyon (parçalanma) yöntemine göre;

- Yüksek Basınç İle Püskürtmeli Brülörler (memeli)
- Buhar/Hava Atomizasyonlu Brülörler (buhar/hava parçalama brülörler)
- Rotatif Çanaklı Brülörler

Üflelemeli brülörler motorin gibi yüksek viskoziteye sahip olmayan sıvı yakıtların ve gaz yakıtların yakılmasında kullanılır. Sıvı yakıt brülörlerinde yakıt bir pompa vasıtasıyla basınçlandırılır ve bir meme yoluyla pülverize edilerek yakılır. Gaz brülörlerinde ise basınçlı gelen gaz, bir fan tarafından sevk edilen yakma havası ile karıştırılır.

Rotatif brülörler, pompalarla yeterli sıcaklık ve basınca ulaşan sıvı yakıt brülöre beslenir. Brülör merkez vanasından geçen yakıt dönel çanak adı verilen kısma boşalmaya başlar. Dönel çanak çok yüksek hızda dönerken merkezkaç kuvvetinin etkisiyle sıvı yakıt çanak yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturur. Bu ince film tabakası çanağı radyal olarak terk eder ve eş eksenli olarak beslenen yüksek hızdaki hava ile atomize edilir [3]. Şekil 3.5'te bir gaz brülörü verilmiştir.



Şekil 3.5. Brülör

3.4. Buhar Kazanı Kontrol Ekipmanları

Kazan dairelerinde bulunan ekipmanlar kontrol altında tutulmalıdır. Aksi takdirde iş gücü kayıpları, çevreye zarar verme ve hatta patlamalara sebep olabilir. Buhar kazanlarının, bağlı bulunduğu makinaların kontrol altında tutulması ve emniyetli bir şekilde işletilmesi için çeşitli ekipmanlara ihtiyaç duyulur. Bu ekipmanlar ile işletme verileri ölçülür, kontrol unsurları denetlenir ve işletme emniyeti sağlanır. Bu ekipmanlar uzman personel tarafından gözetim altında tutulmalıdır. Otomatik kontrol sistemlerinin gelişmesi ile birlikte buhar kazanlarının sürekli gözetim altında tutulma zorunluluğu da ortadan kaldırılmış ve belli standartlara bağlanarak kazan kontrolü otomatik sağlanabilmektedir. EN 12953-1’de tanımlanan silindirik kazanların güvenlikle ilgili donanımlarının gözlemlenmelerin derecesinden bağımsız sağlandığı standart TS EN 12953-6:2012’de tanımlanmıştır. Şekil 3.6’da bu kazan donanımı elemanları verilmiştir.

Genel olarak buhar kazanı donanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

o Ölçü Aletleri:

- Buhar basınç göstergesi: Buhar basınç göstergesi, kazan görevlisinin sürekli takip edebileceği bir noktada bulunmalıdır.
- Besleme suyu basınç göstergesi.
- Hava basınç göstergesi (ocak emiş).
- Kazan hava vantilatörü basınç göstergeleri.
- Gaz manometresi (baca girişi).
- Buhar debi kontrolörü ve kaydedicisi.
- Hava debi kontrolörü ve kaydedicisi.
- Buhar çıkış termometresi ve kaydedicisi (kızgın buhar üreten buhar kazanlarında).
- Kazanların hava ısıtılmalı tiplerinde, ısıtıcı termometreleri.
- Ara ısıtıcısı olan buhar kazanlarında, ara ısıtıcı buhar giriş ve çıkışlarında manometre ve termometre.
- Besi suyu giriş termometresi.
- Öğütücü basınç düşümünü resmeden manometre ve öğütücüden çıkan hava ile harmanlanmış toz kömür karışımının sıcaklık ölçümü için termometre kullanılmalıdır. Bu sıcaklık değerleri için bir alarm sisteminin de kullanılması yararlı olacaktır.
- Yağ yakıtlı kazanların ve ağır yağ yakıt brülörlerinin kullanılması

durumunda, brülör önündeki yakıt manometresi, yağ yakıt sıcaklığı termometresi ve atomize buhar (veya basınçlı hava) basıncı göstergeleri.

- Sisteme uygun olabilecek çeşitli ölçü edevatları.

o Kontrol Sistemleri

Bir buhar kazanında olması gereken kontrol sistemleri:

- Yanma kontrolü: Eğer buhar basıncı sabit tutulmak isteniyorsa bu sistem uygulanır.
- Besleme suyu kontrolü: Eğer kazanın dom su seviyesini sabit tutmak istiyorsak bu sistem uygulanır.
- Sıcaklık kontrolü: Buhar çıkış sıcaklığının sabit olması istendiğinde uygulanır.

o Otomatik Kilitleme ve Koruma Donanımı

Endüstriyel kazanların düzenli ve güvenli şekilde çalışabilmeleri için, kazana ait özellikler göz önünde bulundurularak buna uygun güvenlik sistemleri kullanılmalıdır. Doğru güvenlik sistemleri kullanılmalıdır. Kazanlarda asgari olması gereken kilitleme elemanları şunlardır:

- İlk ateşleme alevini devamlı takip edip, gerekli durumlarda müdahale ederek.
- Ana brülör alevini devamlı takip edip, gerekli durumlarda müdahale ederek.
- Buharın basıncında anormal yükselme olduğunda, yakıt akışını durduran, ayarlanmış basınç presostatı.
- Dom su seviyesinin anormal düşüşlerinde yakıt akışını durduran seviye cihazı.
- Yakıt olarak yağ kullanan kazanlarda, pompa çıkış basıncında meydana gelen düşme durumunda yakıtı kesen basınç şalteri.
- Ağır yağyakıt yakan kazanlarda, ön ısıtmanın gerektirdiği, yakıt sıcaklığı düştüğünde yakıtı kesen sıcaklık termostatı.
- Yakma havasının ani kesilmesi durumlarında yakıt akışını kesen basınç şalteri.
- Yağ yakıtlı kazanlarda atomizasyon ortam basıncının düşmesi halinde yakıt akışını durduran sistem.

- Gaz yakıtlı kazanlarda, gazın basıncının düşmesi durumunda yakıt akışını durduran ayarlanmış bir basınç presostatı.

- Farklı uygulamalarda gereken sinyalizasyon elemanları

Herhangi bir endüstriyel kazanda bulunması gereken alarm sistemleri şunlardır:

- Düşük ve yüksek dom su seviye alarmı,
- Alev sönme alarmı,
- Katı yakıtlı kazan kullanılması durumunda (toz-kömür), brülöre gönderilen yakıt-hava karışımı yüksek sıcaklık alarmı,
- Sisteme uygun olabilecek çeşitli alarm edevatları eklenebilir.

- Seviye Gösterge Camları

Kazanlarda düşük ve yüksek su seviyelerini sürekli kontrol altında tutmak için kazan üzerinde bulunması gereken en az iki adet seviye göstergesi bulunmalıdır.

- Blöf Donanımı

Kazanlardaki bütün blöf boru ve bağlı fittings sağlam olmalı, vanalarında herhangi bir sızıntı ya da kaçak olmamalı ve blöf borularının ağzı, kaçakları saptayabilmek için görülebilir şekilde açık bırakılmalıdır.

- Kurum Üfleyiciler

Kazan veriminin yüksek olmasını istiyorsak, kızdırıcı ekonomizör, hava ısıtıcı ve kazan üzerinde biriken kurumların temizlenmesi için basınçlı hava sisteminin ya da kuru yakıt kızgın buhar üfleyici sistemin sağlam olması gerekmektedir.

- Yakıt Yakma Donanımı

Yakıt yakma sistemi, bir buhar kazanının işletilmesinde her zaman en önemli yeri işgal eder. Yakıt türüne göre farklı yakma sistemleri mevcuttur. Manuel olabildiği gibi otomatik yakma sistemleri de kullanılmaktadır. Otomatik yakıt yakma sisteminde, sistemin herhangi bir nedenle arıza konumuna geçebilmesi ihtimalinden, bu tip kazanları kazan görevlisinin gerektiği zamanlarda el ile çalıştırabilecek donanıma sahip olması gerektiği ve otomatik çalışma devamlı suretle kontrol altında tutulmalıdır. Yakıt yakma donanımı konusunda, kazan yapımcılarının işletme yönergeleri takip edilmelidir.

- Emniyet Vanaları

Buhar domu üzerinde genelde iki adet emniyet vanası, kazanlarda kızdırıcı olması durumunda, kızdırıcı çıkışına da bir ya da iki emniyet vanası kullanılmalıdır.

Emniyet vanaları sürekli kontrol edilerek iyi çalışır durumda bulunmasından emin olunmalıdır. Dış etkenlere açık yerde monte edilen emniyet vanası, vananın çalışmasını

engellemeyecek şekilde korunaklı hale getirilmelidir. Emniyet vanalarının boşaltma boruları, kriterlere uygun şekilde döşenmiş ve destek elemanlarıyla sağlamlaştırılmış olmalıdır.

o Vantilatörler ve Klapeler

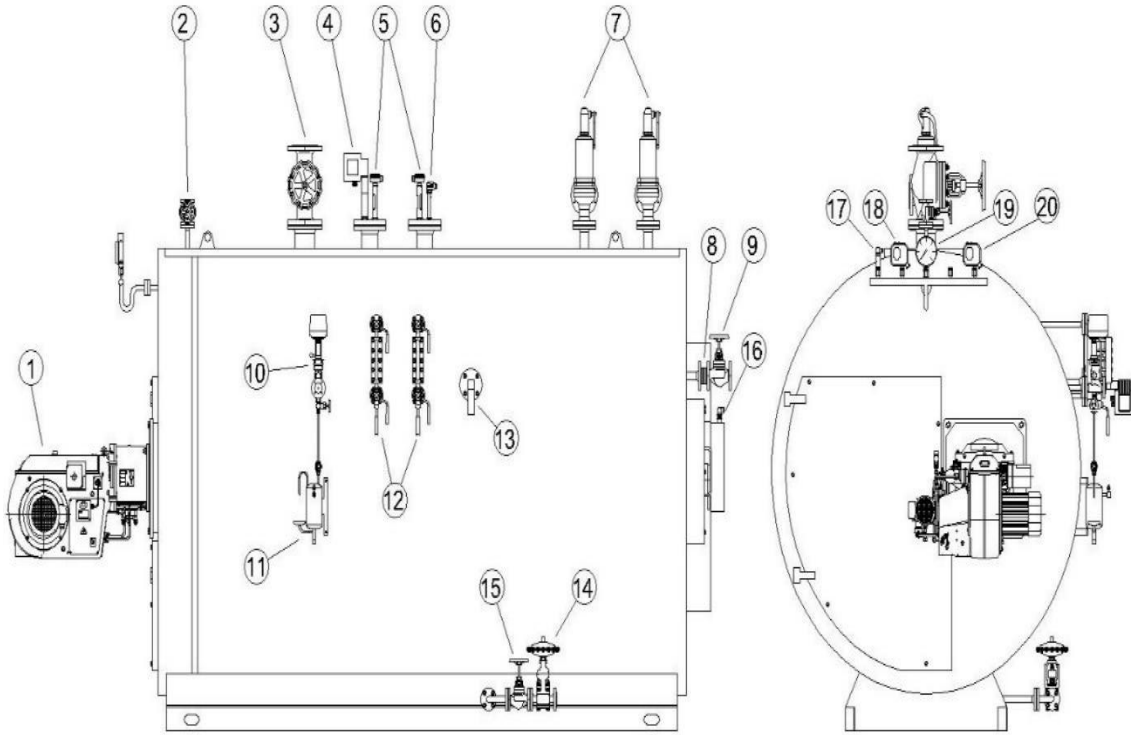
o Ekonomizörler

Kazan duman kanalından çıkıp bacadan dışarı gönderilecek atık ısının sistemde kullanılır hale getirilmesinin sağlandığı sistemdir.

o Hava Isıtıcıları

o Kazan Besleme Pompaları

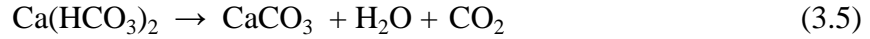
o Kazan Aspiratörleri



Şekil 3.6. TRD 604'e göre (72 Saat) gözlem derecesinden bağımsız buhar kazanı donanımı

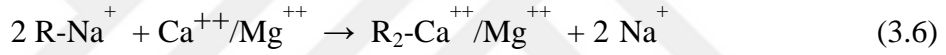
3.5. Besi Suyu Hazırlama ve Besleme Sistemi

Standartlarda kazan besi suyu sistemi tanımlanmıştır. Kazan ve prosesin özelliklerine göre suyun şartlandırılması gerekmektedir. Suyun muhteviyatındaki zararlı maddeler ayrılmadığında ileride kazanda ve kazan ile proses arasındaki borulama sistemlerinde ciddi korozyonlara neden olabilir. Suyun özellikle kalsiyum ve magnezyum gibi alkali metallerden arındırılması gerekir. Çünkü bu tür metaller kazan taşına sebep olarak ısının verimli şekilde prosese ulaşmasını engeller. Bu da proseste kullanılacak ısının bir kısmının bacadan atılmasına sebep olur. Kazan taşı oluşumu:

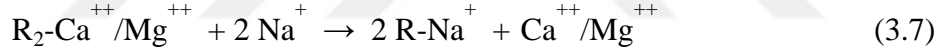


Kazan taşı oluşumunu engellemek için iyon değiştirici reçineli sistemler kullanılır. Bu reçineler sodyum iyonları içerir. Sert suyun iyon değiştirici üzerinden akmasıyla sodyum iyonları, kalsiyum ve magnezyum iyonları ile değiştirilir. Böylece kazan taşı oluşumunu engeller. Sodyum iyonları reçine kütlesi etrafını sararak kazan taşı oluşumuna sebep olan maddeleri tasfiye eder. Böylelikle iyon değiştirici suyu yumuşatma işlemi tekrarlanarak devam eder.

Yükleme:



Rejenerasyon:



Rejenerasyon sırasında yumuşatmadaki reçine tandem su yumuşatma ünitelerinde yedeklenerek işletmenin devamı sağlanır.

$$K \geq \frac{\dot{m} \times (100 - C\%)}{100} \times 7 \times H \quad (3.8)$$

K : Su yumuşatma cihazı kapasitesi [$\text{m}^3 \times \text{°dH}$]

\dot{m} : Kazan buhar kapasitesi [ton/h]

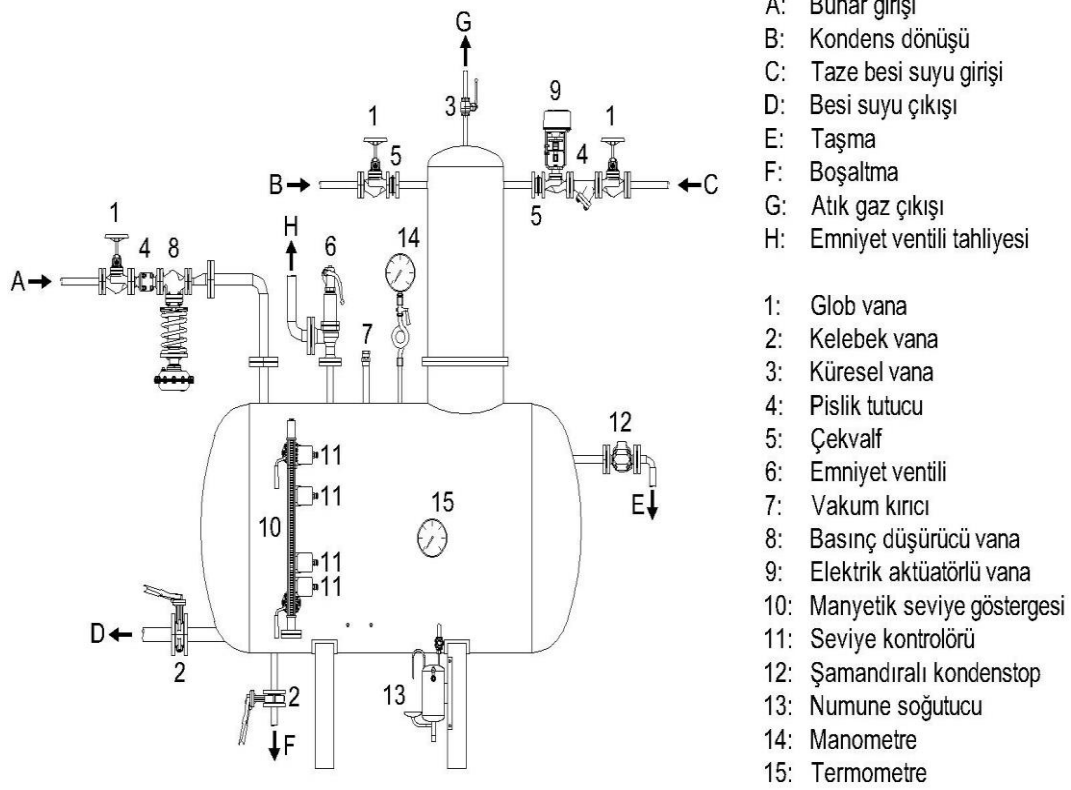
C%: Kondens dönüş oranı [%]

H : Su sertliği [°dH – Alman setliği]

Bunların dışında besi suyunun sertliğinin giderilmesi ve alkalilik seviyesinin korunması için kimyasal dozajlama ünitesine ihtiyaç duyulur. Dozaj tankında depolanan çözelti, pompa ile besi suyu tankına gönderilir.

Suyun kimyasal yapısını iyileştirmek, sertliğe neden olan maddelerin uzaklaştırılmasını sağlamak adına yumuşatma sistemi kullanılır. Ama suyun içinde çözünmüş halde bulunan

gazlar buhar hattında korozyona sebep olabilir. Korozyonun engellenebilmesi için suyun içinde bulunan oksijen konsantrasyonunun belli bir değeri aşmaması istenir. Yumuşatma sisteminden gelen ek besi suyu bir gaz alma sisteminde işlenerek gazlardan arındırılır. Degazör sistemi elemanları Şekil 3.7' de verilmiştir.



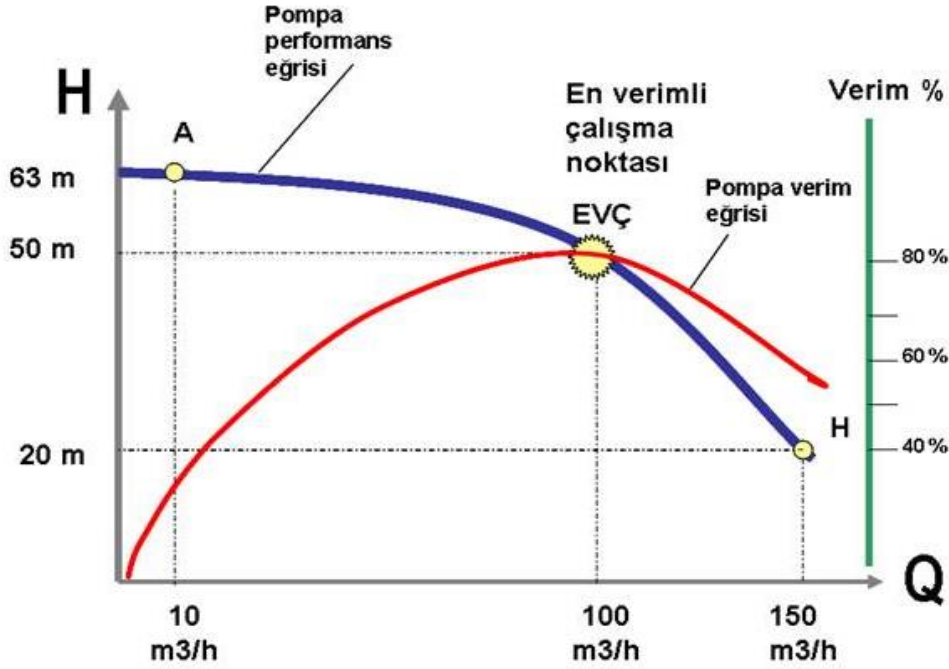
Şekil 3.7. Degazör

Kazan besi suyunun standartlara uygun olabilmesi için aşağıdaki çizelgeye uygun olması gerekir. Kimyasal ve ısıl ıslah sistemleri sonucunda besi suyundan istenen özellikler:

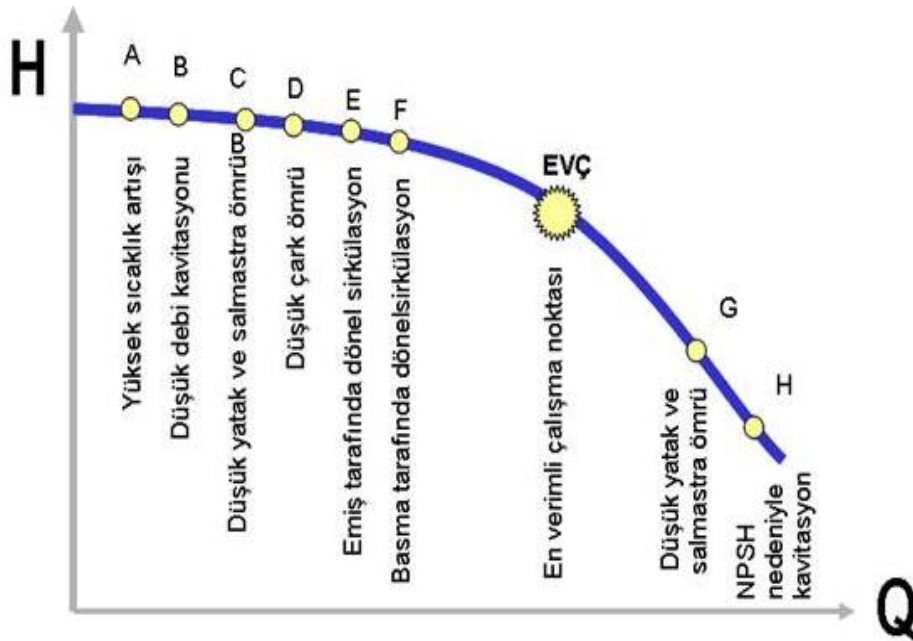
Çizelge 3.1. EN 12953-10'a göre besi suyu

Maks. işletme basıncı	bar	0,5 – 20	>20
Genel istekler		Renksiz, berrak ve çözünmüş madde	
25°C'deki pH değeri		> 9	> 9
Toprak alkali toplamı (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	mmol/l	< 0,01	< 0,01
Oksijen	mg/l	< 0,05	< 0,02
Karbonik asit	mg/l	< 25	< 25
Demir	mg/l	< 0,2	< 0,1
Bakır	mg/l	< 0,05	< 0,01
Oksitlenebilme (MnVII → Mn II) KMnO ₄	mg/l	< 10	< 10
Yağ	mg/l	< 1	< 1

Kazan içerisindeki suyun sürekli devir daim edebilmesi için besi suyunun kazanı besleyecek durumda olması gerekir. Kazanda kullanılabilir duruma gelmiş su, sistemden emilerek kazana pompalanır. Kullanılan pompalar alev-duman borulu kazanlar için genelde santrifüj tiptedir. Kazan besi suyu pompaları tek başına kullanılmaz, vana-filtre-çekvalf grubu ile birlikte yedekli olarak kullanılmalıdır. Ayrıca pompanın verimli çalışma noktasının (bkz. Şekil 3.8) pompa ömrüne büyük etkisi vardır (bkz. Şekil 3.9).



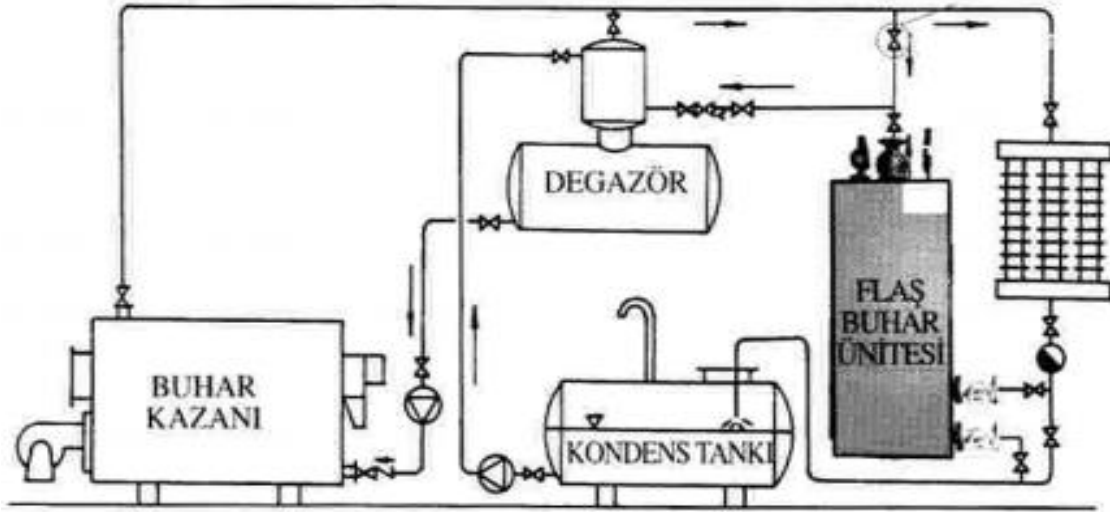
Şekil 3.8. Pompa performans eğrisi



Şekil 3.9. Çalışma noktasının pompa ömrüne etkisi

3.6. Kondens Toplama İstasyonu

Kazan besi suyunu hazırlamak zahmetli ve maliyetlidir. Bunun için prosese gönderilen buharın yoğuştuğundan sonra bir istasyonda toplanıp tekrardan prosese gönderilmesi önemlidir. Kondens tankı adı verilen toplama istasyonu genelde 1 saatte oluşabilecek kondensi toplayabilecek kapasitede seçilir. Tankın üzeri ısı kaybının minimizasyonunu sağlayacak yeterlilikte kaplanır. Genelde ST37 malzemeden imal edilen kondens tankına gelen yoğuşmuş buhar, pompa yardımıyla degazöre gönderilir. Degazörde gaz alma işlemleri bittikten sonra kazana, oradan da kullanılmak üzere sisteme gönderilir. Kondens tankında min – max seviye göstergeleri bulunmaktadır. Tank max seviyeye ulaştığında pompaya sinyal gönderilerek çalışması sağlanır. Benzer şekilde tank min seviyeye indiğinde pompanın durması yönünde sinyal gönderilerek kondensin tankta birikmesi sağlanır. Pompalar bütün ihtimaller düşünülerek her zaman yedekli çalıştırılmalıdır [12]. Şekil 3.10'da kondens toplama istasyonu çalışma şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Ana hatlarıyla kondens toplama istasyonu çalışma şeması

3.7. Blöf Soğutma Tankı

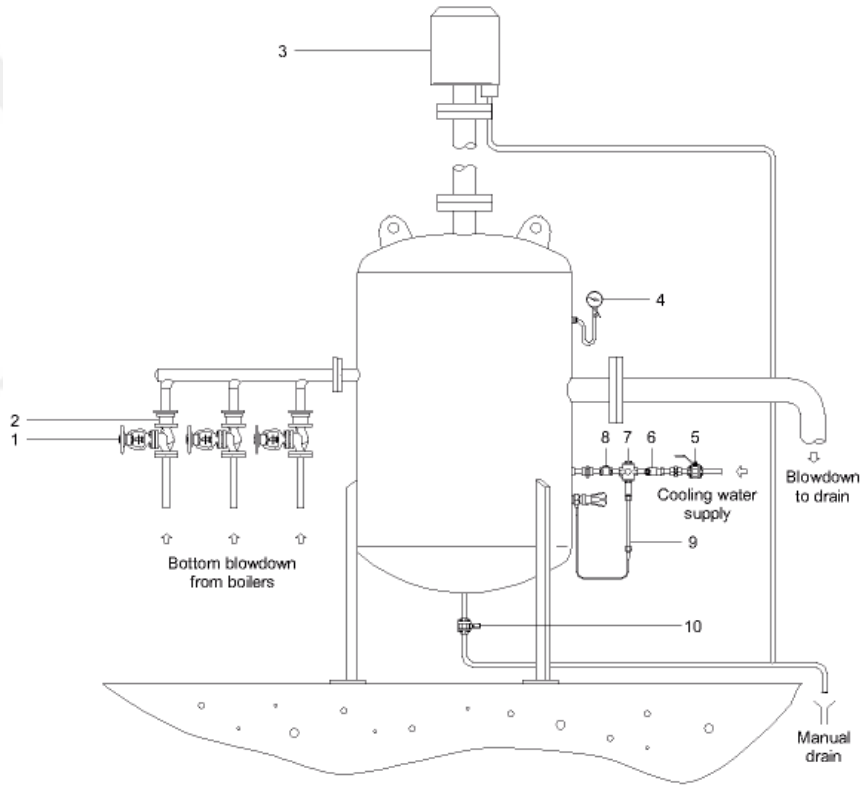
Bütün hazırlık evrelerine rağmen kazan içindeki su doğru terbiye edilemediği zaman, buhar üretimi sonucunda suyun içinde çözünemeyen katı madde yoğunluğu artar. Böyle durumlarda belirlenen limitler aşıldığında kazan ve kazana bağlı çalışan tüm komponentler zarar görebilir. Zararın boyutları ekipmanları etkileyebileceği gibi buhar ile birlikte sürüklenerek kondens iletkenliğini arttırır ve enerji kaybına sebep olur. Kazanda ve buhar hatlarında genelde Ca ve Mg tuzlarından oluşan bu maddelerin çeşitli yollarla kazandan uzaklaştırılması gerekmektedir ki optimum madde konsantrasyonu sağlanabilsin. Blöf işlemi bu şekilde adlandırılır. Blöf soğutma tankı kesiti Şekil 3.11'de verilmiştir. İki çeşit blöf işlemi vardır:

Dip Blöf: İstenmeyen maddelerin kazan suyunun dibine katı halde çökmesi ve konsantrasyonu arttırması sonucunda, kazan dip bölgesinden suyun belli sürelerle uzaklaştırılıp yerine daha düşük konsantrasyonda su ilavesiyle optimum seviyenin sağlandığı blöf çeşididir.

Yüzey Blöf: İstenmeyen maddelerin sıvı fazda, su içinde eriyik halde bulunduğu, su yüzeyinden yapılan blöf işlemi ile sistemden otomatik olarak atılırlar.

Blöf işleminin faydaları

- Kazanın daha verimli ve emniyetli çalışmasını sağlar
- Otomatik blöf ile işçilikten tasarruf sağlar
- Her türlü buhar kazanı için uygun blöf sistemleri vardır



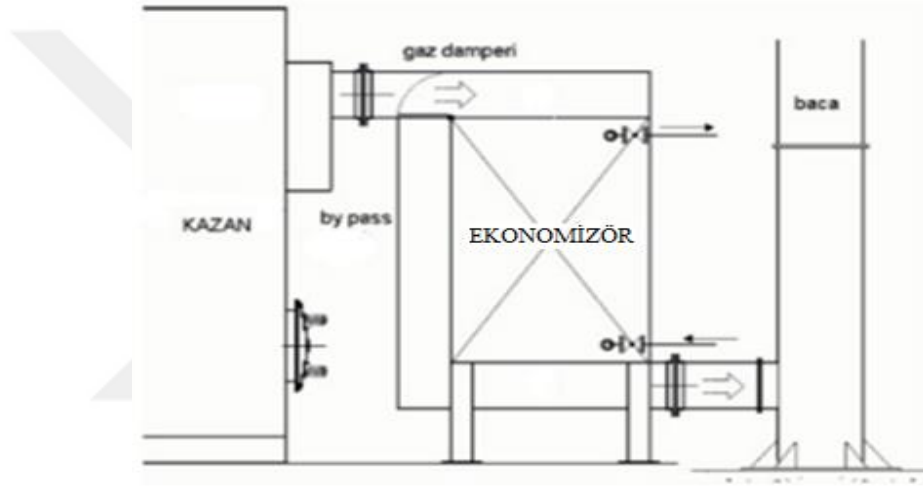
Şekil 3.11. Blöf soğutma tankı

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1. Kesme Vanası | 6. Filtre |
| 2. Çek Vana | 7. Kontrol Vanası |
| 3. Havalandırma | 8. Çek Vana |
| 4. Manometre | 9. Duyarga |
| 5. Küresel Vana | 10. Küresel Vana |

3.8. Ekonomizör

Buhar kazanlarından bacaya geçen duman gazı sıcaklıkları kazan çalışma sıcaklıklarından $40^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ daha yüksektir. Kazan çalışma sıcaklığı ve dolayısıyla duman gazı sıcaklığı yükseldikçe atmosfere atılan enerji miktarında da yükselme olacaktır. Bu enerjinin bir kısmının geri kazanılarak faydalı şekilde değerlendirilmesi, üretilen buhardan elde edilen verimin de yükselmesi demektir. Böylece yakıttan da tasarruf edilmiş olacaktır.

Ekonomizör, buhar kazanlarından çıkan yüksek sıcaklıktaki duman gazında bulunan ısının bir kısmının sirküle edilip suya aktararak geri kazanım amacıyla kullanılır. Ekonomizörler aracılığıyla geri kazanılan bu atık ısı, işletmenin farklı bölümlerinde kullanılabilir. Entegre bir ekonomizörün kesiti Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Ekonomizör

Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma prensibine, yakıt türüne ve brülör ile kazan uyumuna bağlı büyüklükte gerçekleşir. Ekonomizörün gaz çıkış sıcaklığını ise ısının kullanılacağı akışkanın çalışma koşulları ve kullanılan yakıt cinsi belirler. Bir ekonomizörde doğalgaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140°C , motorin, fuel-oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220°C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak mümkündür. Ekonomizör gaz çıkış sıcaklığı, fuel-oil yakıtlı kazanlarda 180°C , motorin yakıtlı kazanlarda 150°C , doğalgaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110°C 'ye kadar düşürülebilir.

Ekonomizör kullanımıyla;

- Kazan veya işletme veriminde %7'ye kadar artış sağlanır.
- İşletmede aynı kapasite için daha az yakıt harcanması yapılır.
- Kazanın maksimum yüklerde daha rahat çalışabilmesine olanak sağlar.
- Optimal kapasitenin üzerinde seyreden ya da düşük verimle çalışan kazan sistemlerine yapılabilecek bir ekonomizör takviyesi sayesinde, kazan sisteminin verimi optimum seviyelere çıkarılabilir.

4. BUHAR DAĞITIM DEVRESİ

Buhar kazanlarında üretilen buhar, son tüketim noktasına uygun tiplerde borular ile iletilmektedir. Buhar kazanını buhar kullanım noktalarına bağlayan bir ya da birden çok ana buhar hatları olabileceği gibi yan kollarla da nihai tüketim noktalarına ulaşmak mümkündür.

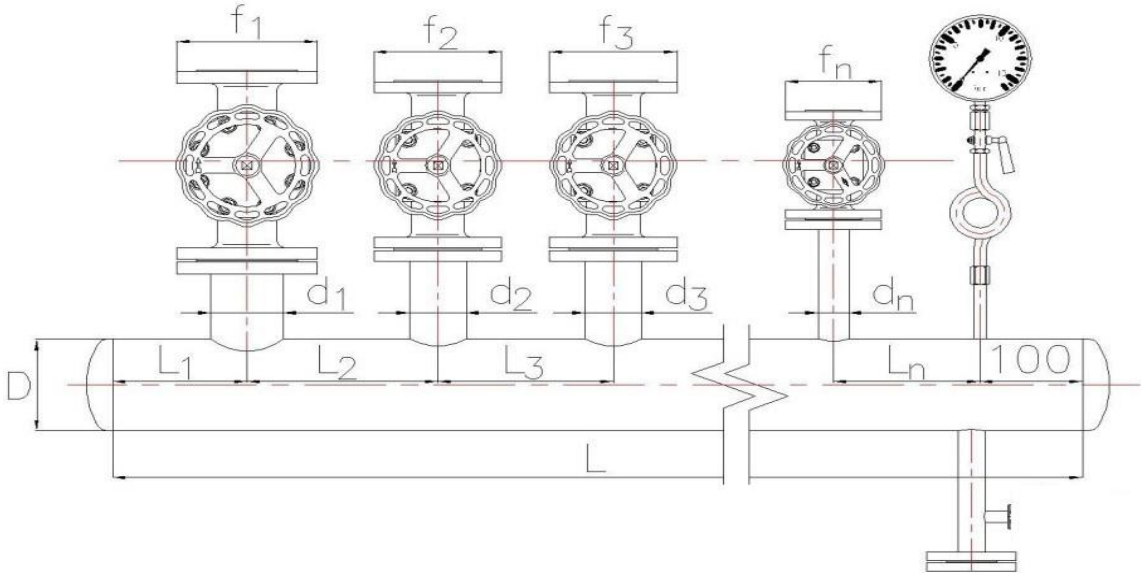
Kazanda buhar çıkış vanası uygun şekilde açıldığı zaman (çok yavaş bir şekilde açılmalıdır) hareket eden buhar ana buhar devresine dolmaya başlar. Başlangıçta soğuk olan buhar borularına içeri dolan buhar ısısını verir. Buhar, borunun etrafındaki hava ile arasındaki sıcaklık farkından dolayı radyasyon ile boru ısınmaya başlar. Bu sıcaklık farkından dolayı atmosfere olan ısı kaybından dolayı buharın yoğunluğu görülür.

Ana buhar hattında yoğunlaşan buhar zerrecikleri, su halinde borunun üst kısmından alt noktasına buhar akış yörüngesinde taşınımı sağlar.

Buhar dağıtım devresi, buhar kollektörü ve dağıtım devrelerinden oluşur.

4.1. Buhar Kollektörü

Buhar kazanlarında üretilen buhar, kollektörlere iletilir. Buhar kollektörlerinden sisteme vanalar yardımıyla dağılır. Ana hatlarıyla bir buhar kollektörü ve armatürleri Şekil 4.1' de görülmektedir. Vana mil eksenlerinin aynı hizaya gelmelerine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.1. Ana dağıtım buhar kollektörü

$$D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2} \quad (4.1)$$

D: Ana dağıtım kollektör çapı (mm)

d₁: 1. Branşman çapı (mm)

d₂: 2. Branşman çapı (mm)

d₃: 3. Branşman çapı (mm)

d_n: n. Branşman çapı (mm)

Buhar kollektörleri; buhar giriş vanası, buhar çıkış vanası/vanaları, manometre ve drenaj hatlarından oluşur. Drenaj hattı üzerinde farklı tercihler olabilmesine karşın genelde vana, filtre, buhar kapanı ve çek valften oluşur. Kollektör uzunluğu, branşman adet ve çaplarına göre değişkenlik gösterebilir.

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n + 100 \quad (4.2)$$

$$L_1 = 100 + \frac{f_1}{2} \quad (4.3)$$

$$L_2 \geq 75 + \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (4.4)$$

$$L_3 \geq 75 + \frac{f_2 + f_3}{2} \quad (4.5)$$

$$L_n \geq 75 + \frac{f_{n-1} + f_n}{2} \quad (4.6)$$

4.2. Dağıtım Devreleri

Dağıtım devrelerinde kollektörlerden çıkan buharın tüketim noktalarına ulaşmaya dek kullanılan bütün ekipmanlar bu devre elemanlarıdır. Buhar hatlarında çap her zaman optimum düzeyde tutulmalıdır. Optimum buhar miktarının optimum hızda ve basınçta istenen noktaya iletilmesi için bu değerlere uygun çap seçilmelidir. Küçük çaplarda yüksek basınç kayıpları, yüksek hız ve gürültü olabileceği gibi; optimum çaptan daha büyük çap seçildiğinde ise yüksek ısı kayıplarından dolayı düşük verim ve yüksek işletme maliyetini beraberinde getirecektir.

Buhar hatlarının mümkün olduğunca akış yönünde eğime sahip olmasının istenmesiyle birlikte her zaman bu durumu sağlamak mümkün olmayabilir. Mahallin şekli ya da mimari zorunluluklardan dolayı buhar hattının akış yönünde yükselmesi gerekebilir. Burada hız kriterleri Şekil 5.3.' te gösterildiği gibi olmalıdır. Hat gerekli yüksekliğe ulaştıktan sonra akış yönüne eğim uygulanmalıdır.

Hız kriterleri göz önüne alındığında, normal şartlarda büyük çaplardaki buhar hızının 40 m/s' den fazla olmaması gerektiridir. Doygun buhar için kabul edilebilir azami hız budur. Fakat kızgın buhar hatlarında 60 m/s ve daha yüksek hızlara çıkılabilir. Orta

çaplar için 25 m/s ve daha küçük çaplarda ise 15 m/s hız kabul edilebilir seviyelerdir. Yüksek buhar hızları genelde enerji santrallerinde ve kimi proses sistemlerindeki büyük buhar çaplarında kabul görür.

Ana dağıtım hatlarında DIN 2448'e uygun St 35 – St 52 malzemedan üretilmiş dikişsiz çelik borular kullanılır. Yüksek sıcaklıklı kızgın buhar tesisatlarında ise krom, molibden vb. alaşımlı, yüksek mukavemet değerlerine sahip malzemedan üretilmiş borular kullanılır.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \dot{m} \times v_b}{\pi \times u_b}} \quad (4.7)$$

Buhar boru çapı 4.7 numaralı denklem yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan çap en yakın nominal çapta boru seçilir. Boru çapı seçilirken genelde hızın 40 m/s'yi geçmemesi istenir. Aşağıdaki çizelgede boru çapına göre buhar hızlarının değerleri görünmektedir.

Çizelge 4.1. Boru çapına göre buhar hızları

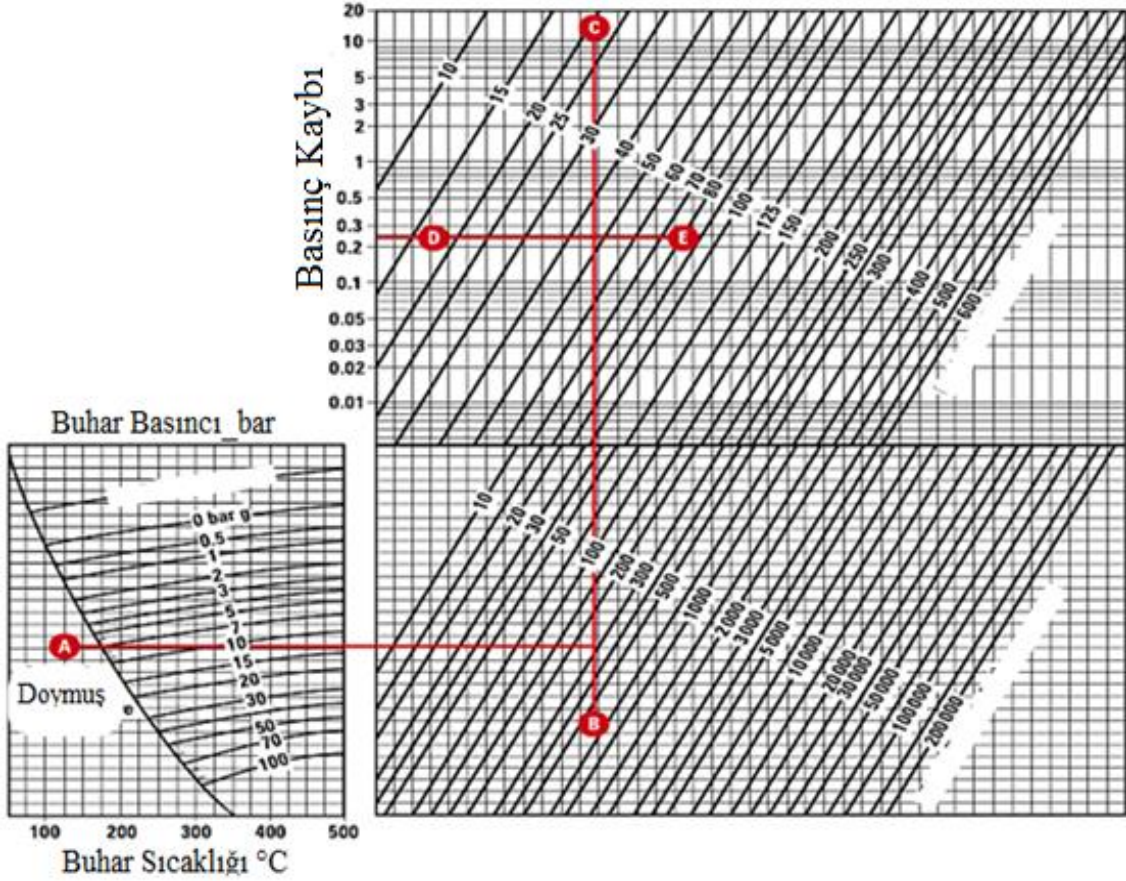
Boru çapı	≤ DN32	DN40 – DN125	≥ DN150
Buhar hızı (m/s)	15	30	40

Boru hattı üzerinde bulunan armatür ve bağlantı elemanları belli ölçüde basınç kayıplarına neden olur. Kayıplar boru uzunluğunu belli oranlarda artırır. Çizelge 4.2' de görülen katsayı değerleriyle çarpılan yeni boru uzunluğu eşdeğer uzunluk olarak adlandırılır.

Çizelge 4.2. Eşdeğer boru uzunluğu katsayısı

Boru uzunluğu	< 50 m	> 100 m (az miktarda fittings)	> 100 m (çok miktarda fittings)
Katsayı	1,05	1,10	1,2

Basınç kayıpları göz önünde bulundurulduğunda grafiklerden de boru çapı seçimi yapılabilir. Şekil 4.2' de çap seçim-basınç kaybı grafiği verilmiştir.



Şekil 4.2. Buhar borusu çap seçim grafiği-basınç kaybı

- Doymuş buhar hattında söz konusu basınç (bar) noktası bulunur ↓→ A
- A noktasından buhar debisi kavis hızına yatay bir hat çekilir ↓→ B
- B noktasından nomogramın tepesine dikey bir hat çekilir ↓→ C
- Basınç kaybı skalasında bulunan (...bar/100 m)'den yatay bir hat çekilir ↓→ DE
- DE ve BC hatlarının kesişme noktası boru çapını gösterir.

Sıcak akışkanların kullanıldığı sistemlerde dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biri de genleşmelerdir. Boru içerisinden geçen akışkan ısısının etkisiyle servis borusunda ısıl genleşme meydana gelir. Isıl genleşmeler 4.8 numaralı denklem yardımıyla saptanabileceği gibi grafiklerden de okunabilir (bkz. Şekil 4.3).

Yer üstü boru hatlarındaki genleşmeler:

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T \quad (4.8)$$

ΔL : Borunun uzama miktarı (m)

L_0 : Borunun uzamadan önceki boyu (m)

α : Genleşme katsayısı (çelik için $1,2 \cdot 10^{-5}$ alınır) ($1/^\circ\text{C}$)

ΔT : Akışkan sıcaklığı ile hat montajının yapıldığı andaki sıcaklık farkı ($T_{\text{akışkan}} - T_{\text{dış}}$) ($^\circ\text{C}$)

Yer altı boru hatlarındaki genleşmeler:

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T - \left(\frac{F \times L^2}{2 \times E \times A} \right) \quad (4.9)$$

$$F = \mu \times D \times \pi \times z \times \rho \times g \quad (4.10)$$

F: Tabii zemin boyunca uyguladığı sürtünme kuvveti (N/m)

μ : Sürtünme katsayısı (toprak için 0,4 alınır)

D: Kılıf borusu dış çapı (m)

Z: Boru ekseninden yer yüzeyine olan mesafe (m)

ρ : Tabii zemin yoğunluğu (toprak için 1800 alınır) (kg/m³)

g: Yer çekim ivmesi (9,81 alınabilir) (m/s²)

E: Elastisite modülü (çelik için $2,1 \times 10^5$) (N/mm²)

A: Taşıyıcı boru kesit alanı (mm²)

Borularda meydana gelen genleşme kuvveti:

$$P = \Delta T \times \alpha \times E \times A \quad (4.11)$$

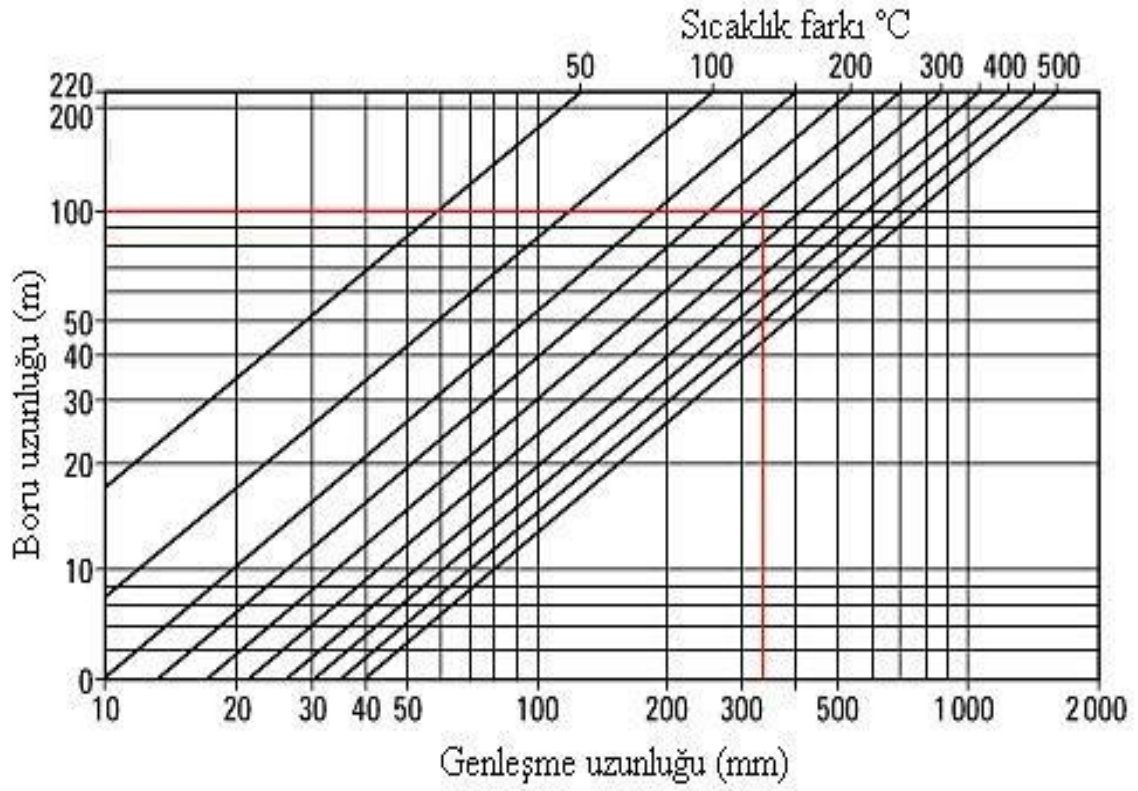
Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ST37 kalitesinde çelik için müsaade edilebilir çekme gerilmesinin 150 N/mm²'yi geçmemesi gerektiğidir.

(ST37-2 için 183 N/mm², ST52 için 277 N/mm²)

Gömülü sistemlerde kompensatör kullanımını azaltmak için uzamanın sıfır olacağı boru uzunluğu belirlenir. Bu noktada hattın ön izolasyonlu sabit mesnet kullanarak sabitleyip, kompanastör kullanmadan genleşme absorbe edilebilir. 4.12 numaralı denklemde hesaplanan değer, sabitlemenin yapılacağı uzunluğu belirlemek için kullanılır.

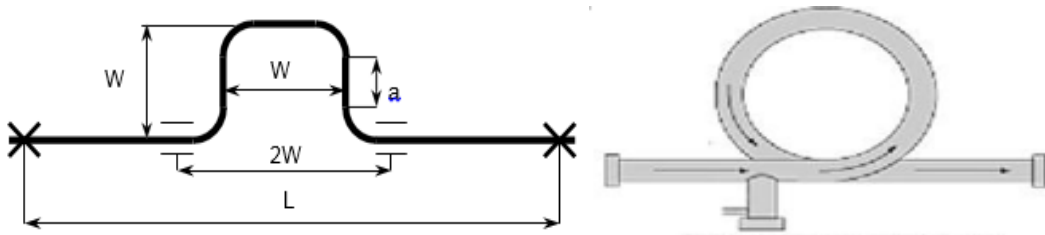
$$L_{max} = \frac{2 \times P}{F} \quad (4.12)$$

Bu hesaplama yapılırken, hattın çok uzun olmaması ve düz bir hat olması gerekir.

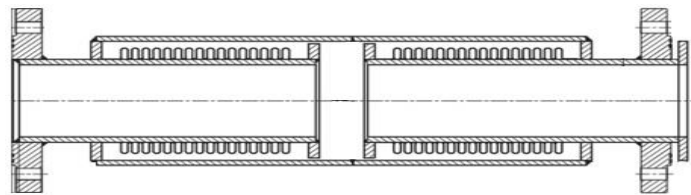


Şekil 4.3. Boru genişleme miktarı grafiği (çap-uzunluk-sıcaklık)

Isıl genişlemelerin yol açtığı gerilmelerin alınmasında kompensatörler kullanılır (bkz. Şekil 4.5). Kompensatörler kullanıldığı gibi bu gerilmeleri belli bir değere kadar taşıyabilen dengeleyiciler de kullanılmaktadır (bkz. Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Boru genişmelerinde omega ve spiral dengeleyici

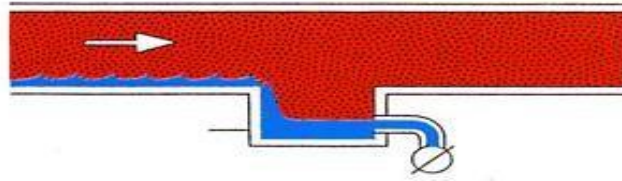


Şekil 4.5. Dıştan basınçlı kompensator

5. KONDENS TOPLAMA DEVRESİ

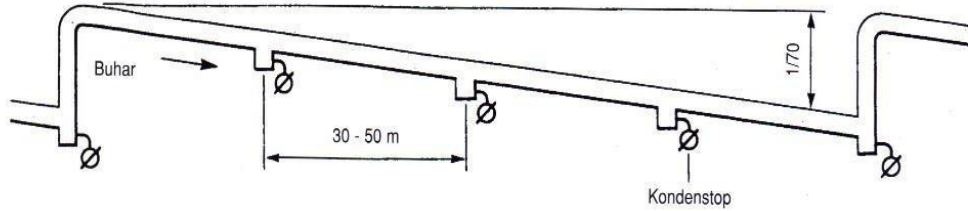
5.1. Kondens

Kazanda üretilen buhar, boru hatları ile ısı enerjisinin kullanılacağı yere iletilmektedir. Buhar vanaları açıldığında daha soğuk olan buhar boruları ile temasa geçen buhar hemen yoğuşmaya başlayacaktır. Sistem başlangıcında, yoğuşma yükü ve buharla boru arasındaki sıcaklık farkı maksimum düzeydedir. Boru hattı ısındığında, buhar ve boru yüzeyi arasındaki sıcaklık minimum düzeye inecektir, fakat borudan çevreye ısı geçişi olacağından yine de bir miktar yoğuşma olacaktır (bkz. Şekil 5.1).



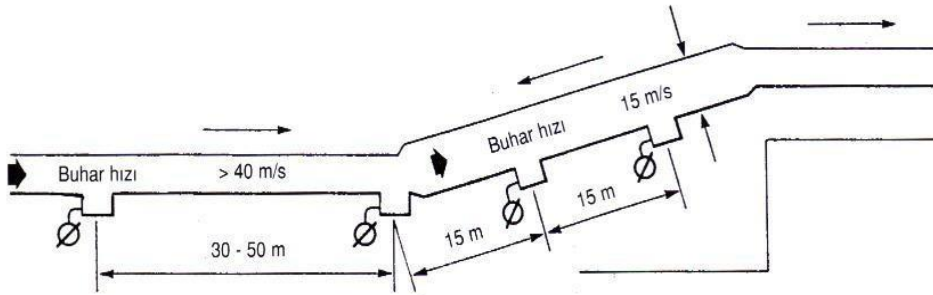
Şekil 5.1. Buhar hattında kondens oluşumu

Buhar hatlarında oluşan kondensin akış yönüne yaklaşık 1/70 oranında eğim verilerek tasarlanmalıdır (bkz. Şekil 5.2).



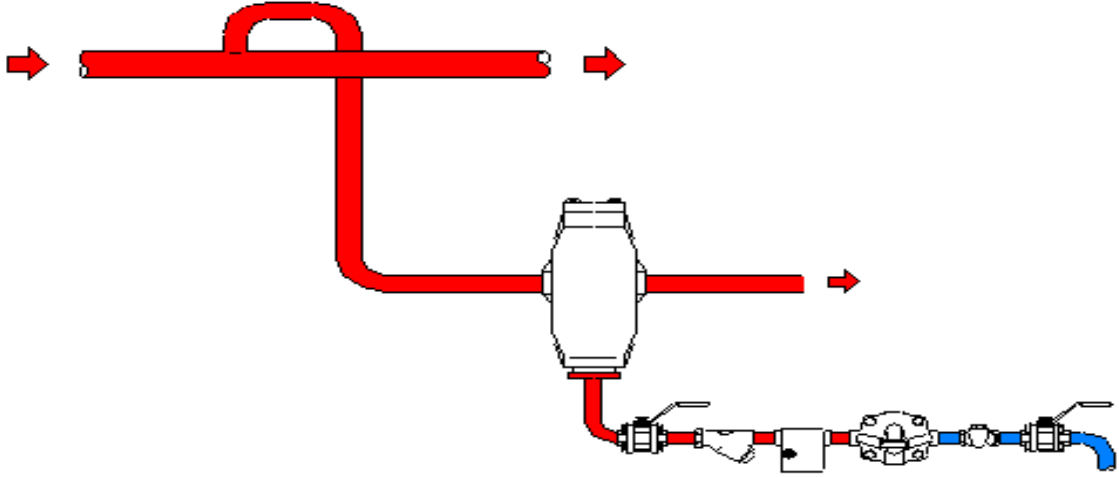
Şekil 5.2. Buhar hattı kaba dizaynında kondens oluşumu

Buhar kazanından çıkan hattın yükselmesi gerektiğinde, yükselmenin olduğu yerde boru çapı büyütülmek suretiyle hız azaltılır ve kondensin aşağı akması sağlanmış olur (bkz. Şekil 5.3).



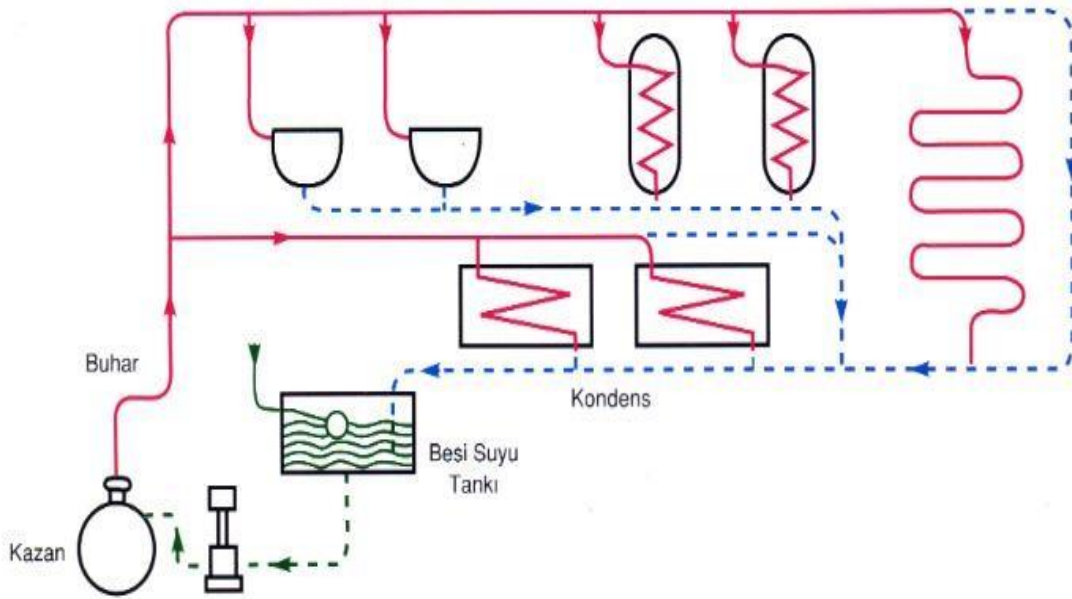
Şekil 5.3. Buhar hattı akış yönüne ters eğimde kondens oluşumu ve hız

Ana dağıtım hatlarında meydana gelen ısı kayıplarından oluşan kondens, borunun alt kısmında birikir. Bu sebepten branşman hatları her zaman üstten alınır. Çünkü, ana buhar hattının üst tarafından çıkan branşman hatları, en kuru buharı taşımaktadır (bkz. Şekil 5.4).



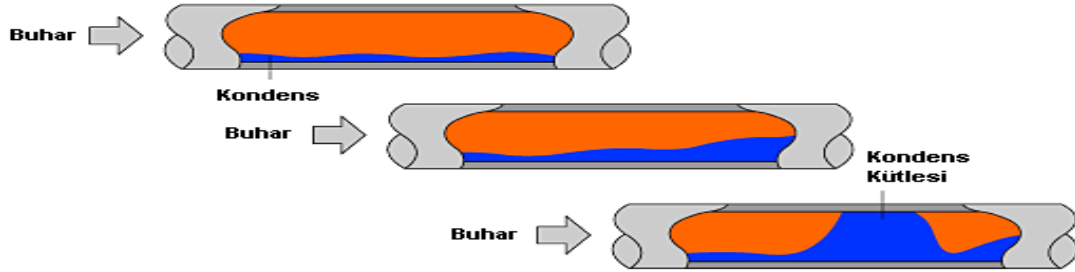
Şekil 5.4. Buhar hattı branşmanı

Buhar dağıtım hattında ve proses ekipmanlarında oluşan kondens, kazan besiy suyu olarak kullanılacak sıcaklıkta bir kaynaktır. Kondens oluştuğu anda buhardan ayırmak önemlidir, ancak kondens dışarı atılmamalı ve geri döndürülmelidir. Şekil 5.5'te proseste oluşan kondensin kazana dönme projesi verilmiştir.



Şekil 5.5. Proseslerde oluşan kondensin tekrar kazana ulaşması

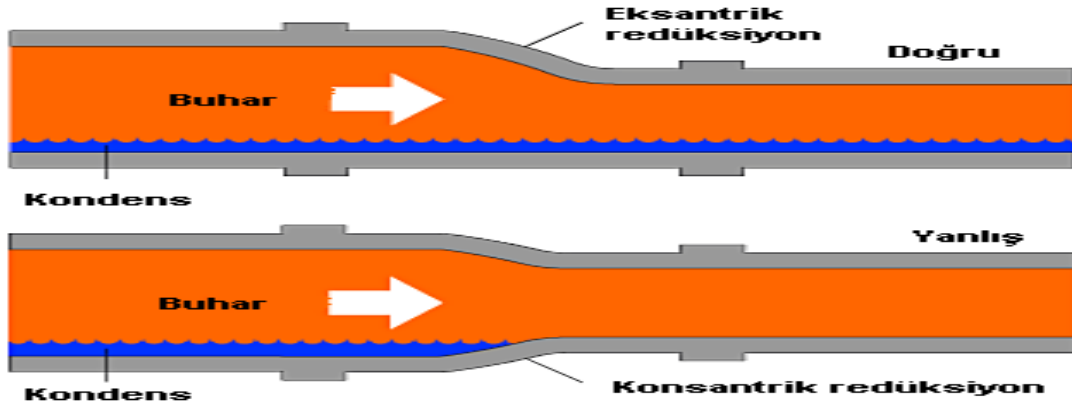
Buhar tesisatında kalan kondens, buhar tarafından yüksek gürültü ve hız ile sürüklenerek boru armatürlerine ve ekipmanlara çarpar (koç darbesi); büyük bir gürültü ve belki de borunun yerinden hareket etmesine neden olur. Bazı durumlarda patlayıcı ve çok tehlikeli olabilir (bkz. Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Koç darbesi oluşumu

Koç darbesinin oluşmasının çeşitli nedenleri vardır, başlıcaları;

- Başlangıç aşamasında buhar vanasının çok hızlı açılmasıyla
- Buhar hatlarındaki yetersiz drenaj nedeniyle
- Eksantrik yerine konsantrik redüksiyon kullanımı (bkz. Şekil 5.7)
- Boru hattındaki sarkıklarda
- Pislik tutucunun yanlış montajı
- Boru hattındaki alçak noktalarda



Şekil 5.7. Buhar hattı dizaynında redüksiyon kullanımı

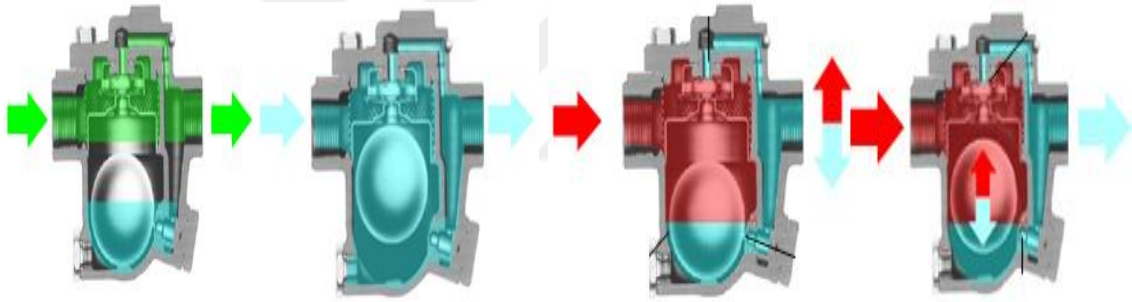
Öte yandan, ısı değiştiricilere ulaşan kondens, film tabakası oluşturacağı için ısı transferini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenlerden dolayı, tesisin verimli ve emniyetli çalışması için kondens mümkün olduğunca çabuk alınmalıdır. Kondensin yeterince tahliye edilememesi, contalardan kaçaklara ve özellikle kontrol vana yüzeylerinde aşınmaya neden olacaktır. Buhar hattının verimi ile kondens miktarı ters orantılı demek yanlış bir ifade olmayacaktır.

5.2. Buhar Kapanı

Buhar kapanı ya da kondenstop, buhar sistemlerinde yoğuşma sonucu oluşan kondensin, sistemden dışarı atılması için kullanılan tesisat elemanıdır. Kondensin sistemden kısa sürede atılması ne kadar önemliyse kondens ile birlikte buharın da gitmesinin önlenmesi o kadar önem arz eder. Çünkü üretilen buharın proseste kullanılmadan kondens tankına geri dönmesi maliyet kaybıdır.

5.2.1. Mekanik Buhar Kapanı

Mekanik buhar kapanlarının en büyük avantajı, buhar ve kondensin yoğunluk farkına göre çalışarak sürekli tahliye yapmaları ve kesinlikle tahliye sırasında buhar sızdırmamalarıdır. Kondens seviyesine bağlı olarak şamandıra yükselir, vanayı açar ve tahliye gerçekleşir. Tek başına içeride buhar var ise şamandıra kalkmaz ve vana kapalı kalır. Mekanik buhar kapanları ayrıca termostatik eleman vasıtasıyla hava ve yoğuşmayan gazları tahliye eder. Mekanik buhar kapanlarının serbest şamandıralı (bkz. Şekil 5.8), kaldırma şamandıralı ve ters kovalı buhar kapanları tipleri vardır.

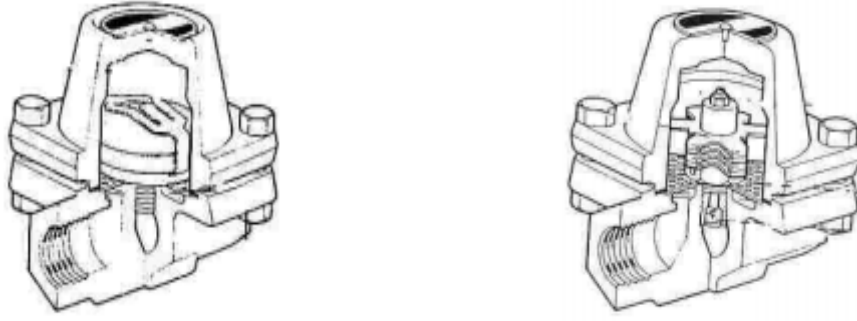


Hava Tahliyesi Kondens Tahliyesi Buhar İçeri Dolar Kond. Anında Tahliyesi

Şekil 5.8. Serbest şamandıralı buhar kapanı çalışma prensibi

5.2.2. Termostatik Buhar Kapanı

Kondensin sıcaklığının hissedilmesi prensibiyle çalışır. Buharın yoğuşup kondens halini aldığı sıcaklık değeri, buhar sıcaklığı kadardır. Oluşan bu kondens buhar kapanına doğru aktığında sıcaklık düşer. Buhar sıcaklığının altında belli bir değere düşen bu sıcaklık, termostatik kapanı açtıracak ve kondens tahliye edilmiş olacaktır [6]. Tahiyesi gerçekleşen kondensin yerini yüksek sıcaklıktaki buhar aldığı anda buhar kapanı kapanacak ve buhar kaybını önleyecektir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi denge basınçlı ve bimetalik tipleri vardır.

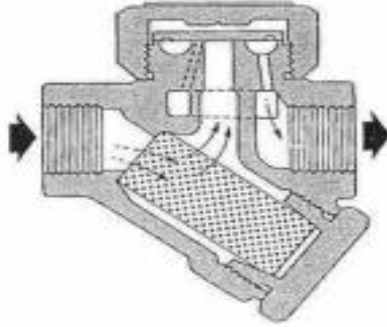


Şekil 5.9. Denge basınçlı ve Bimetalik buhar kapaını

5.2.3. Termodinamik Buhar Kapanı

Termodinamik kapanlar, bir yüzey üzerinde akan buhar ile kondensin aynı yüzeydeki akışı arasındaki fark prensibi ile çalışırlar. Bir yüzey üzerinden akan bir gaz, buhar, bir düşük basınç alanı yaratır ve bu olay, termodinamik kapanlarda diskin valf oturma noktasına doğru hareket etmesini ve sonuçta kapatmasını sağlar [6].

Termodinamik buhar kapanları; küçük ve sağlam yapılı, koç darbesine, donmaya ve kızgın buhara dayanıklı, yapısına göre yüksek kapasiteli ve titreşimlerden etkilenmeme özellikleri vardır. Kısa ömürlü buhar kapaını olduğu söylenebilir (bkz. Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Termodinamik buhar kapaını

5.2.4. Buhar Kapanı Seçimi

Buharın kullanıldığı yere ve buhar kapanlarının yapısal özelliklerine göre doğru seçimleri yapmak önemlidir. Aşağıda bazı proseslerde kullanılması tavsiye edilen buhar kapanları tablo şeklinde sunulmuştur.

A: En iyi seçim

B: Alternatif seçim

Çizelge 5.1. Buhar kapanı seçim çizelgesi [5]

	Şaman dıralı	Ters Kovalı	Termodi namik	Denge Basıncılı Termostatik	Bimetalik
ANA BUHAR HATLARI					
-Yatay Hatlar	B	B	A	B	
-Separatör	A	B	B	B	
-Hat Sonları	B	B	A	B	
-Hat Boşaltma				B	
-Kollektör	B	B	A		
HACİM ISITMA					
-Isı Eşanjörleri	A	B			
-Isıtma Bataryaları	A	B			
-Panel ve Levha Isıtıcıları	A	B	B		
-Radyatör ve Konvektörler	B			A	B
-Tavan Isıtma Serp.	B	B		A	
MUTFAK CİHAZLARI					
-Pişirme Kazanları (sabit)	A		B	B	
-Pişirme Kazanları (dev.)	A			B	
-Pişirme Kazanı (ayaklı)	B			A	
-Buhar Fırını				A	
-Sıcak Tablalar	B			A	
HASTANE CİHAZLARI					
-Otoklav ve Sterilizatörler	B	B		A	
ÇAMAŞIRHANE CİH.					
-Konfeksiyon Presleri	B	B	A		
-Ütü ve Kalenderler	B	B	B	B	
-Solvent Toplama Ünitesi	A	B	B		
-Tamburlu Kurutucular	A	B			
TANK VE DEPOLAR					
-Proses Tankları (üstten çık.)	B	B	A	B	
-Proses Tankları (alttan çık.)	A	B	B	B	
-Kısa Serp. Isıtma Tankı	A	B		B	
PRESLER					
-Çok Tablalı Presler-Paralel	B	B	A		
-Çok Tablalı Presler-Seri		B	A		
-Lastik Presleri	B	A	B		
YAKIT ISITMA					
-Ana Yakıt Tankı Isıtıcıları		A	B		
-Hat Isıtıcıları	A	B			
-Düz Hat Isıtıcıları ve Buhar Ceketli Borular			B	A	B

6. BUHAR SİSTEMİNDE ENERJİ ANALİZLERİ

Global ekonomi ve artan enerji ihtiyacı düşünüldüğünde enerji kayıplarının önlenmesi veya kayıpların minimize edilmesi adına yapılan ve yapılacak çalışmaların ne denli kıymetli olduğu anlaşılacaktır. Enerji, arz açısından değerlendirildiğinde emek ve sermaye gibi önemli üretim faktörlerindedir ki korunması üretim, üretici ve dolayısıyla bulunduğu ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir.

Çeşitli sektörlerde yapılan enerji denetleme çalışmalarında görülmüştür ki sanayi tesislerinin ve endüstriyel işletmelerin %95' inde %5 ila %40 enerji tasarrufu yapılması mümkündür. Yeni kurulan işletmelerde enerji tasarruf çalışmalarının uygulanması sayesinde çok daha ciddi oranlarda enerji kayıplarının önlenmesinin sağlanabildiği saptanmıştır. Buhar üretim noktası ile tüketim noktası arasındaki materyaller için alınacak önlemlerin yanı sıra bütün çalışanlarının üst düzeyde motivasyonu ile katkı sağlayacağı disiplinli bir çalışma sisteminin olması önemlidir.

Buhar kazanından başlanarak son tüketim noktasına kadar oluşan buhar kayıpları ve bu kayıpların geri kazanılması için yapılacak çalışmalar kabaca aşağıda yazılmıştır.

6.1. Buhar Kazanı Dış Cidar Kayıpları & Önlemleri

Buhar kazanları tasarımlarında dış cidara bağlı kayıplar standartlarca %1 oranında sınırlandırılmıştır. Kazandaki bu kayıplar genelde ışıınım ve taşınım yoluyla olur.

$$Q_{IK} = F \times \varepsilon \times \sigma \times (T_y^4 - T_0^4) \quad (6.1)$$

Q_{IK} : Işıınımla kaybedilen ısı miktarı (kJ)

F: Toplam ısı yüzey alanı (m²)

ε : Siyah cisim katsayısı

σ : Planck katsayısı (kJ/m².°C⁴)

T_y : Yüzey sıcaklığı (°C)

T_0 : Ortam sıcaklığı (°C)

$$Q_{TK} = F \times k \times (T_y - T_0) \quad (6.2)$$

Q_{TK} : Taşınımla kaybedilen ısı miktarı

F: Toplam ısı yüzey alanı (m²)

k: Toplam konveksiyon ısı transfer katsayısı (kJ/(m².°C))

T_y : Yüzey sıcaklığı (°C)

T_0 : Ortam sıcaklığı (°C)

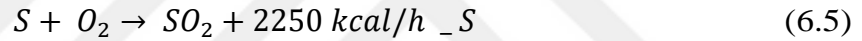
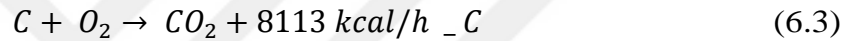
Kazandan başlanarak tüketim noktasına varana kadar bütün buhar elemanları uygun yalıtım malzemeleri kullanılarak yalıtılmalıdır. Zira yüksek sıcaklık olduğundan cidarlardan ısı kayıpları tamamen yok edilemezse bile minimize edilebilir.

6.2. Baca Gazı Analizleri ve İç Soğuma Kayıplarının Değerlendirilmesi

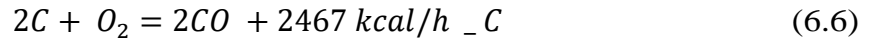
6.2.1. Baca Gazı Analizleri

Endüstriyel kazanların baca gazları ile alakalı daha geniş ve sağlıklı değerlendirmeler yapabilmek için yanma olaylarını çok iyi bilmek gerekir. Aşağıda denklemleri verilen yanma olaylarında her zaman optimum yanma yakalanmak istenir. Bu sebepten tepkimelerin yakıt ve yakıcı oranları da optimum olmalıdır.

6.2.1.1. Tam Yanma



6.2.1.2. Eksik Yanma



Denklemden de anlaşılacağı üzere, oksijenin eksik olmasından dolayı karbon atomunun oksijenle tam tepkimesi gerçekleşmemesi, karbondioksit şeklinde tepkime olması beklenirken karbonmonoksit halinde kalması ile yaklaşık %70 oranında bir enerji kaybına neden olmuştur. Mükemmel yanma olması için yakıt ile tepkimeye girecek hava oranının belirli oranlarda artırılması gerekmektedir. Belli bir katsayıya bağlı olarak artırılır. Bu katsayı hava fazlalık katsayısı olarak adlandırılır ve yakıt türüne göre değişkenlik gösterir.

Gereğinden düşük katsayı olduğunda;

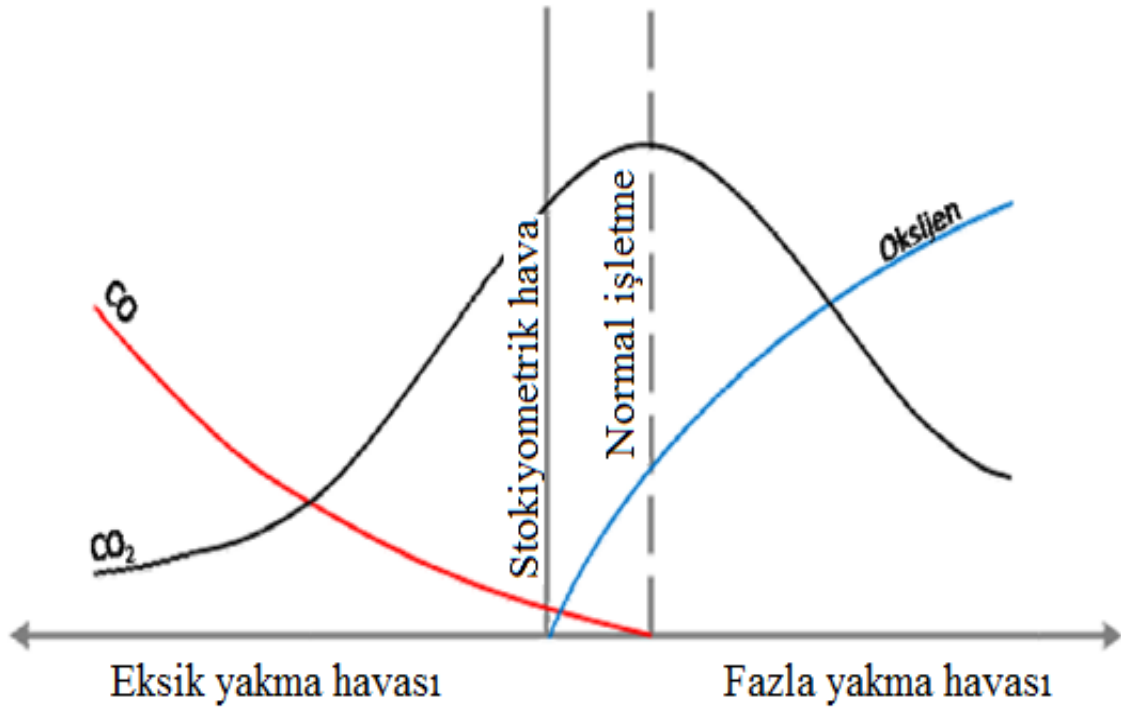
- Karbonmonoksit oluşur
- Enerji üretimi azalır
- Yanma verimi düşer

Gereğinden yüksek katsayı olduğunda;

- Karbonmonoksit azalır, tepkimeye girmeyen hava ısıtılarak bacadan atılır
- Yanma bozulur
- Yanma verimi düşer

İyi bir yanma, hava ve yakıt oranının optimum değerinde gerçekleşir. Yakma havasının optimum değeri, baca gazında karbonmonoksitin bulunmadığı minimum değerdir. Zira karbonmonoksit yakıtın yanmasını tam olarak gerçekleştirememesi sonucu oluşur. Yakma havasının uygun oranda olup olmadığı baca gazında bulunan oksijen miktarına göre belirlenir. Yakıtın doğalgaz, fuel-oil ya da kömür olması durumunda baca gazında olması uygun olan O₂ miktarları sırasıyla %1,2-3, %3-6, %6-9 mertebelerindedir.

Optimum yanmanın olduğu koşulları sağlamakla hem çevreye verilen zarar minimize edilir hem de daha verimli yanma gerçekleşir. Şekil 6.1.' de yakma havasına bağlı baca gazı emisyonları verilmiştir.



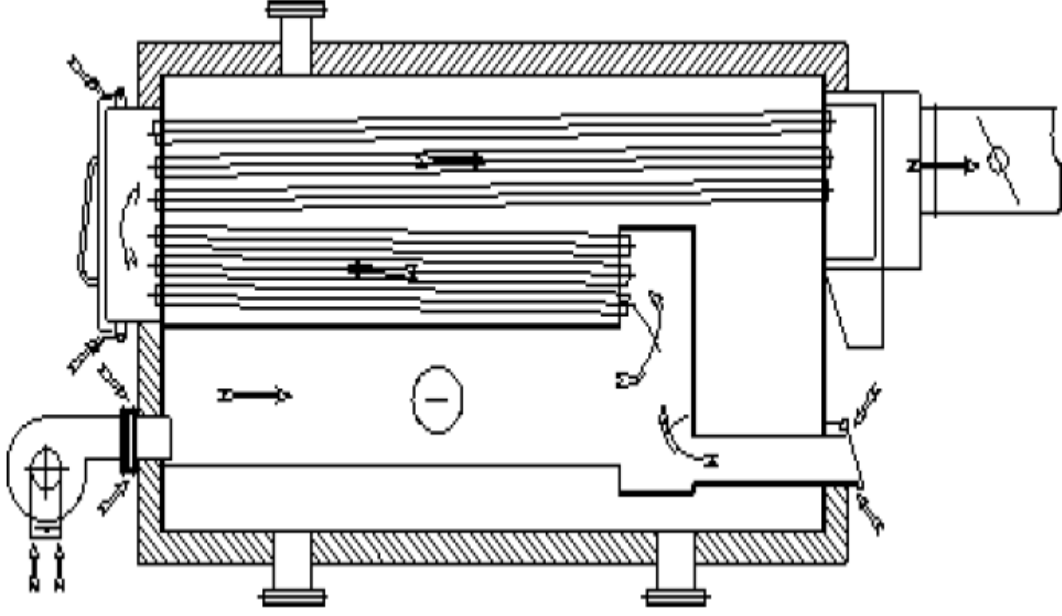
Şekil 6.1. Yakma havasına bağlı baca gazı emisyonları

Baca gazı analizlerinin belli parametreleri aşağıda irdelenmiştir.

- a) Oksijen (O₂):
 - Baca gazları içinde oranın mümkün olan en az seviyede olması istenir.
 - Karbonmonoksit oluşumuna neden olmamalıdır.
 - Doğalgaz yakıtlarında %2-3 dolaylarında.
 - Sıvı yakıtlarda %3-4 dolaylarında.
 - Katı yakıtlarda %5-6 dolaylarında olması kabul edilebilir değerlerdir.
- b) Karbondioksit (CO₂):
 - Baca gazları içindeki oranının yüksek olması istenir.
 - Doğalgaz yakıtlarında %11.

- Sıvı yakıtlarda %14.
 - Katı yakıtlarda %14 mertebelerinde olması uygun kabul edilebilir.
- c) Karbonmonoksit (CO):
- Baca gazları içinde olması istenmeyen gaz türüdür. Çünkü enerji kaybı ve çevre kirlenmesine neden olmaktadır ki çıkan karbonmonoksit gazı emisyon olarak kabul edilmektedir.
 - Karbonmonoksit, yakıtta hava takviyesi ile karbondioksit'e çevrilmelidir.
 - Kabul edilebilir baca gazı analizinde karbonmonoksit değeri 100 ppm dolaylarındadır.
- d) Kükürtdioksit (SO₂):
- Çevre düşmanı olarak kabul edilen kükürtdioksit baca gazlarında istenmez.
 - Emisyon kabul edilmektedir.
 - Kükürtdioksit, düşük sıcaklıklarda, baca gazlarında bulunan su buharı ile tepkimeye girerek SO₂' e dönüşür ve kazanlarda tahribat meydana getirir.
 - Doğalgaz yakıtlarında %0.
 - Katı yakıtlarda 150-200 ppm dolaylarındadır.
- e) Azotoksitler (NO_x):
- Azotoksitler, çevreye zarar verdiklerinden baca gazlarında olması istenmeyen gaz türlerindedir.
 - Hava fazlalık katsayısı ve ocak dizaynı azotoksitlerin oluşmasının başlıca nedenlerindedir.
 - Azotoksitleri azaltmak için yapılan çalışmalardan bir tanesi de düşük NO_x brülörlerini kullanmaktır.
 - Baca gazları resirkülasyon sistemi de baca gazında oluşan NO_x miktarını düşürmeye yönelik çalışmadır.
- f) Baca Gazı Sıcaklığı (T):
- Baca gazı sıcaklığı mümkün olduğunca düşük olması istenir.
 - Yakıt debisindeki gereksiz artış baca gazı sıcaklığını arttırmaktadır.
 - Kazan testi uygun yakıt debisinde yapılmalıdır.
 - Baca gazının yüksek olması verimi düşürür.
 - Baca gazı sıcaklığında inilebilecek en düşük değer, gazların yoğuşma sıcaklığı ile alakalıdır. Bu sıcaklığa etki eden de baca gazı içerisindeki S (kükürt) ve kükürdün oksijen ile oluşturduğu tepkime sonucu oluşan SO₂ (sülfirik asit)' dir.
 - Doğalgaz kullanılması durumunda 130-150 °C.
 - Sıvı ve katı yakıtların kullanılması durumunda 130-175 °C baca gazları sıcaklıklarına izin verilebilmektedir.
 - Gaz yoğuşma sıcaklık eğrisinin, fuel-oil için, kazan içindeki hareket eğrisi Şekil 6.2.' de gösterilmiştir.

- Yüksek baca gazı sıcaklıklarında kazan ya da brülöre müdahale dilmelidir.
- Baca gazı sıcaklığı yükseldiğinde kazan kapasitesinin kısmen düşürülmesi ya da kazan borularına türbülötörlerin ilave edilmesi, sıcaklığı düşürmenin çözüm yollarındandır.
- Baca gazında meydana gelebilecek her 20 °C sıcaklık düşümü için verimin yaklaşık %1 arttığını söyleyebiliriz.



Şekil 6.2. Yakıttaki S ve O₂ oranına bağlı olarak “gaz yoğunlaşma sıcaklığı eğrisi”

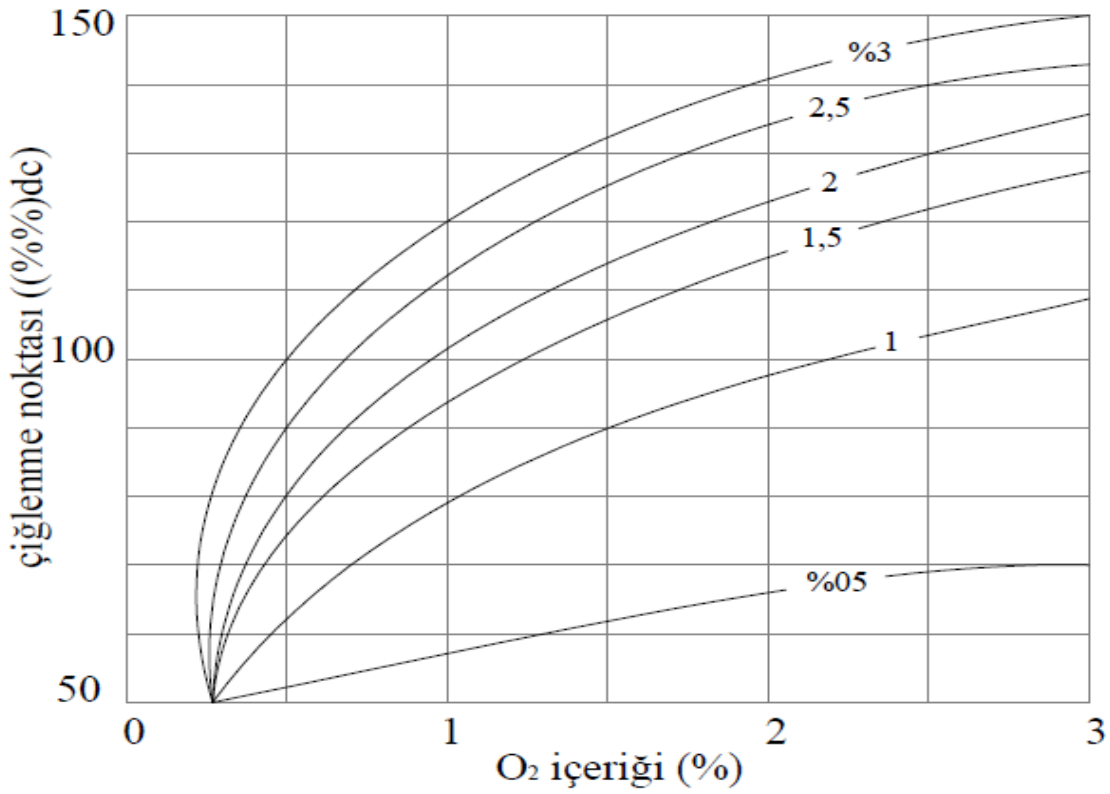
g) Yanma Verimi (η_y):

- Yanma verimi, baca gazı analizörlerince tespit edilir
- Baca gazı sıcaklıkları, oksijen, karbondioksit ve ortamın sıcaklığı gibi etkenler değerlendirildiği zaman yanma verimi otomatik olarak hesaplanabilmektedir
- Yanma verimi, kazan verimi hakkında fikir vermektedir
- Kazanda meydana gelen radyasyon kayıpları, yanmayan hidrokarbonlar ve ölçülemeyen kimi değerler (kül kayıpları gibi) için yakıt cinsini de göz önünde bulundurmak suretiyle yanma veriminden %3-5 düşürmek gerekmektedir.

6.2.2. İç Soğuma Kayıpları

Yıllık verim tabiri ile anılmakta olan günümüz kazan verimleri, kazanın işletildiği sezon boyunca çalışma ve durma zamanlarının tamamının göz önünde bulundurularak aritmetik ortalamasının alındığı verim ifadesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında brülörlerin bu değeri için aynı zaman diliminde daha küçük rakamlar kullanmak mümkündür. Zira kazan iç soğuma kayıplarından dolayı bekleme zamanlarının da

hesaplandığı düşünülürse, brülörün yıllık ortalama veriminin kazana nazaran daha küçük bir değer vermesi beklenir. Kazan ve brülörün uyumlu çalışması brülör verimini olumlu etkilediği söylenebilir. Brülörlerin işletmede kaldığı zaman diliminin büyüklüğü verime olumlu katkı sağlarken, gerek kazan ve gerekse brülörün niteliğinden kaynaklanan kaçak hava olayı verime olumsuz etki etmektedir. Beklemeye geçen ve hala sıcak olan bir kazanda, bacanın da etki etmesiyle, yanma odasına giren havanın etkisiyle kazan soğumakta ve içeri giren soğuk havanın ısınmış şekilde bacadan dışarı atıldığı görülecektir. Brülör ve kazanların tasarlanması sırasında gerekli tedbirlerin alınması, iç soğuma kayıplarının azaltılmasında önemli etken olacaktır. Kazanlarda iç soğumaya neden olan hava sirkülasyonu Şekil 6.3' te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Kazanlarda iç soğumaya neden olan hava sirkülasyonu

Kazan duruş zamanlarında açık kalan ve emiş hava damperinin bulunmadığı tek kademeli brülörlerin aksine, oransal kontrollü ve çift kademeli brülörlerde bütünleşmiş haldeki hava damperi duruş esnasında kapanmaktadır. Fakat kimi oransal ve iki kademeli brülörlerde ana panodan direkt kapatıldığı zaman damperin açık kaldığı görülebilmektedir. Dolayısıyla eğer brülörü kapatmak istiyorsak, termostatın sistemi durdurmasına izin vermek daha doğru olacaktır. Kapandığı sistemler kullanıldığında bile kontrol etmekte fayda vardır. Zira itimat kontrole mani olmamalıdır. Kazanlarda hava kaçaklarının önüne geçebilmek için bütün kazana bağlı bütün kapaklar (özellikle ön duman kapakları) tam sızdırmaz contalı olmalıdır. Kapak kapandığında iç-dış bağlantıyı

tamamen kesmelidir. Aynı şekilde brülörün bağlantı flanşı da sızdırmaz contalı olmalıdır. Brülördeki izleme camı kullanım dışında mümkün mertebe kapanabilmelidir. Patlama kapakları da benzer biçimde sızdırmaz contalı ve rahat açılıp kapanabilir derecede olmalıdır. Aşağıda teorik şekilde incelenen baca çekiş etkisine bağlı hava sirkülasyonunun sebep olduğu ısı kayıpları formüle edilmiştir.

a) Baca çekiş etkisi (ΔP):

$$\Delta P = H \times g \times (\gamma_2 - \gamma_1) \quad [\text{Pa}] \quad (6.7)$$

$$\Delta P = H \times (\gamma_2 - \gamma_1) \quad [\text{mmSS}] \quad (6.8)$$

H = Baca yüksekliği (m)

γ_1 = Havanın yoğunluğu (kazan sıcaklığında) (kg/m^3)

γ_2 = Havanın yoğunluğu (dış sıcaklıkta) (kg/m^3)

b) Bacadaki sıcak havanın hızı (W):

$$W = \sqrt{2 \times g \times \Delta P / \gamma_1} \quad [\text{m/s}] \quad (6.9)$$

c) Baca kesiti (F):

$$F = n \times \frac{Q_k}{\sqrt{H}} \quad [\text{cm}^2] \quad (6.10)$$

n = Yakıt türüne bağlı katsayıdır.

Doğalgaz: n = 0,010 – 0,012

Fuel-Oil: n = 0,020

Katı Yakıt: n = 0,030

Baca kesiti;

- Kazan kapasitesi ile doğru orantılı
- Yakıt türüne bağlı katsayı ile doğru orantılı
- Baca yüksekliğinin karekökü ile ters orantılıdır.

d) Bacadaki sıcak hava debisi (V):

$$V = F \times W \times 3600 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (6.11)$$

Hava hızı ve bacanın kesiti, bacanın sıcak hava debisinin katalizör çarpanlarıdır.

e) Bacada sıcak hava ile taşınan enerji (Q):

$$Q = V \times \gamma_1 \times (T_1 - T_2) \times C_p \quad [\text{kcal/h}] \quad (6.12)$$

Q = Enerji (kcal/h)

T₁ = Kazanın sıcaklığı (°C)

T₂ = Dış havanın sıcaklığı (°C)

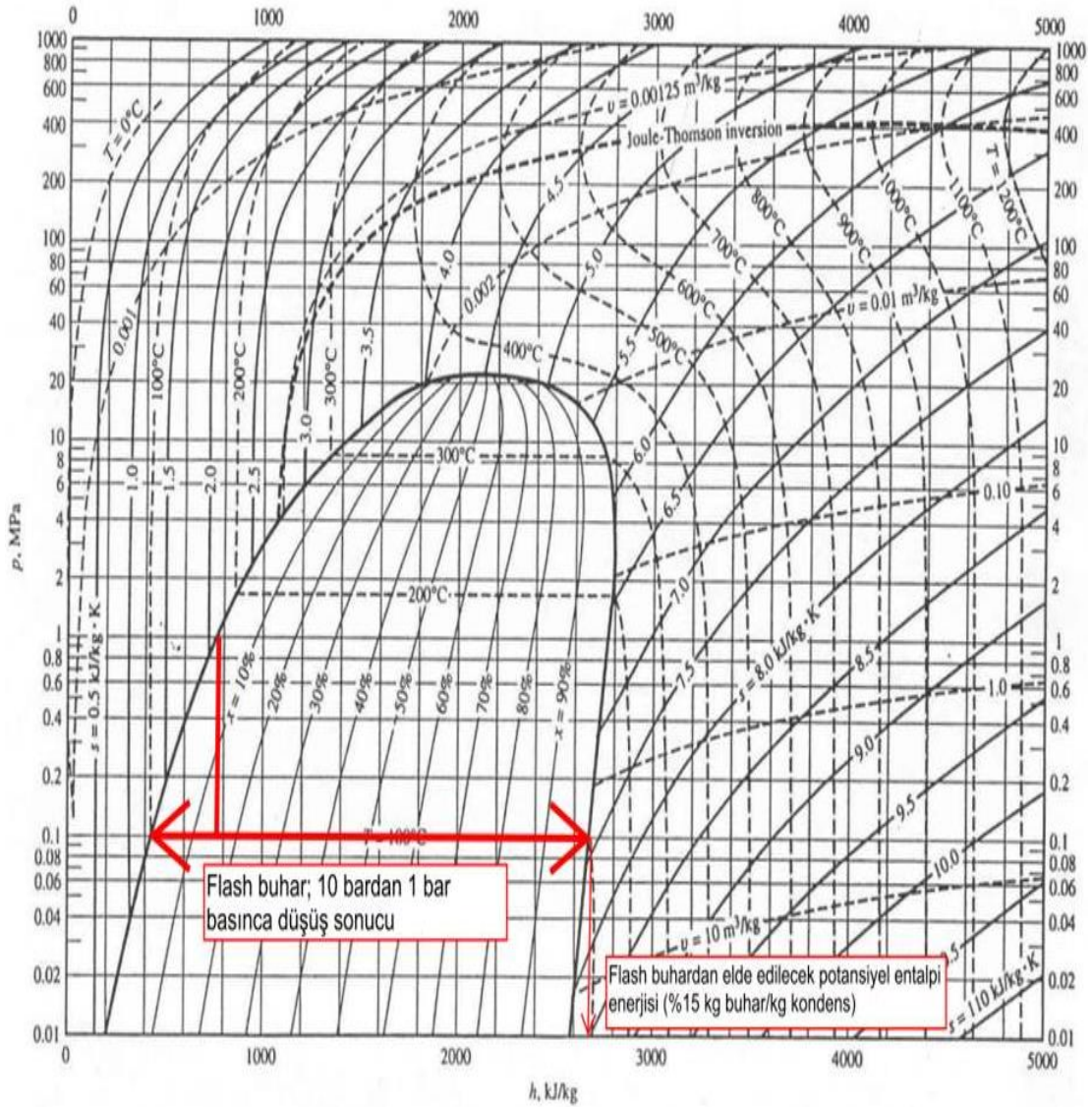
C_p = Havanın özgül ısısı (kcal/kg K)

Yukarıdaki açıklamalar ve formülasyonlardan da anlaşılacağı üzere; baca içerisinde kazandan çıkan sıcak havanın etkisinde iletilen debi, kazan ile atmosfer havası arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılı şekilde yükselmektedir. Yıllık verimin tayin edilmesinde, iç soğuma kayıplarının etkisi ve buna bağlı diğer etmenler (yıllık işletme süresi, brülörün devrede kalma süresi, kazan sızdırmazlığı gibi) için bazı kabuller yapmak zorunludur. Dolayısıyla iç soğuma kayıplarında kimi kabuller yerine formülasyonlardan çıkarılacak değişmeyen genel sonuçlar belirtilmiştir.

1. Seçilen kazana uygun brülör ve baca olmalıdır. Gereğinden küçük ya da büyük olmamalıdır ki bu durum verime etki eder.
2. Oransal ya da iki kademeli brülörler kullanılmalıdır. Böylece brülörlerin yıllık bazda devrede kalma zamanı arttırılmış olur.
3. Otomatik kontrollerde, değişken kazan suyu sıcaklığının tercih edilmesinde fayda vardır. Genelde kazan suyu sıcaklığından 5 °C daha yüksek sıcaklıklarda yapılır.
4. Kazan ve brülöre ait dış ortam ile bağlantılı bütün kapaklar sızdırmaz contalar ile kaplanmalıdır. Aksi durumlarda verim kaybı yaşamak kaçınılmaz olacaktır.
5. Tek kademeli brülörlerin kullanılması durumunda ya da sızdırmazlığı sağlanamayan kazan sistemlerinde otomatik baca kapatma klapesi seçeneğinin olduğunu da akılda tutmakta fayda vardır.
6. Endüstriyel kazanların baca yükseklikleri arttığında kesiti daralmaktadır. Bu yüzden iç soğumaya yüksekliğin çok fazla etkisi olmamaktadır.

6.3. Flaş Buhar Analizi

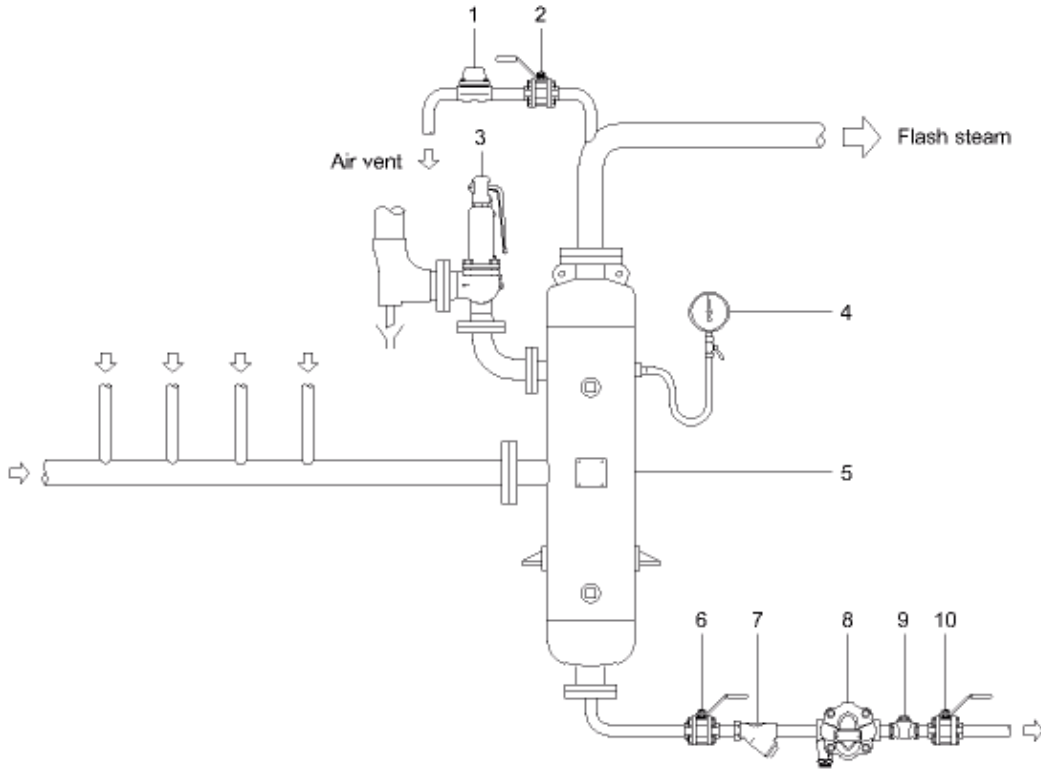
Isı transfer yüzeylerinden buharlaşma ısısını veren doymuş buhar, aynı basınçta kondens haline dönüşür ve doymuş su entalpisini içerir. Bu yüksek basınçlı doymuş haldeki suyun basıncı düşürüldüğünde bir kısım buharlaşır ve buna **flaş buhar** adı verilir. Flaş buhar miktarına eşit veya üzerindeki kapasiteler, uygun kullanım alanları arasında yer almaktadır. Tank sistemleri ile elde edilecek buhar, işletmede düşük basınçta buhar ihtiyacı olan birçok noktada kullanılarak yakıt maliyetleri azaltılır.



Şekil 6.4. Flaş buhar oluşumu

Flaş buhar, flaş buhar tanklarında elde edilir. Genel olarak düşey tipte imal edilen bu tankların üst kısmında buhar, alt kısmında kondens birikir. Tank çapını kondens miktarı ve basıncı belirler.

Tankın üst kısmında biriken düşük basınçlı buhardan faydalanmak için bölüm 7’ de anlatacağımız termokompresör ile birlikte çalıştırılan sistemler de mevcuttur. Tankın üst kısmında biriken düşük basınçta buhar ile ana hattan alınan yüksek basınçlı buhar, termokompresörde birleştirilerek ana hattan daha düşük basınçta çalışan makineler için enerji sağlanabilir. Böylece hem üretilmiş olan buharın prosese ulaştırılması sağlanmış olur, hem de düşük basınçta çalışan makine için ekstra basınç düşürme grubu kullanılmamış olur. Tankın alt kısmında kalan kondens de kondens tankına gönderilir. Biriken kondensin içinde küçük de olsa bir miktar buhar bulunmaktadır. Buharın kondens tankına geri dönmemesi için buhar kapağı grubu dizilir (bkz. Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Flaş buhar tankı ve bağlantı elemanları

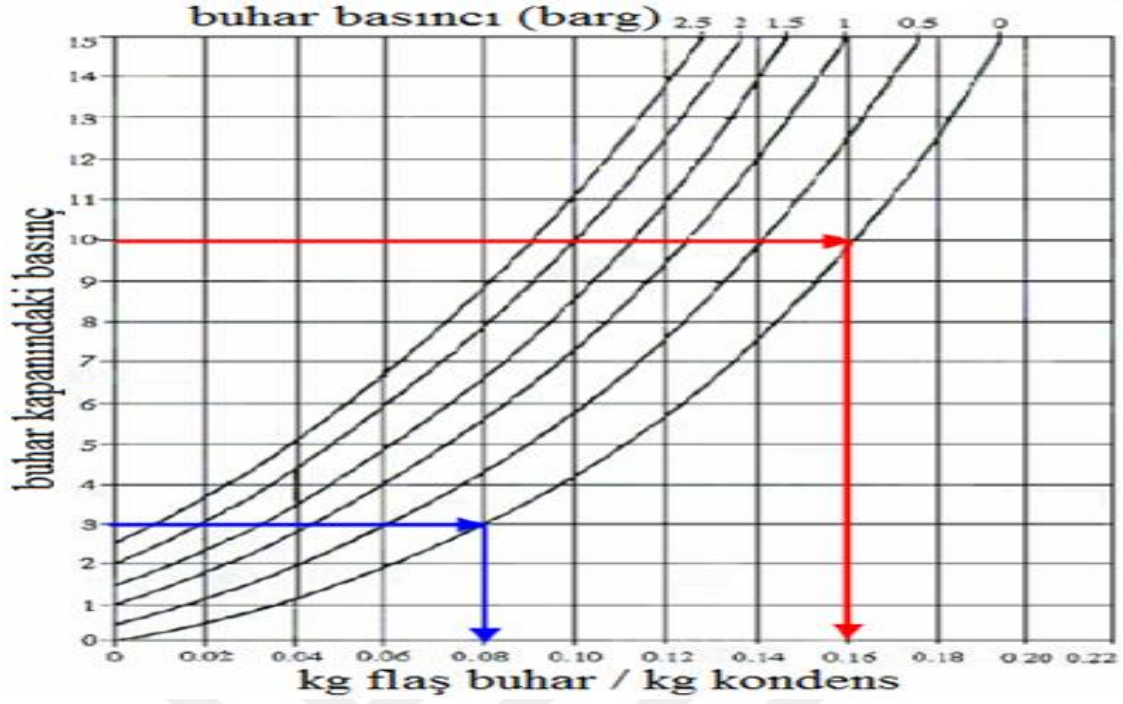
- | | | | |
|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 1. Hava Atıcı | 2. Kesme Vanası | 3. Emniyet Vanası | 4. Manometre |
| 5. Flaş Buhar Tankı | 6. Kesme Vanası | 7. Pislik Tutucu | 8. Buhar Kapanı |
| 9. Çek Valf | 10. Kesme Vanası | | |

Flaş buhar elde edildikten sonra kullanılacak noktanın iyi belirlenmesi gerekir. Kullanım yeri buhar debi ihtiyacı flaş buhar miktarına eşit veya üzerindeki kapasiteler olmalıdır. Flaş buharın debisi yeterli olmadığı durumlarda yüksek basınçlı bir buhar hattından buhar hattı alınarak basıncı düşürüldükten sonra sisteme verilebilir. Ya da bir termokompresör ile koordineli şekilde çalıştırılıp sistem beslemesi yapılabilir. Ters durumda, yani flaş buhar ihtiyaçtan daha fazla olduğunda ise flaş buharın bir kısmı dışarı atılacaktır ki bu da enerji kaybıdır.

Kondensten flaş buhar elde edilmek istendiğinde, flaş buhar basıncı belirlenirken kondensstopların fark basınçları dikkate alınmalıdır. Kondensstoptan sonraki basınç artacağından fark basınç düşer ve bu durum kondensstopların boşaltma kapasitelerini etkiler. Flaş buhar miktarı 6.13 numaralı formülle bulunabilir.

Flaş Buhar (FB):

$$FB \% = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg}} \times 100 \quad (6.13)$$



Şekil 6.6. Kondensin flaş buhar oranı

h_{f1} : Yüksek basınç ve sıcaklıktaki suyun entalpisi

h_{f2} : Düşük basınçtaki suyun entalpisi

h_{fg} : Buharlaştırma entalpisi

Bir işletmede;

P: 10 bar

h_{f1} : 782 kJ/kg

10 bar basınçtaki doymuş suyun entalpisi;

h_{f2} : 419 kJ/kg

0 bar basınçtaki doymuş suyun entalpisi;

h_{fg} : 2257 kJ/kg

0 bar basınçta buharlaştırma entalpisi;

Oluşan Flaş Buhar;

Formül 6.13

$$FB = \frac{782-419}{2257} \times 100$$

$$FB = 0,16 \times 100$$

$$FB = \%16$$

6.3.1. Flaş Buhar ve Kazan Blöf Geri Kazanımı

10 bar basınçlı bir buhar kazanın çalışma esnasında oluşabilecek flaş buhar ve kazan blöf miktarını hesaplayarak elde edeceğimiz geri kazanım oranını görelim.

Kazan Basıncı : 10 bar

Buhar Miktarı : 10.000 kg/h

TDS_{max} : 2.500 ppm

TDS_{besi suyu} : 250 ppm

H_{f(10 bar)} : 781,60 kJ/kg

$$\begin{aligned} \text{Kazan Blöf Miktarı} &= \frac{TDS_{\text{besi suyu}}}{TDS_{\text{max}} - TDS_{\text{besi suyu}}} \times \text{Buhar Miktarı} \\ &= \frac{250}{(2.500 - 250)} \times 10.000 \\ &= 1.111,11 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Blöfün Sahip Olduğu Enerji} &= \text{Kazan Blöf Miktarı} \times h_f(10 \text{ bar}) \\ &= 1.111,11 \times 781,6 \\ &= 868.444,44 \text{ kJ/kg} \\ &= 241,23 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Flaş buhar tankında 10 bar basınçtaki sudan 0,2 bar basınçta buhar eldesi ile geri kazanılan enerji:

$$\begin{aligned} \text{Flaş Buhar Miktarı} &= \frac{h_f(10 \text{ bar}) - h_f(0,2 \text{ bar})}{h_{fg}(0,2 \text{ bar})} \times \text{Kazan Blöf Miktarı} \\ &= \frac{781,60 - 440,80}{2.243,40} \times 1.111,11 \\ &= 168,79 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Flaş Buharın Vereceği Isı} &= \text{Flaş Buhar Miktarı} \times h_g(0,2 \text{ bar}) \\ &= 168,79 \times 2.684,20 \\ &= 453.069,92 \text{ kJ/h} \\ &= 125,85 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Geri Kazanım Oranı} &= \frac{\text{Flaş Buharın Verdiği Enerji}}{\text{Blöfün Sahip Olduğu Enerji}} \times 100 \\
&= \frac{125,85}{241,23} \times 100 \\
&= \% 52,2
\end{aligned}$$

- Flaş buhar tankından 0,2 bar basınçta çıkan sıcak sudan ısı değiştirici kullanılarak kazan besi suyunun ısıtılması ile enerji geri kazanımı:

$$\begin{aligned}
\text{Flaş Buh. Tank. Çık. Su Miktarı} &= \text{Kazan Blöf Miktarı} - \text{Flaş Buhar Miktarı} \\
&= 1.111,11 - 168,79 \\
&= 942,32 \text{ kg/h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Geri Kazanılabilir Enerji} &= (h_f(0,2) - h_f(\text{besi suyu})) \times \text{Su Miktarı} \\
&= (440,80 - 41,87) \times 942,32 \\
&= 375.919,60 \text{ kJ/h} \\
&= 104,42 \text{ kW}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Geri Kazanım Oranı} &= \frac{\text{Isı Değiştirici ile Kazanılan Enerji}}{\text{Blöfün Sahip Olduğu Enerji}} \times 100 \\
&= \frac{104,42}{241,23} \times 100 \\
&= \% 43,3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Toplam Geri Kazanım Oranı} &= 52,2 + 43,3 \\
&= \% 95,5
\end{aligned}$$

7. TERMOKOMPRESÖR

7.1. Giriş

Tarihsel açıdan bakıldığında buhar kullanımının çok eskiye dayandığı söylenebilir. Günümüzde, eskiye nazaran çok daha geniş kullanım alanlarına ulaşmıştır. Buharı değerli kılan çok çeşitli kullanım alanlarına sahip ve güvenilir bir enerji olmasıdır. 1663'lü yıllarda Fransız Mühendis Salomon De Caus'un düşüncelerinden hareketle, Worcester Markisi'nin icat ettiği buhar çeşmesi denen makine ile mekanik olarak buharın enerjisinden faydalanılmaya başlanmıştır. İlerleyen süreçlerde kullanım alanlarını sürekli geliştirerek devam edecek olan buhar 1679'da buharlı tencerenin mucidi Denis Papin tarafından, pistonun buhar basıncından faydalanarak bir silindir içinde hareketinin sağlanmasıyla çeşitli pompaların bulunmasına öncülük etmiştir. Döner hareketli sistemlerin başlamasına öncülük eden James Watt'tan piston-biyel sistemlerinin başlamasına sebep Richard Trevithick'e kadar birçok bilim insanı ile buharın yolları genişlemiştir. İlkel buhar makinalarından, bugünün modern aletlerine; endüstriyel işletmelerin muhtelif kademelerinden, elektrik üretimine kadar birçok alanda buhar kullanımından söz etmek mümkündür. Bu yoğunlukta tüketimi olan bir enerjinin kaynak eksikliğinin olması da kaçınılmaz olacaktır. Sınırlı kaynaklardan elde edilen bu enerjinin sürekli ve artarak tüketimi, bu kaynakların tükeneceği endişesini de doğurmaktadır. Dolayısıyla buharın verimli kullanımı konusunda işletmelerin birincil odak noktası olması gerektiği aşikârdır.

Enerjinin korunumu ve verimliliğin bu kadar önemli olduğu günümüzde, verimi arttırmak ve üretilen enerjiden maksimum düzeyde faydalanmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi de termokompresördür. Termokompresörler, endüstriyel işletmelere büyük fayda sağlamaktadır. Daha önceki bölümlerde de izahını yaptığımız flaş buharın geri kazanılması termokompresörler vasıtasıyla olmaktadır. Kondens içinde bulunan düşük basınçlı buhar, atmosfere açık kondens tankına gönderilerek buhar fazında bulunan kısmı atmosfere atılmaktadır. Yani üretilen enerjiden fayda sağlanamamaktadır. Mevcut sistemlerde düşük basınçlı flaş buhardan faydalanmak çok mümkün olmayabilir. Bu noktada flaş buhar tankında biriken düşük basınçlı flaş buhar ile ana hattan alınan yüksek basınçlı buharın termokompresörlerde sıkıştırılarak faydalı enerjiye dönüşümü sağlanabilir. Bu konuda en kritik görev termokompresörlerdedir. Sisteme kazandırılan bu faydalı buhar ile hem atık ısıdan faydalanmış olunur hem de farklı proseslerin istenen basınçtaki buhar ihtiyaçları karşılanmış olur.

Termokompresörün kullanımı için;

- Giriş kesitindeki buhar debi ve basınçları
- Çıkış kesitindeki buhar debi ve basınçları

Uygun olduğunda, termokompresör sisteminde herhangi bir hata meydana gelmeyecek, yüksek miktarda verim elde etmek mümkün olacaktır.

7.2. Termokompresör ve Çalışma Prensibi

Ejektör sistemlerinin üyesi olan termokompresörler, ortak termodinamik ve fiziksel kurallar ışığında çalışırlar. Düşük basınçlı su buharı, gaz, hava gibi akışkanları alıp, yüksek basınçlı akışkan jetinden faydalanarak optimum basınçta kullanılabilir enerjiyi sağlayan cihazlardır (bkz. Şekil 7.1).

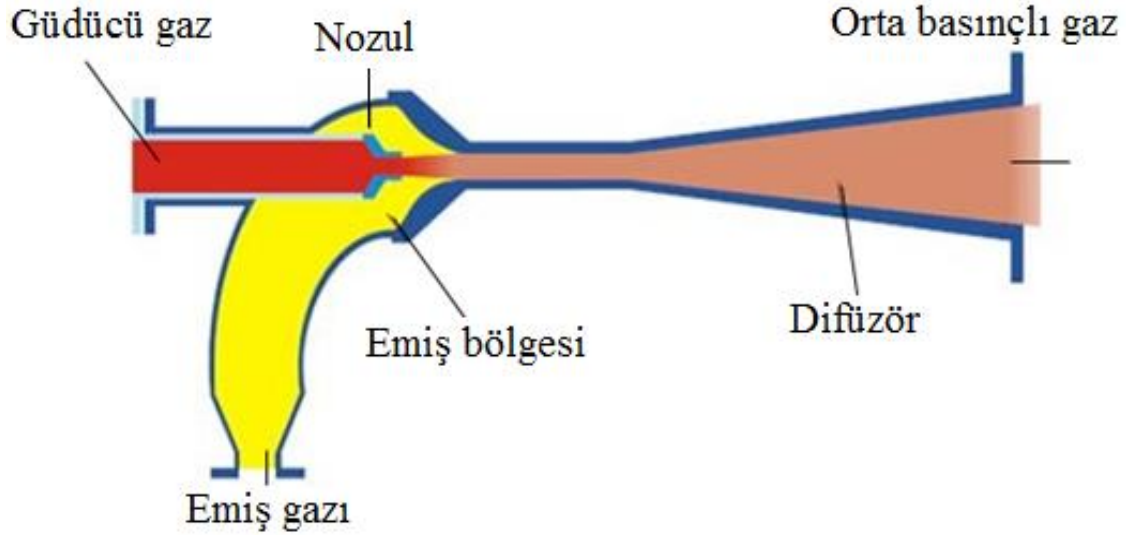
Ejektörler; nozul, emiş bölgesi ve difüzör olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadırlar.

Nozul: Akışkanın basıncını düşürüp, hızının yükseltilmesini sağlayarak kinetik enerjiyi artırır.

Emiş Bölgesi: Nozul çıkışında düşük basınçlı akışkan ile yüksek basınçlı akışkanın karışımını sağlandığı bölgedir.

Difüzör: Yükseltilmiş kinetik enerjin basınç enerjisine dönüştürüldüğü bölümdür.

Ejektörlerden farklı olarak termokompresörlerde hem düşük basınç hem de yüksek basınç akışkanı buhardır. Yüksek basınçtaki buharın enerjisi düşük basınçtaki buhara aktarılarak orta basınçlı buhar elde edilir. Basit bir yapıya sahip termokompresörlerin kurulumunun kolay olması, bakımlarının basit ve ömürlerinin uzun olması gibi avantajları vardır. Doğru kullanıldığında işletmeler için büyük verim sağlayacaktır.



Şekil 7.1. Termokompresör

- Yüksek basınçtaki (P_m) güdücü gaz kompresöre girerek nozul içinde sürüklenir
- Nozul, yüksek basınçlı gazı, alçak basınçlı gazın (P_s) beraberinde sürükleyerek yüksek hızlı jet akışına dönüştürür
- Gövde içerisinde bu gazlar karışır
- Difüzör kısmında oluşan gaz karışımının hız yükü statik yüke dönüştürülür ve orta basınçlı gaz (P_d) sağlanmış olur.

7.3. Termokompresörün Termodinamiği ve Tasarım Kriterleri

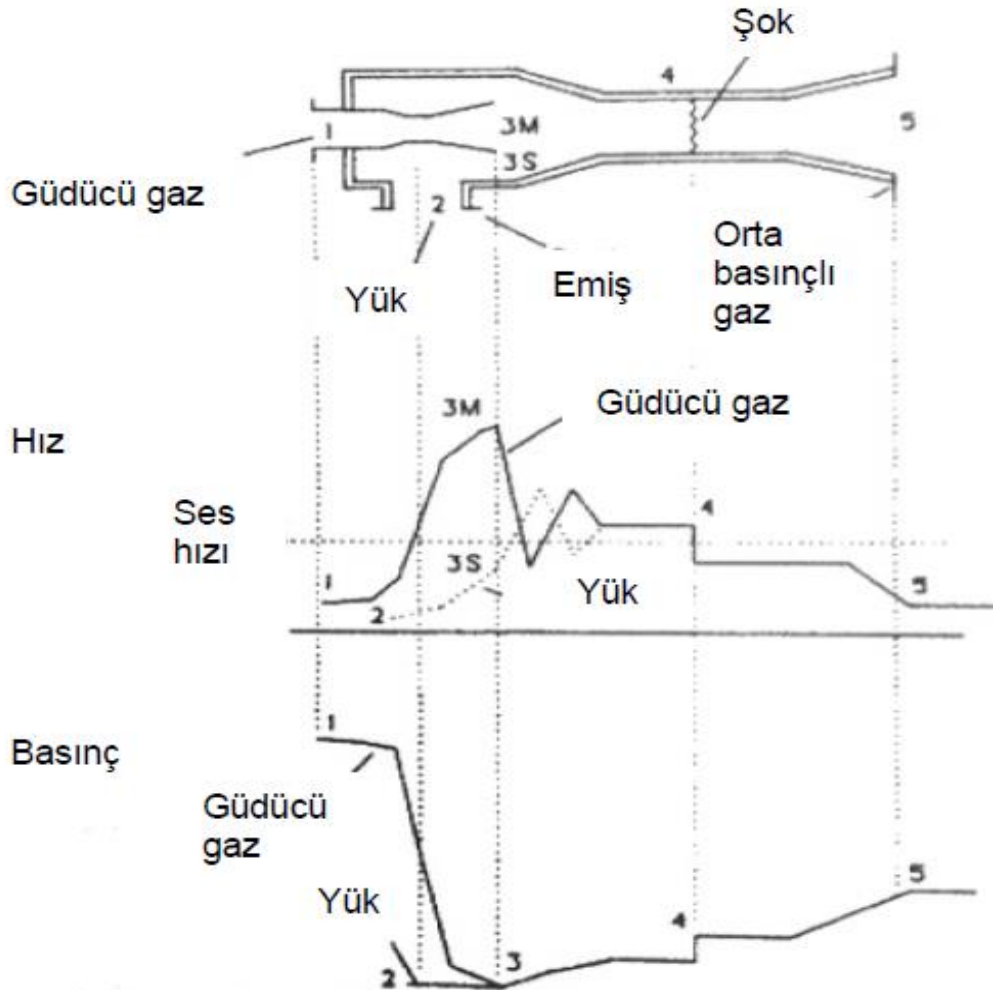
Nozula giren buharın mevcut hızı artarken basıncı azalır. Dolayısıyla entalpisi de düşen buharın basınç enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş olur. Nozulun çıkışında buharın hızı yüksek seviyelere kadar çıkabilir (bkz. Şekil 7.2). Öyle ki ses üstü seviyelerine kadar çıkabilir. 850 ila 1300 m/s hızlara ulaşabilir [19]. Güdücü buhar ile düşük basınçtaki buharın karışımından oluşan yeni buharın entalpisi, karışımı sağlayan farklı basınçtaki buharın entalpisi arasında bir değer alır. Difüzör vasıtasıyla genişletilen buhar karışımı, istenen basınç ve hızda sistemin kullanımına sunulur.

Şekil 7.3'teki diyagrama bakıldığında, prosesin işleyişi şöyle cereyan etmektedir;

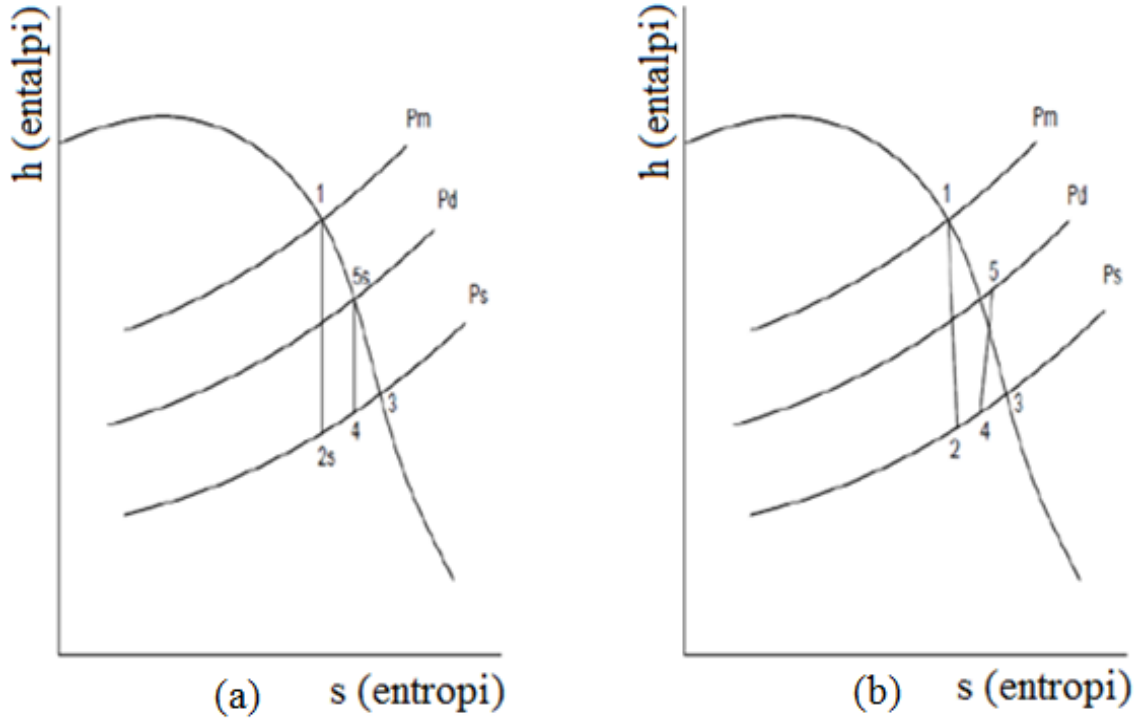
1 → 2 Güdücü buharın genişleme evresi

2, 3 → 4 Güdücü buhar (2) ile emiş buharının (3) sabit basınçta karışım evresi

4 → 5 Orta basınçlı buharın sıkışma evresi



Şekil 7.2. Ejektör boyunca hız ve basınç profili



Şekil 7.3. (a) entalpi-entropi diyagramı (izantropik sıkıştırma ve genişleme)

(b) entalpi-entropi diyagramı (gerçekte)

Endüstriyel tesislerde kullanılan termokompresörler, termodinamik yasalara uygun olarak çalışmaktadırlar. Bu sistemlerde laminar ve adyabatik akışın olması için uygulanan denklemler şunlardır:

Süreklilik denklemi;

$$\sum \rho_i \times V_i \times A_i = \sum \rho_e \times V_e \times A_e \quad (7.1)$$

Momentum denklemi;

$$P_i \times A_i \times \sum m_i V_i = P_e \times A_e \times \sum m_e V_e \quad (7.2)$$

Enerjinin korunumu denklemi;

$$\sum m_i \times (h_i + V_i/2) = \sum m_e \times (h_e + V_e/2) \quad (7.3)$$

Buhar sistemlerinde kullanılacak termokompresör tasarımı ve uygulaması yapılırken aşağıda belirtilen kritik parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Karışım oranı: Düşük basınçlı emiş buharının kütleli debisinin (M_s), yüksek basınçlı güdücü gazın kütleli debisine (M_m) oranı şeklinde ifade edilir (M_s/M_m). Bu formülden anlaşılacağı üzere yüksek karışım oranı demek, düşük basınçlı buhardan daha fazla yararlanmak demektir. Karışım oranı, sıkıştırma ve genişleme oranı ile birebir ilişkili olup daha birçok parametreye bağlı olarak

değişebilmektedir. Kritik karşı basınca ulaşıncaya kadar termokompresör karşı basıncı çok etkilenmemekle birlikte, kritik değer aşıldıktan sonra karışım oranı azalmaya başlar ve termokompresör verimi düşer. Kritik değer emiş buharın sıcaklığının artırılmasıyla artırılmış olur ve sistemin daha sağlıklı çalışmasını sağlar [21].

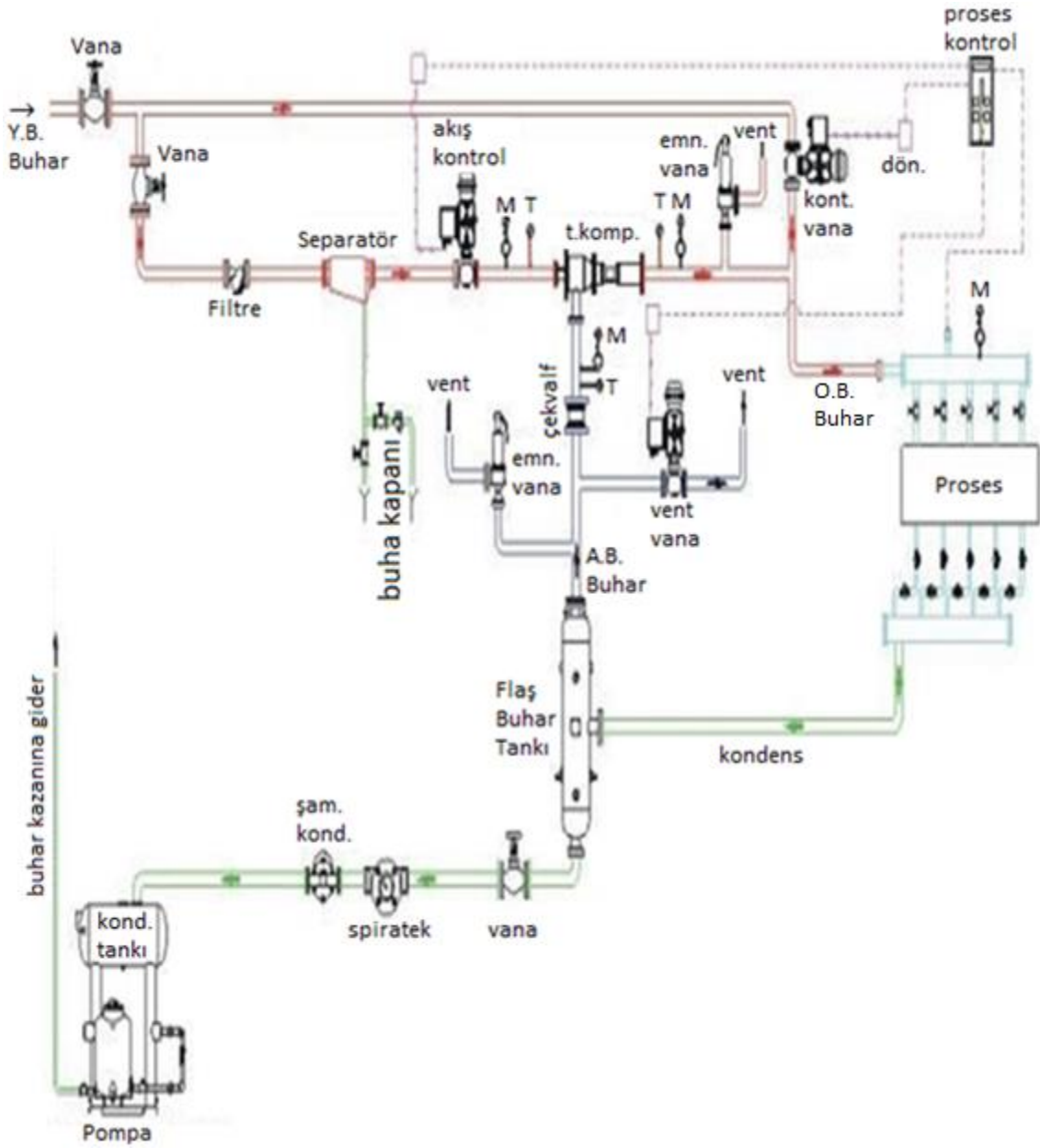
- Genişleme oranı: Sisteme giren yüksek basınçlı buhar ile sisteme kazandırılmak istenen düşük basınçlı buharın mutlak basınçlarının oranı şeklinde ifade edilebilir (P_m/P_s). Performansın yüksek olması için bu oranın yüksek olması istenir ki bu oranın en az 1,2 olması istenir [22].
- Sıkıştırma oranı: Sistemdeki kullanılacak orta basınçlı buharın mutlak basıncının, düşük basınçtaki emiş buharının mutlak basıncına oranı (P_d/P_s) şeklinde ifade edilmektedir. Termokompresörler, 6:1 sıkıştırma oranına kadar kullanımı ekonomik kabul edilebilir [23]. Güdücü buhar basıncının yüksek olması, aynı sıkıştırma oranı için karışım oranını düşürür. Bu sebepten gerçekleştirilebilir termokompresör sistemleri için sıkıştırma oranı 2,5 dolaylarındadır [19].

7.4. Endüstride Termokompresör Uygulama Alanları

Enerji geri kazanım sistemlerinden termokompresör uygulaması, birçok endüstriyel tesiste kullanıma sunulmuştur. Uygulanan tesislerin geri kazanım sayesinde, ürettikleri enerjinin kullanımına olanak sağlaması bakımından önemli kazanımlar sağladığı görülmüştür. Özellikle atıl ısı olarak kabul edilen ve kondens tankından atmosfere atılan flaş buharın tekrar sisteme döndürülerek faydalı ısı haline dönüştürülmesine imkân sağlayan bu sistemler, işletmeler açısından cazibeli hale gelmiştir. Termokompresör teknolojisinin başarıyla uygulandığı sektörlerden bazıları;

- Kâğıt endüstrisi
- Şeker endüstrisi
- Kojenerasyon sistemleri
- Petro-kimya endüstrisi
- İlaç endüstrisi
- Kimya endüstrisi
- Lastik / kauçuk endüstrisi
- Tekstil endüstrisi
- Gıda endüstrisi

Şeklinde özetlemek mümkündür. Ürünlerini, hayatın tüm evrelerinde kullandığımız yukarıdaki endüstriyel işletmelerin atıl ısısından fayda sağlayan bu sistemlerin önemini daha da arttırmaktadır. Endüstriyel bir işletmede kullanılan termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Endüstriyel işletmede termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması

Şekil 7.4'de yüksek basınçlı buhar ile procesten dönen kondensin içinde bulunan flaş buharın, termokompresörde sıkıştırılarak faydalı enerjiye dönüşümü verilmiştir. Tüm bu sistemlerin amacı kaynakların daha verimli kullanımına yöneliktir. Çünkü sınırlı sayıda kaynağın sürekli kullanılması, kaynağın belli bir süre sonunda tükeneceğine işarettir. Bu kaynaklardan üretilen enerjinin verimli kullanımı, tasarrufun adımlarındandır. Zira üretilen enerjinin salt görünür kısmına odaklanmak yetmeyecektir ki enerji üretiminde kullanılan yakıt, işçilik ve daha birçok kaleme etki edecektir. Termokompresör sisteminin bu kalemleri minimize etmesi, sistemin ne kadar doğru yatırım olduğunu gösterir.

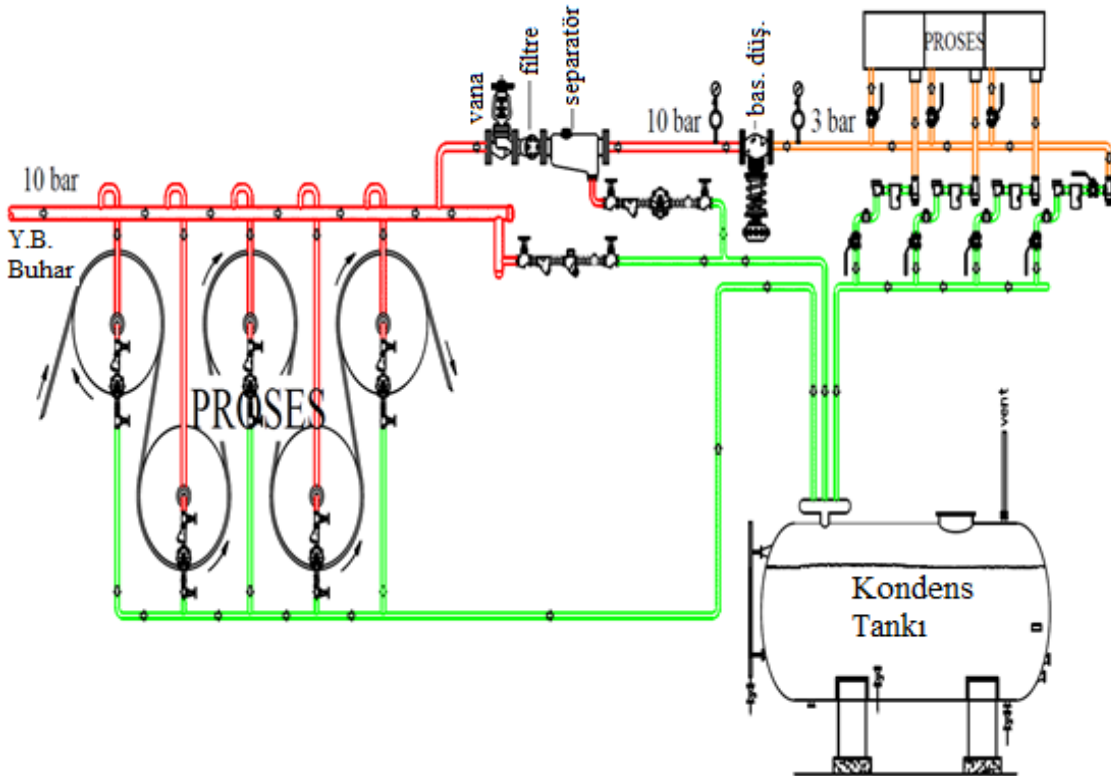
8. TERMOKOMPRESÖR VE FLAŞ BUHAR TANKI UYGULAMASI

İstanbul'da üretim faaliyetlerini sürdürmekte olan bir oluklu mukavva tesisinde, buharın verimli kullanımı ve atık ısının sisteme geri kazanımı ile ilgili birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, mevcut durum incelenmiş (bkz. Şekil 8.1), atmosfere atılan atık ısıdan faydalanmak için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (bkz. Şekil 8.2).

8.1. Mevcut Durum

Çalışmamızda önceki bölümlerde anlatılan buhar hattının verimliliğini arttıran diğer etmenlerden bağımsız olarak, yalnızca termokompresör ve flaş buhar tankı kullanıldığında elde edilebilecek enerji kazanımlarından bahsedilecektir.

Endüstriyel tesiste 10 bar basınç ile çalışan silindirler ve 3 bar basınç ile çalışan tavalar mevcuttur. Buhar kazanının çıkış basıncı 10 bar ve ana buhar hattı bu basınç değeri üzerinden hesaplanmıştır. Silindirlere ana buhar hattından branşman alınarak direkt bağlantısı yapılmıştır. Tavalarda ise basınç düşürme grubu kullanılarak bağlantı yapılmıştır. Buhar hattında, proseslerde ve her bir komponentte oluşan kondens, kondens tankına gönderilmektedir. Atmosfere açık kondens tankında biriken flaş buhar kullanılamamakta, vent hattıyla atmosfere atılmaktadır. Atılan bu enerji ciddi maliyetleri de beraberinde getirmektedir.



Şekil 8.1. Endüstriyel tesisin mevcut durumu

Şekil 8.1.'de verilen sistemde, mevcut durumdaki veriler aşağıdaki gibidir;

Ana hat kapasitesi: 10.000 kg/h

Ana hat basıncı: 10 bar

Silindir kapasitesi: 6.000 kg/h

Silindir buhar basıncı: 10 bar

Tava kapasitesi: 4.000 kg/h

Tava buhar basıncı: 3 bar

Hattın rejim halindeki radyasyon kayıplarının kondens miktarı

$$Q = \frac{E \times I \times 3,6}{L \times 4} \quad (8.1)$$

Q: Kondens miktarı (kg/h)

E: Isı emiş miktarı (W/m)

I: Efektif boru uzunluğu (m)

L: Buharlaştırma entalpisi (kJ/kg)

E = 1580 W/m (çizelge 8.1 sıcaklık farkına göre)

I = 90 + (5 x 0,3) + (4 x 1,2)

I = 96,3 m

Bir vananın rejim halindeki radyasyon kayıpları, aynı çaptaki 1,2 m boru uzunluğuna; flanşın rejim halindeki radyasyon kaybı ise 0,3 m boru uzunluğuna eşit kabul edilir.

L = 2000 kJ/kg (Basınç – Sıcaklık tablolarından)

$$Q = \frac{1580 \times 96,3 \times 3,6}{2000 \times 4} = 68,47 \text{ kg/h}$$

Atmosfere açık kondens tankından kaçan flaş buhar miktarı:

$$\text{Flaş Buhar Miktarı} = \frac{h_f(10 \text{ bar}) - h_f(0,2 \text{ bar})}{h_{fg}(0,2 \text{ bar})} \times \text{Kazan Blöf Miktarı}$$

$$= \frac{781,60 - 440,80}{2.243,40} \times 1.111,11$$

$$= 168,79 \text{ kg/h}$$

Çizelge 8.1. Düz çelik boruların ısı emiş miktarı (W/m)

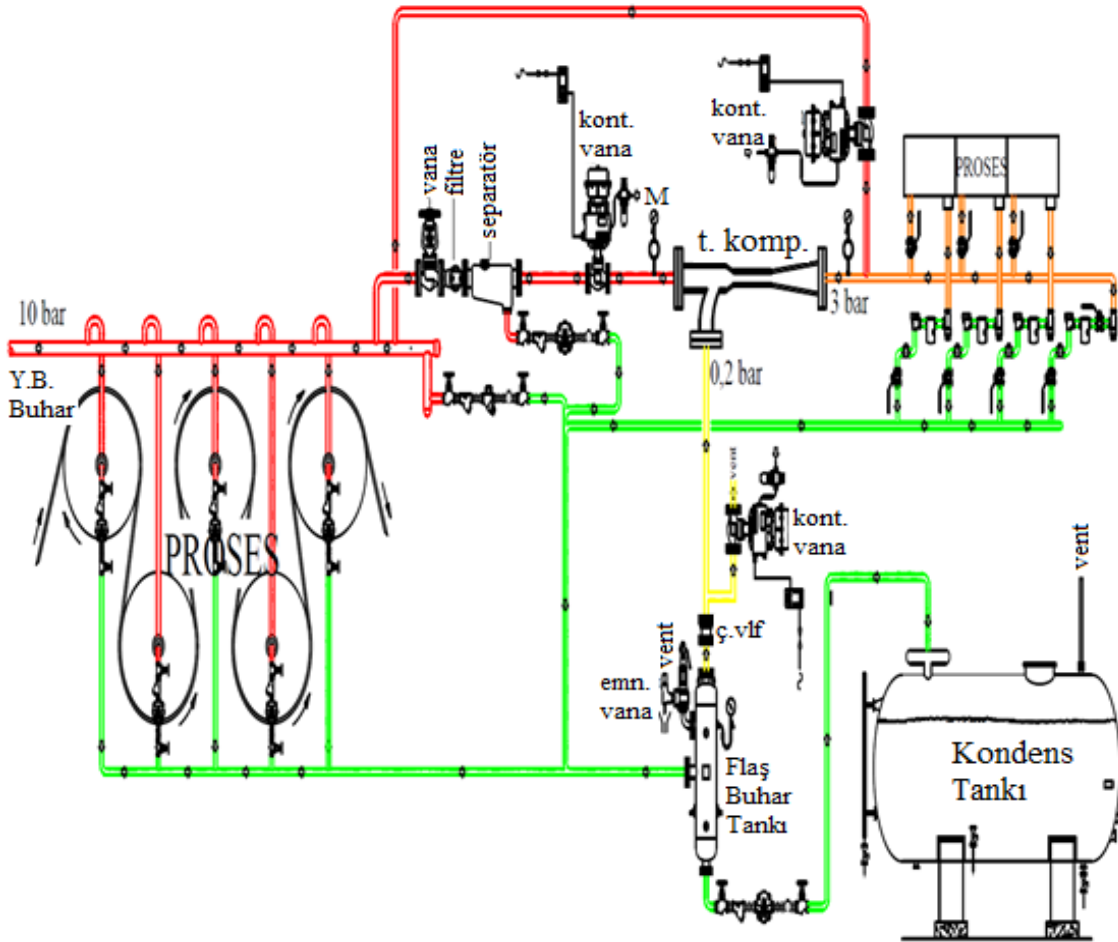
Buhar- Hava Sıcaklık Farkı (°C)	Boru Çapları (mm)									
	15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	150mm
	W/m									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093	1492
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190	1660

8.2. Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulamalı Durum

Endüstriyel tesiste üretilen enerjinin sistemde ihtiyaç duyulan yerde kullanılması, kayıp enerjinin en aza indirilmesi adına yaptığımız çalışma Şekil 8.2'de gösterilmiştir.

Tavalara iletilecek düşük basınçlı buhar için basınç düşürücü vana grubu kullanılmayacaktır. Termokompresör ve flaş buhar tankı uygulaması bu noktada aynı ihtiyacı karşılamakla birlikte atık ısıdan faydalı enerji elde etmesi de artı değer sağlamaktadır. Bu uygulamada buhar sisteminde oluşan bütün kondensin toplanacağı flaş buhar tankı olacaktır. Ana hattan 10 bar basınçlı buharı alan termokompresör, flaş buhar tankında oluşan yaklaşık 0,2 bar basınçlı flaş buharı da alarak harmanlayacaktır. Çıkış basıncı 3 bar olacak şekilde ayarlanıp sisteme buhar gönderilecektir. Bu uygulama ile mevcut durumda atmosfere atılan atık ısıdan faydalanılacak ve bu anlamda oluşan enerji kayıplarının önüne geçilecektir.

Termokompresör ve flaş buhar tankının ilk yatırım maliyeti nispeten yüksek olduğundan işletmeciler açısından mali külfet olarak görülse de kısa sürede kendini amorti etmesi yapılan yatırımın doğruluğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 8.2. Endüstriyel tesiste termokompresör ve flaş buhar tankı uygulamalı durum

Mevcut durumda, buhar hattında oluşan ve atmosfere açık kondens tankından dışarı atılan flaş buharı, termokompresör ve flaş buhar tankı uygulaması ile sisteme geri kazandırarak oluşan tasarruf gözlenecektir.

$$\text{Sistemde oluşan minimum flaş buhar} = 168,79 \text{ kg/h}$$

$$\text{Endüstriyel tesisin günlük çalışma süresi} = 18 \text{ saat}$$

$$\text{Endüstriyel tesisin aylık çalışma süresi} = 26 \text{ gün}$$

$$\text{Aylık elde edilen flaş buhar miktarı} = 168,79 \times 18 \times 26$$

$$= 78.993,72 \text{ kg/ay}$$

Ayda minimum 78.993,72 kg flaş buhar kondens tankından atmosfere atılmaktadır. Tesisin buhar maliyeti ve kurulan sistem ile geri kazanılan enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

Tesisin buhar maliyeti:

$$\text{Elde edilen buhar basıncı} = 0,2 \text{ bar}$$

$$\text{Buharlaşma entalpisi} = 2691/4,186 = 642,9 \text{ kcal/kg (buhar tablolarından)}$$

$$\text{Besi suyu sıcaklığı} = 95 \text{ °C}$$

$$\text{Verilmesi gereken ısı miktarı} = 547,8571 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{1 ton için verilmesi gereken ısı yükü} = 547,8571 \times 1000$$

$$= 547.857,1 \text{ kcal}$$

Yakıt tipi: Doğalgaz

$$\text{Yakıtın alt ısıl değeri} = 8.250 \text{ kcal/m}^3$$

$$\text{1 ton buhar için gerekli yakıt miktarı} = 547.857,1/8.250$$

$$= 66,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Kazan verimi} = \%90$$

$$\text{Gereken yakıt miktarı} = 66,4/0,9$$

$$= 73,78 \text{ m}^3$$

$$\text{Yakıt birim fiyatı} = 1,19 \text{ m}^3/\text{₺}$$

$$\text{Su birim fiyatı} = 5 \text{ m}^3/\text{₺}$$

$$\text{Toplam birim fiyat} = 73,78 \times 1,19 + 5$$

$$= 92,8 \text{ ₺/ton}$$

$$\text{Flaş buhar ile elde edilen aylık kazanç} = 78,99372 \times 92,8$$

$$= 7.330,61722 \text{ ₺/ay}$$

Termokompresör maliyeti	= 115.000 ₺
Flaş buhar tankı maliyeti	= 31.000 ₺
Termokompresör & flaş buhar tank sistem maliyeti	= 146.000 ₺
Sistemin geri dönüş süresi	= 146.000/7.330,61722
	= 19,9 ay

Yukarıdaki hesaplamalardan da anlaşılacağı üzere yıllarca kullanılacak bir sistemin maliyeti ortalama 19,9 ayda kendini amorti edebilmektedir. Ayrıca üretilen enerjinin faydalı kullanımı da ülke ve dünya enerji kaynaklarının sarfiyatını azaltması yönüyle önemlidir.



9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

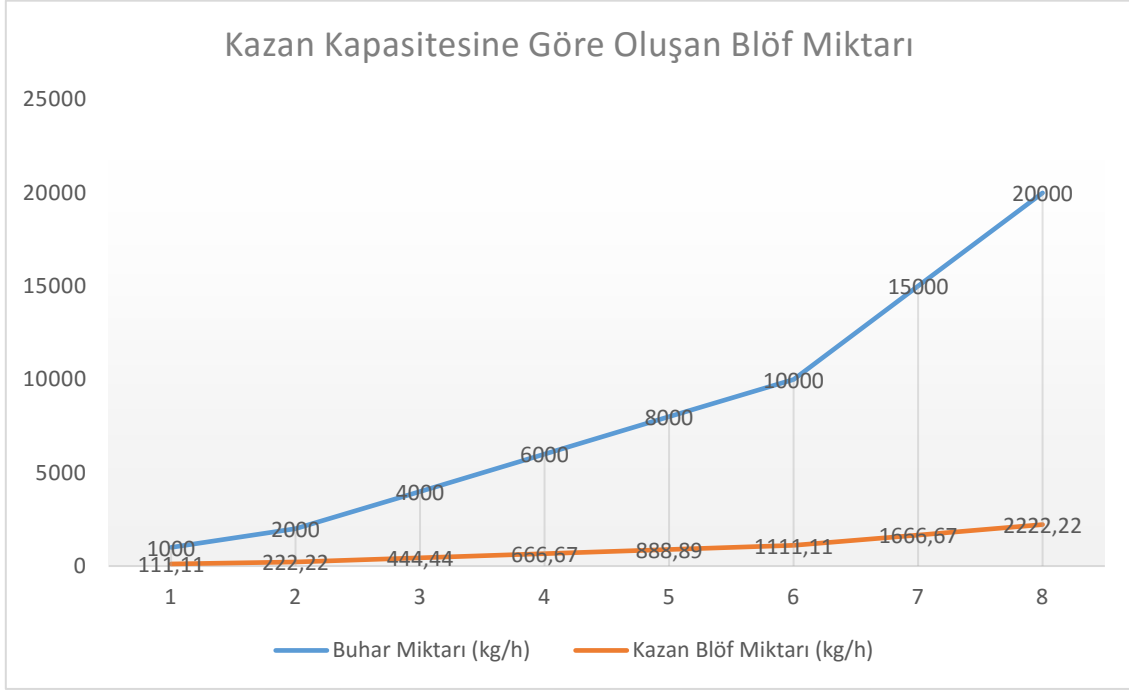
Endüstriyel tesisteki buhar sisteminde yapılan iyileştirme çalışmalarında, flaş buhar tankında biriken kondensat, atık ısı olarak görülen 0,2 bar basınçta flaş buhar, termokompresör ve flaş buhar tankı yardımıyla yaklaşık %52 oranında sisteme kullanılabilir enerji olarak kazandırılabilirdiği hesaplanmıştır. Flaş buhar tankı ve termokompresör uygulaması kullanılmadığında oluşan flaş buhar, atmosfere açık kondens tankından dışarı atılmaktadır. Dolayısıyla bu atık ısıdan sisteme yarayacak ısı elde etmek, işletmelere ekonomik anlamda büyük katkı sağlayacaktır.

Ülkemizde ve dünyada sınırlı kaynakların olması ve bu kaynaklara talebin her geçen gün artması, eldeki kaynakların mümkün olan en yüksek verimde kullanılmasını gerektirmektedir. Zira üretilen enerjinin sistemde kullanılmadan atmosfere atılması bir dizi zayıflığı da beraberinde getirmektedir. Elektrik, doğalgaz, zaman, iş gücü vb. daha birçok kalem bu tasarrufa muhtaçtır. Bu sebepten üretilen buhar miktarı arttıkça artan bu enerjiden maksimum düzeyde fayda sağlanmalıdır.

Çalışmayı yaptığımız oluklu mukavva tesisinde, 10 bar buhar basıncı ile çalışacak şekilde tesis edilmiş 10.000 kg/h kapasitesinde buhar kazanı mevcuttur. Bu sistemde yalnızca kondens içindeki flaş buhar düşünüldüğünde, yaklaşık 453.069,92 kJ/h enerji kondens tankından atmosfere atılmaktadır. Buhar üretimi için yapılan yatırımlar, harcanan iş gücü, yer, zaman, kaynak ve ilgili daha birçok parametreyi değerlendirdiğimizde enerjinin her zerresinin üretimde değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Bu minvalde düşündüğümüzde üretilen enerjinin proseste kullanıma sunulması ekonomik açıdan işletmelerin yükünü hafifletir. Termokompresör ve flaş buhar tankı, mevcut sistemde atılmalı diye anılan enerjinin büyük oranda sisteme geri kazandırılması konusunda çözüm ortağımız olmuştur. Buhar sisteminde oluşabilecek düşük basınçlı flaş buharın, flaş buhar tankında biriktirilerek termokompresöre gönderilip, burada sistemin ihtiyaç duyduğu faydalı enerjiye dönüşümü sağlanmıştır. Böylece hem prosesin ihtiyaç duyduğu özellikte buhar elde edilip çalışması sağlanmış, hem de atık ısıdan faydalı enerji elde edilmiştir. Bu kapasitelerde bu kadar enerjinin kullanılmadan atılması işletme ekonomisine bu denli etki ettiği düşünüldüğünde, daha büyük işletmelerde, öyle ki üretim hattını besleyen birden fazla kazan dairesinin olduğu yerlerde, atıl enerji miktarının çok daha büyük olduğu söylenebilir ki bu tür işletmelerde enerji geri kazanım sistemi mecburiyet düzeyinde önem kazanmaktadır.

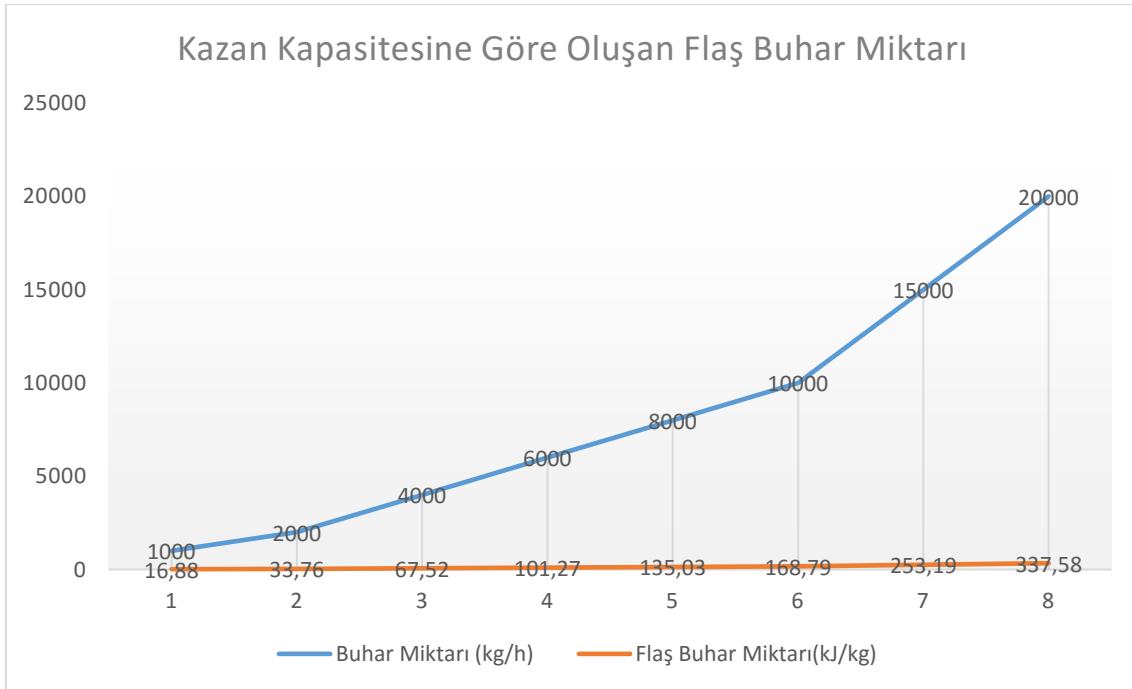
Bir adet termokompresör ve flaş buhar tankının işletmeye maliyeti yaklaşık 146.000 ₺, sistemin 26 gün ve günlük çalışma süresi 18 saat olması durumunda geri ödeme süresi 19,9 ay olarak hesaplanmıştır. Buhar sisteminin diğer elemanlarında yapılacak düzenleme ve iyileştirmelerle bu geri ödeme süresi çok daha aşağıya çekilebilecektir. İlave olarak vardiyalı olarak günde 24 saat çalışılan işletmelerde, yapılan bu yatırımın geri ödeme süresi daha az olacaktır. Üretim hattının devamlılığının esas alındığı endüstriyel işletmelerde enerji geri kazanım adına yapılan yatırımların, kısa ya da uzun vadede kar sağlayacağı açıktır. Bu geri kazanım sistemi ile işletmeler ekonomik olarak kara geçtiği gibi, enerji üretimi için kullanılan hammaddeden de tasarruf sağlamış olurlar.

Kazan kapasitesine bağı olarak oluşan blöf miktarının grafiğı Şekil 9.1'de verilmiştir. Buhar kazanı kapasitesi arttıkça oluşan blöf miktarı da artmaktadır.



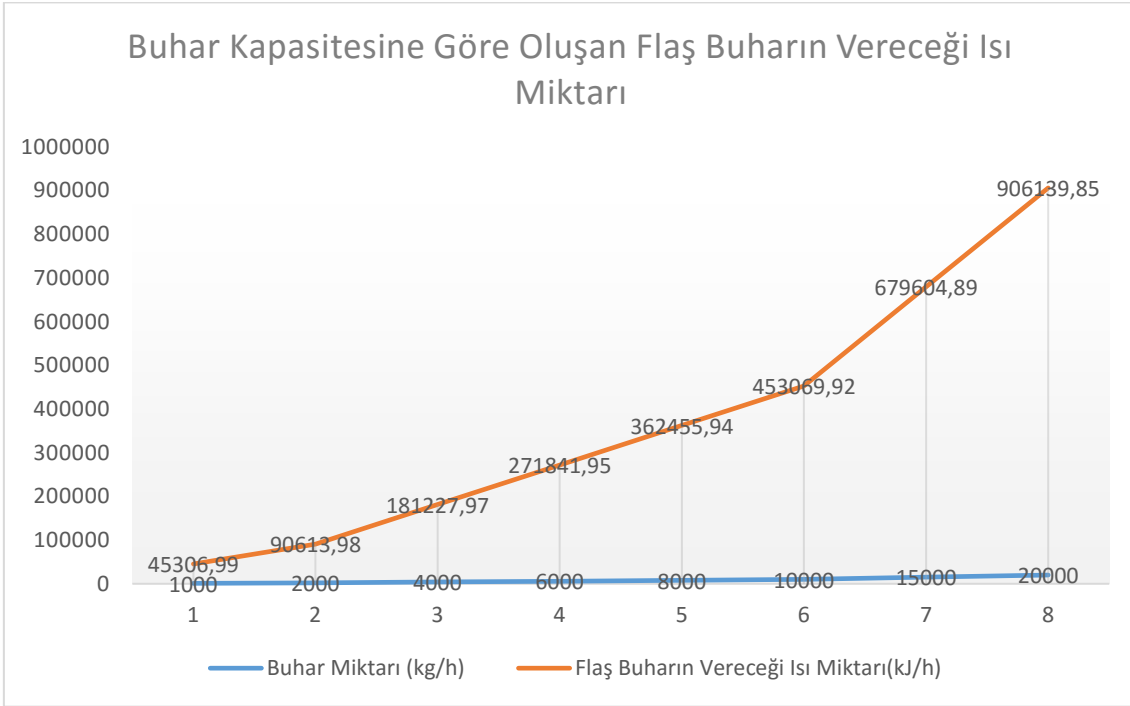
Şekil 9.1. Üretilen buhar miktarı – Oluşan blöf miktarı

Kazan kapasitesine göre üretilen buhar miktarına bağı olarak sistemde oluşan flaş buhar miktarı grafiğı Şekil 9.2'de verilmiştir. Kapasite arttıkça flaş buhar miktarı da artmaktadır.



Şekil 9.2. Üretilen buhar miktarı – Oluşan flaş buhar miktarı

Kapasite göre oluşan flaş buharın vereceği ısı miktarı grafiği Şekil 9.3'te verilmiştir. Flaş buhardan elde edilecek ısı düşünüldüğünde her kapasitede enerji geri kazanım sisteminin önemi anlaşılacaktır.



Şekil 9.3. Üretilen buhar miktarı – Flaş buharın vereceği ısı miktarı

Enerji tasarrufunun üretim ve tüketim ehilleri arasında yaygınlaşması gerekmektedir. Bu anlamda düşünülen yatırım projeleri için yalnızca işletmeler sorumlu tutulmamalıdır. Uygun ekonomik analizlerin yapılması, planlama organlarının geliştirilmesi ve bu projelerin hayata geçirilmesi adına farklı otoriteler arasında etkin koordinasyonun sağlanması devletin denetiminde olmalıdır. Enerji tasarrufunun ve verimliliğinin artırılması adına sanayide yapılan yatırımların aktif olarak desteklenmesi ve kimi yerde verilecek teşvikler ile devletin bu konuda baş aktör olması gerekmektedir. Bunların yanında belli peryotlarla verilecek etkili eğitim programları ile bilinçlendirme faaliyetlerinde bulunmalıdır.

Bu çalışmadaki hesaplamalar dikkate alındığında, endüstriyel tesislerdeki enerji geri kazanım sisteminin önemi anlaşılmaktadır. İleride daha ucuz ve ulaşılabilir enerjiye sahip olmak için, bugün ulaşılan enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MMO, “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı ve Buharlı Isıtma Sistemleri” Yayın No:631, Ankara.
- [2] TS 7363 Doğal Gaz Bina İçi Tesisatı Projelendirme ve Uygulama Kuralları.
- [3] http://www.erensan.com.tr/tr/rs70_190.asp
- [4] <http://venta.com.tr/>
- [5] <http://www.spiraxsarco.com/global/tr/Resources/Pages/home.aspx>
- [6] https://tr.wikipedia.org/wiki/Buhar_kapanı
- [7] ÇENGEL, A. Y., Boles M.A. (2000) “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik” Literatür Yayıncılık, İstanbul
- [8] TTMD (2001) “Tesisat Mühendisliği Uygulama Kitabı” TTMD Yayınları, İstanbul
- [9] ÜNLÜ, C., “Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi” TTMD Sayı 27- ek 4, İstanbul. www.ttmd.org.tr/userfiles/dergi/ek27.pdf
- [10] “Buhar Tesisatı” , Isısan Yayınları, İstanbul
- [11] <http://www.ayvaz.com/>
- [12] KARTAL, E., (2000) “Isı Geri Kazanım Sistemleri” Seminer Notları TTMD
- [13] Türk Standartları Enstitüsü, (2012) “TS EN 12952-1 Su Borulu Kazanlar” Bölüm 1: Genel.
- [14] Türk Standartları Enstitüsü, (2012) “TS EN 12953-6 Silindirik Kazanlar” Bölüm 6: Kazan Donanımı İçin Özellikler.
- [15] İGDAŞ Kurs Notları.
- [16] MMM, “11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-Buhar Sistemlerinde Yeni Enerji Tasarruf Teknolojisi: Termokompresör”
http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/739fb4eab2eae65_ek.pdf
- [17] POWER, R. B., (1994)“Steam Jet Ejektors For The Process Industries”, Mc-Graw Hill, New York, S.7-13.
- [18] FORBES MARSHALL, “Termokompresör Sistemleri Ürün Kataloğu”, Erişim Tarihi:07.01.2013,
http://www.forbesmarshall.com/fm_micro/downloads/intops/TC.pdf

- [19] KUVALEKA, D.K., ‘‘Thermocompressors – Boosting Steam to Boost Profits’’ , Paper ASIA, Mart 2007.
- [20] APHORN RATANA, S., ‘‘Theoretical Study of a Steam-Ejector Refrigerator’’ , RERIC International Energy Journal, Cilt 18, Sayı 1, Haziran 1996.
- [21] ARIAFAR, ‘‘Performance Evaluation of a Model Thermocompressor using Computational Fluid Dynamics’’ , International Journal of Mechanics, Sayı 1, Cilt 6, 2012.
- [22] SOUCY, M. & TIMM, G. L., ‘‘Thermocompressor Design and Operation for High Efficiency’’ , Pulp & Paper Canada Magazine, Eylül-Ekim 2010.
- [23] ‘‘Use Steam Jet Ejectors or Thermocompressors to Reduce Venting of Low-Pressure Steam’’ , Steam Tip Sheet # 29, US Department of Energy, Erişim Tarihi: 10.01.2013,
http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/steam29_use_steam.pdf
- [24] <http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/0/2015-bp-dunya-enerji-istatistikleri-raporu>
- [25] <https://intweb.tse.org.tr/standard>
- [26] <http://www.venkava.com.tr/>
- [27] [http://www.academia.edu/3354969/Dr. William Edwards Deming](http://www.academia.edu/3354969/Dr._William_Edwards_Deming)
- [28] <http://www.onurenerji.com.tr/enerji-verimliligi/sanayide-enerji-verimliligi>

EKLER

Ek 1: Su buharı için Entalpi - Entropi diyagramı

Ek 2: Su buharı için Sıcaklık - Entropi diyagramı

Ek 3: Doymuş su / buhar – sıcaklık tablosu

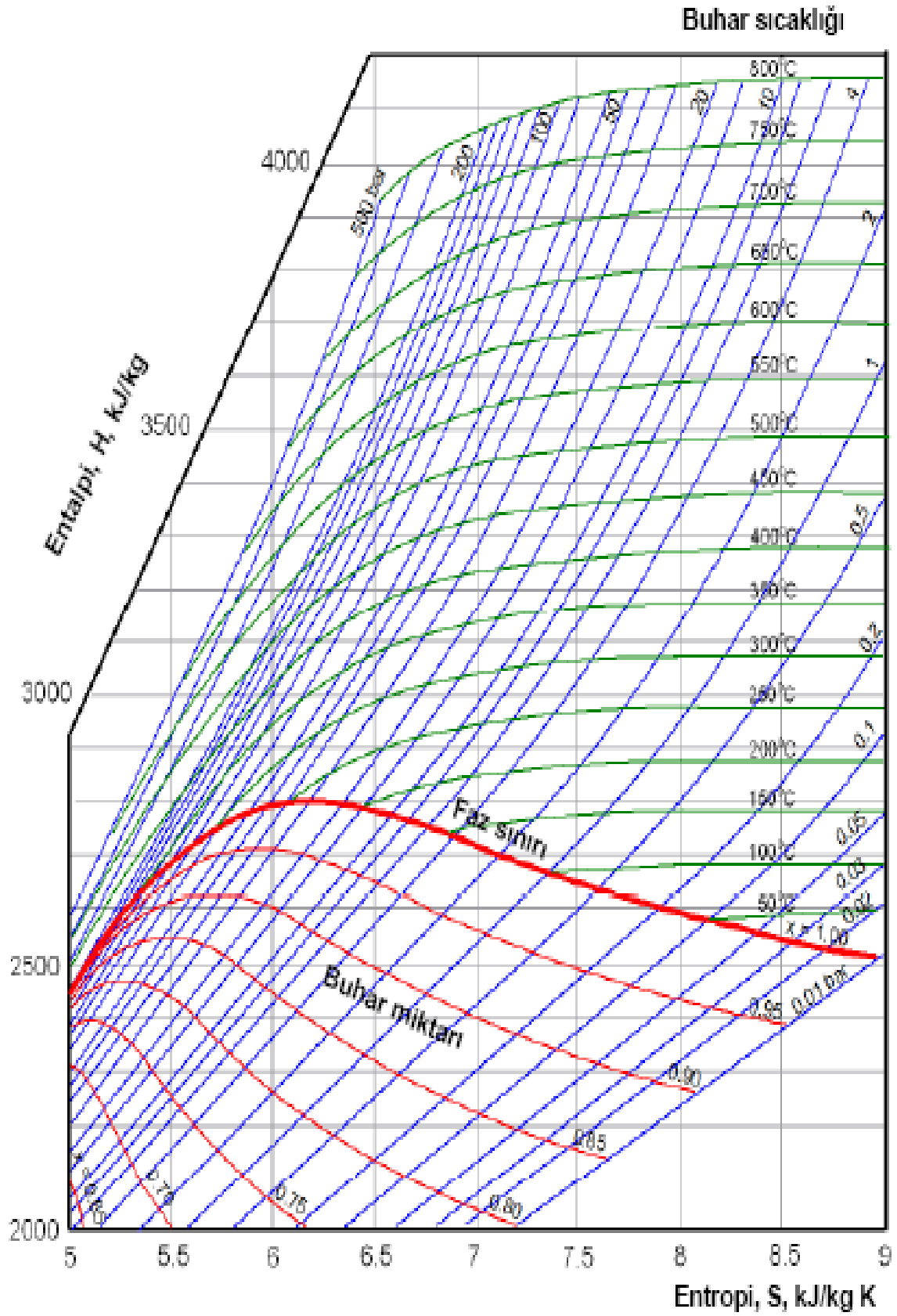
Ek 4: Doymuş su / buhar – basınç tablosu

Ek 5: Kızgın buhar tablosu

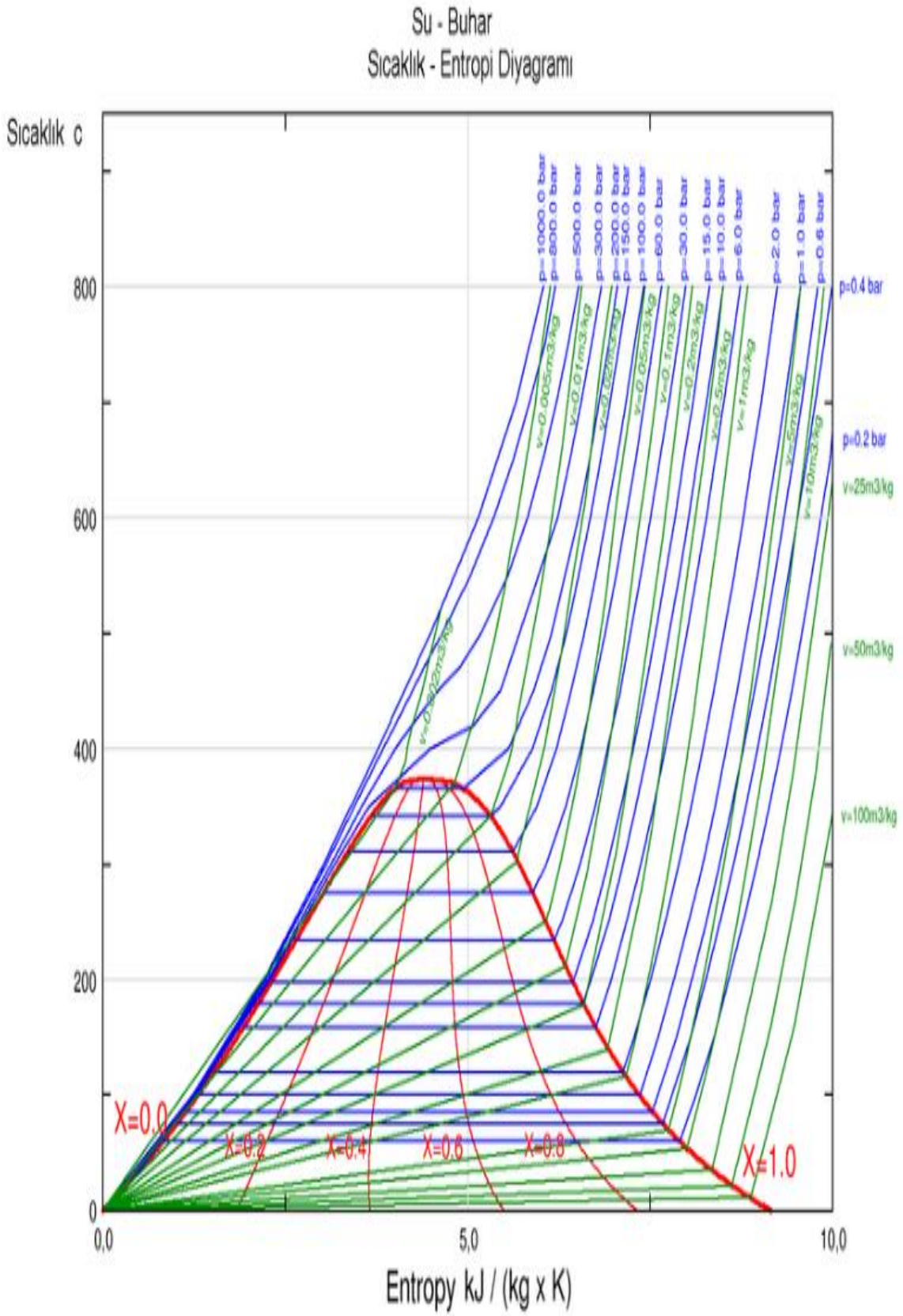
Ek 6: Boru çaplarına göre buhar kapasitesi (kg/h)



Ek 1: Su buharı için Entalpi - Entropi diyagramı



Ek 2: Su buharı için Sıcaklık - Entropi diyagramı



Ek 3: Doymuş su / buhar – sıcaklık tablosu

		Hacim, m ³ /kg		Enerji, kJ/kg		Enthalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/(kg-K)		
T, °C	P, MPa	v _f	v _g	u _f	u _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g
0.010	0.000611	0.001000	206.1	0.0	2375.3	0.0	2501.3	2501.3	0.0000	9.1571	9.1571
5	0.000872	0.001000	147.1	21.0	2382.2	21.0	2489.5	2510.5	0.0761	8.9505	9.0266
10	0.001228	0.001000	106.4	42.0	2389.2	42.0	2477.7	2519.7	0.1510	8.7506	8.9016
20	0.002338	0.001002	57.79	83.9	2402.9	83.9	2454.2	2538.1	0.2965	8.3715	8.6680
30	0.004246	0.001004	32.90	125.8	2416.6	125.8	2430.4	2556.2	0.4367	8.0174	8.4541
40	0.007383	0.001008	19.52	167.5	2430.1	167.5	2406.8	2574.3	0.5723	7.6855	8.2578
50	0.01235	0.001012	12.03	209.3	2443.5	209.3	2382.8	2592.1	0.7036	7.3735	8.0771
60	0.01994	0.001017	7.671	251.1	2456.6	251.1	2358.5	2609.6	0.8310	7.0794	7.9104
70	0.03119	0.001023	5.042	292.9	2469.5	293.0	2333.8	2626.8	0.9549	6.8012	7.7561
80	0.04739	0.001029	3.407	334.8	2482.2	334.9	2308.8	2643.7	1.0754	6.5376	7.6130
90	0.07013	0.001036	2.361	376.8	2494.5	376.9	2283.2	2660.1	1.1927	6.2872	7.4799
100	0.1013	0.001044	1.673	418.9	2506.5	419.0	2257.0	2676.0	1.3071	6.0486	7.3557
120	0.1985	0.001060	0.8919	503.5	2529.2	503.7	2202.6	2706.3	1.5280	5.6024	7.1304
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.7	2550.0	589.1	2144.8	2733.9	1.7395	5.1912	6.9307
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.9	2568.4	675.5	2082.6	2758.1	1.9431	4.8079	6.7510
180	1.002	0.001127	0.1941	762.1	2583.7	763.2	2015.0	2778.2	2.1400	4.4466	6.5866
200	1.554	0.001156	0.1274	850.6	2595.3	852.4	1940.8	2793.2	2.3313	4.1018	6.4331
220	2.318	0.001190	0.08620	940.9	2602.4	943.6	1858.5	2802.1	2.5183	3.7686	6.2869
240	3.344	0.001229	0.5977	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7021	3.4425	6.1446
260	4.688	0.001276	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.9	2.8844	3.1184	6.0028
280	6.411	0.001332	0.03017	1227.4	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0674	2.7905	5.8579
300	8.580	0.001404	0.02168	1332.0	2563.0	1344.0	1405.0	2749.0	3.2540	2.4513	5.7053
320	11.27	0.001499	0.01549	1444.6	2525.5	1461.4	1238.7	2700.1	3.4487	2.0883	5.5370
340	14.59	0.001638	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.1	3.6601	1.6765	5.3366
360	18.65	0.001892	0.006947	1725.2	2351.6	1760.5	720.7	2481.2	3.9154	1.1382	5.0536
374.136	22.088	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

Ek 4: Doymuş su / buhar – basınç tablosu

		Hacim, m ³ /kg		Enerji, kJ/kg		Enthalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/(kg-K)		
P, MPa	T, °C	v _f	v _g	u _f	u _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g
0.001	7.00	0.001000	129.2	29.3	2385.0	29.3	2484.9	2514.2	0.1059	8.8706	8.9765
0.002	17.50	0.001001	67.00	73.5	2399.5	73.5	2460.0	2533.5	0.2606	8.4639	8.7245
0.01	45.80	0.001010	14.67	191.8	2437.9	191.8	2392.8	2584.6	0.6491	7.5019	8.1510
0.02	60.10	0.001017	7.649	251.4	2456.7	251.4	2358.3	2609.7	0.8319	7.0774	7.9093
0.04	75.90	0.001026	3.993	317.5	2477.0	317.6	23191.0	2636.7	1.0260	6.6449	7.6709
0.06	85.90	0.001033	2.732	359.8	2489.6	359.8	2293.7	2653.5	1.1455	6.3873	7.5328
0.08	93.50	0.001039	2.087	391.6	2498.8	391.6	2274.1	2665.7	1.2331	6.2023	7.4354
0.10	99.60	0.001043	1.694	417.3	2506.1	417.4	2258.1	2675.5	1.3029	6.0573	7.3602
0.12	104.80	0.001047	1.428	439.2	2512.1	439.3	2244.2	2683.5	1.3611	5.9378	7.2989
0.16	113.30	0.001054	1.091	475.2	2521.8	475.3	2221.2	2696.5	1.4553	5.7472	7.2025
0.2	120.20	0.001061	0.8857	504.5	2529.5	504.7	2201.9	2706.6	1.5305	5.5975	7.1280
0.4	143.60	0.001084	0.4625	604.3	2553.6	604.7	2133.8	2738.5	1.7770	5.1197	6.8967
0.6	158.90	0.001101	0.3157	669.9	2567.4	670.6	2086.2	2756.8	1.9316	4.8293	6.7609
0.8	170.40	0.001115	0.2404	720.2	2576.8	721.1	2048.0	2769.1	2.0466	4.6170	6.6636
1.0	179.90	0.001127	0.1944	761.7	2583.6	762.8	2015.3	2778.1	2.1391	4.4482	6.5873
1.2	188.00	0.001139	0.1633	797.3	2588.8	798.6	1986.2	2784.8	2.2170	4.3072	6.5242
1.6	201.40	0.001159	0.1238	856.9	2596.0	858.8	1935.2	2794.0	2.3446	4.0780	6.4226
2	212.40	0.001177	0.09963	906.4	2600.3	908.8	1890.7	2799.5	2.4478	3.8939	6.3417
4	250.40	0.001252	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7970	3.2739	6.0709
6	275.60	0.001319	0.03244	1205.4	2589.7	1213.3	1571.0	2784.3	3.0273	2.8627	5.8900
8	295.10	0.001384	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.4	2758.0	3.2075	2.5365	5.7440
12	324.80	0.001527	0.01426	1472.9	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4970	1.9963	5.4933
16	347.40	0.001711	0.009307	1622.7	2431.8	1650.0	930.7	2580.7	3.7468	1.4996	5.2464
20	365.80	0.002036	0.005836	1785.6	2293.2	1826.3	583.7	2410.0	4.0146	0.9135	4.9281
22.088	374.136	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

Ek 5: Kızgın buhar tablosu

°C	P = 0.010 MPa				P = 0.050 MPa				P = 0.10 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764

°C	P = 0.20 MPa				P = 0.40 MPa				P = 0.60 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
200	1.080	2654.4	2870.5	7.5066	0.5342	2646.8	2860.5	7.1706	0.3520	2638.9	2850.1	6.9665
300	1.316	2808.6	3071.8	7.8926	0.6548	2804.8	3066.8	7.5662	0.4344	2801.0	3061.6	7.3724
400	1.549	2966.7	3276.6	8.2218	0.7726	2964.4	3273.4	7.8985	0.5137	2962.1	3270.3	7.7079
500	1.781	3130.8	3487.1	8.5133	0.8893	3129.2	3484.9	8.1913	0.5920	3127.6	3482.8	8.0021
600	2.013	3301.4	3704.0	8.7770	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558	0.6697	3299.1	3700.9	8.2674
700	2.244	3478.8	3927.6	9.0194	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987	0.7472	3477.0	3925.3	8.5107
800	2.475	3663.1	4158.2	9.2449	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244	0.8245	3661.8	4156.5	8.7367
900	2.706	3854.5	4395.8	9.4566	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362	0.9017	3853.4	4394.4	8.9486
1000	2.937	4052.5	4640.0	9.6563	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360	0.9788	4051.5	4638.8	9.1485
1100	3.168	4257.0	4890.7	9.8458	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381

°C	P = 0.80 MPa				P = 1.00 MPa				P = 2.00 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
200	0.2608	2630.6	2839.3	6.8158	0.2060	2621.9	2827.9	6.6940	-	-	-	-
300	0.3241	2797.2	3056.5	7.2328	0.2579	2793.2	3051.2	7.1229	0.1255	2772.6	3023.5	6.7664
400	0.3843	2959.7	3267.1	7.5716	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271
500	0.4433	3126.0	3480.6	7.8673	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317
600	0.5018	3297.9	3699.4	8.1333	0.4011	3296.8	3697.9	8.0290	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024
700	0.5601	3476.2	3924.2	8.3770	0.4478	3475.3	3923.1	8.2731	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487
800	0.6181	3661.1	4155.6	8.6033	0.4943	3660.4	4154.7	8.4996	0.2467	3657.0	4150.3	8.1765
900	0.6761	3852.8	4393.7	8.8153	0.5407	3852.2	4392.9	8.7118	0.2700	3849.3	4389.4	8.3895
1000	0.7340	4051.0	4638.2	9.0153	0.5871	4050.5	4637.6	8.9119	0.2933	4048.0	4634.6	8.5901
1100	0.7919	4255.6	4889.1	9.2050	0.6335	4255.1	4888.6	9.1017	0.3166	4252.7	4885.9	8.7800

Ek 5: Kızgın buhar tablosu (devam)

°C	P = 3.0 MPa				P = 4.0 MPa				P = 5.0 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
300	0.08114	2750.1	2993.5	6.5390	0.05884	2725.3	2960.7	6.3615	0.04532	2698.0	2924.5	6.2084
400	0.09936	2932.8	3230.9	6.9212	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.05781	2906.6	3195.7	6.6459
500	0.11619	3108.0	3456.5	7.2338	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.06857	3091.0	3433.8	6.9759
600	0.13243	3285.0	3682.3	7.5085	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.07869	3273.0	3666.5	7.2589
700	0.14838	3466.5	3911.7	7.7571	0.11095	3462.1	3905.9	7.6198	0.08849	3457.6	3900.1	7.5122
800	0.16414	3653.5	4145.9	7.9862	0.12287	3650.0	4141.5	7.8502	0.09811	3646.6	4137.1	7.7440
900	0.17980	3846.5	4385.9	8.1999	0.13469	3843.6	4382.3	8.0647	0.10762	3840.7	4378.8	7.9593
1000	0.19541	4045.4	4631.6	8.4009	0.14645	4042.9	4628.7	8.2662	0.11707	4040.4	4625.7	8.1612
1100	0.21098	4250.3	4883.3	8.5912	0.15817	4248.0	4880.6	8.4567	0.12648	4245.6	4878.0	8.3520
1200	0.22652	4460.9	5140.5	8.7720	0.16987	4458.6	5138.1	8.6376	0.13587	4456.3	5135.7	8.5331

°C	P = 6.0 MPa				P = 8.0 MPa				P = 10.0 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
300	0.03616	2667.2	2884.2	6.0674	0.02426	2590.9	2785.0	5.7906	-	-	-	-
400	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
500	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803	0.04175	3064.3	3398.3	6.7240	0.03279	3045.8	3373.7	6.5966
600	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
700	0.07352	3453.1	3894.2	7.4234	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
800	0.08160	3643.1	4132.7	7.6566	0.06097	3636.0	4123.8	7.5173	0.04859	3628.9	4114.8	7.4077
900	0.08958	3837.8	4375.3	7.8727	0.06702	3832.1	4368.3	7.7351	0.05349	3826.3	4361.2	7.6272
1000	0.09749	4037.8	4622.7	8.0751	0.07301	4032.8	4616.9	7.9384	0.05832	4027.8	4611.0	7.8315
1100	0.10536	4243.3	4875.4	8.2661	0.07896	4238.6	4870.3	8.1300	0.06312	4234.0	4865.1	8.0237
1200	0.11321	4454.0	5133.3	8.4474	0.08489	4449.5	5128.5	8.3115	0.06789	4444.9	5123.8	8.2055

°C	P = 15.0 MPa				P = 20.0 MPa				P = 40.0 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
400	0.01564	2740.7	2975.5	5.8811	0.00994	2619.3	2818.1	5.5540	0.001908	1854.6	1930.9	4.1135
500	0.02080	2996.6	3308.6	6.3443	0.01477	2942.9	3238.2	6.1401	0.005622	2678.4	2903.3	5.4700
600	0.02491	3208.6	3582.3	6.6776	0.01818	3174.0	3537.6	6.5048	0.008094	3022.6	3346.4	6.0114
700	0.02861	3410.9	3840.1	6.9572	0.02113	3386.4	3809.0	6.7993	0.009941	3283.6	3681.2	6.3750
800	0.03210	3610.9	4092.4	7.2040	0.02385	3592.7	4069.7	7.0544	0.011523	3517.8	3978.7	6.6662
900	0.03546	3811.9	4343.8	7.4279	0.02645	3797.5	4326.4	7.2830	0.012962	3739.4	4257.9	6.9150
1000	0.03875	4015.4	4596.6	7.6348	0.02897	4003.1	4582.5	7.4925	0.014324	3954.6	4527.6	7.1356
1100	0.04200	4222.6	4852.6	7.8283	0.03145	4211.3	4840.2	7.6874	0.015642	4167.4	4793.1	7.3364
1200	0.04523	4433.8	5112.3	8.0108	0.03391	4422.8	5101.0	7.8707	0.016940	4380.1	5057.7	7.5224

Ek 6: Boru çaplarına göre buhar kapasitesi (kg/h)

Basınç bar	Hız m/sn	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
0,4	15	7	15	24	37	62	99	145	213	394	648	917	1606	2590	3678
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1457	2806	4101	5935
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303	4318	6909	9500
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1006	1708	2791	3852
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1575	2816	4629	6204
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1108	1712	2417	4532	7251	10323
1,0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	120	1864	2814	4045
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660	3099	4869	6751
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500	4815	7333	10370
2,0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1125	1580	2814	4545	6277
	25	19	43	70	115	162	295	428	656	1215	1755	2520	4815	7425	10575
	40	30	64	115	178	275	475	745	1010	1895	2925	4175	7578	11997	16796
3,0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1505	2040	3983	6217	8743
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440	6779	10269	14316
	40	41	87	157	250	357	595	1025	1460	2540	4050	5940	10476	16470	22950
4,0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1166	1685	2460	4618	7121	10358
	25	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225	7866	12225	17304
	40	49	116	197	295	456	796	1247	1825	3120	4940	7050	12661	19663	27816
5,0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1295	2105	2835	5548	8586	11947
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150	8865	12468	20051
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870	13760	23205	32244
6,0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1555	2525	3400	6654	10297	14328
	25	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175	10629	17108	24042
	40	71	157	270	405	595	1025	1620	2270	4210	6475	9445	16515	27849	38697
8,0	15	32	70	126	190	285	475	800	1125	1990	3025	4540	8042	12625	17728
	25	54	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120	13140	21600	33210
	40	84	192	327	510	730	1370	2065	3120	5135	8395	12470	21247	33669	46858
10,0	15	41	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860	9994	16172	22713
	25	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995	15966	25860	35890
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14390	26621	41011	57560
14,0	15	50	121	205	310	465	810	1270	1870	3220	5215	7390	12921	20538	29016
	25	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560	21720	34139	47128
	40	126	305	555	825	1210	2195	3425	4735	8510	13050	18630	35548	54883	76534

ÖZGEÇMİŞ



Adı - Soyadı: Ersin ARSLAN
Doğum Yeri - Tarihi: Bulanık – 19.09.1986
Lisans: Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü (2005-2010)
Telefon: 0 (505) 206 60 95
E-mail: m.ersinarслан@hotmail.com
Adres: Rasimpaşa Mahallesi Elmalıçeşme Sokak. No:31/5
Kadıköy/İSTANBUL