

T.C
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEKSTİL BOYAHANELERİ İÇİN DEVRİDAİM KONTROLLÜ BUHAR
EJEKTÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ**

HACI HASAN ÇETİNTAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. SERDAR OSMAN YILMAZ

TEKİRDAĞ-2017

Her hakkı saklıdır.

Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ danışmanlığında, Hacı Hasan ÇETİNTAŞ tarafından hazırlanan “Tekstil boyahaneleri için devridaim kontrollü buhar ejektörü geliştirilmesi.” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Serdar Osman YILMAZ (Danışman)

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. İ. Savaş DALMIŞ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKSTİL BOYAHANELERİ İÇİN DEVRİDAİM KONTROLLÜ BUHAR EJEKTÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

Hacı Hasan ÇETİNTAŞ

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. SERDAR OSMAN YILMAZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, tekstil boyahaneleri için devridaim kontrollü buhar ejektörü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ejektörün çalışma prensibi, termodinamik analizi ve sanayideki uygulama alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Termokompresörler, düşük basınçlı buharın yüksek basınçlı buhar kullanılarak sıkıştırılmasını sağlayan ve bunu yapmak için enerji dönüşüm kanunları ile çalışan jet akışkan cihazlarıdır. Birçok endüstriyel sanayi kuruluşu düşük basınçtaki buharı, basıncının düşük olması nedeni ile tekrardan prosese yönlendirememekte, dolayısıyla atmosfere atmaktadırlar. Fakat termokompresör teknolojisi ile buharın basıncı ve sıcaklığı kolaylıkla yükseltilebilir ve böylece önceden atmosfere atılan enerjinin tamamı geri kazanılabilir. Buhar, endüstriyel sanayi kuruluşlarının tamamına yakınında, prosesin temel ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Buhar, yaygın olarak, hızla azalan fosil kaynaklı yakıtlar kullanılarak elde edilmektedir. Fosil yakıtların görünür gelecekte biteceğine ilişkin senaryolar ve global güvenlik riskleri dahilinde her geçen gün artan yakıt fiyatları nedeni ile buharın üretim maliyeti de hızla artmaktadır. Bu nedenle endüstriyel sanayi kuruluşları, buharın verimli üretimi ve doğru kullanımı konusuna odaklanarak maliyetlerini aşağıya çekmeye çalışmaktadırlar. Buhar tüketimini azaltmanın en önemli yollarından bir tanesi ise düşük basınçlı flaş buharın kullanımının artırılmasıdır. Bu noktada termokompresörler, düşük basınçtaki buharı geri kazanmak için verimli çözüm sunmaktadırlar. Yapılan bu çalışmada termokompresör kullanılarak sistemde iyileştirme yapılmış ve atmosfere atılan flaş buhar geri kazanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Termokompresör, Ejektör, Buhar, Enerji.

2017, 64 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DEVELOPMENT OF CONTROLLED STEAM INJECTORS FOR TEXTILE PAINTS

Hacı Hasan ÇETİNTAŞ

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. SERDAR OSMAN YILMAZ

In this study, which was prepared as Master Thesis of Mechanical Engineering Department, it was aimed to develop circulation controlled steam ejector for textile dyeing. Information about the working principle of the Ejector, thermodynamic analysis and application areas in the industry. Thermocompressors are jet fluid devices that operate by using energy conversion laws to compress low pressure steam using high pressure steam. Many industrial establishments are not able to redirect processes from low pressure steam to low pressure, so they are atmospheric. But with thermocompressor technology, the pressure and temperature of the vapor can be easily increased, so that all of the energy previously thrown into the atmosphere can be recovered. Steam is used as the main heat source for the process near all of the industrial establishments. Steam is commonly obtained using rapidly decreasing fossil fuels. The cost of production of steam is also rapidly increasing due to the ever increasing fuel prices within the scope of global security risks and the scenarios of fossil fuels being visible in the future. For this reason, industrial establishments are trying to reduce their costs by focusing on efficient production and proper use of steam. One of the most important ways to reduce steam consumption is to increase the use of low-pressure flash steam. At this point, thermocompressors offer an efficient solution for recovering low pressure steam. In this work, the system was improved by using a thermocompressor and flash steam recovered at the atmosphere was recovered to save energy.

Keywords: Thermocompressor, Ejector, Steam, Energy

2017, 64 pages

ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasında, beni yönlendiren başta danışmanım Sayın Prof. Dr. SERDAR OSMAN YILMAZ'a, Makine Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Kasım, 2017

Hacı Hasan ÇETİNTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
ÇİZELGE DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	5
3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)	5
3.2.Ejektördeki Akışın Modellenmesi	6
3.3.Fiziksel Model	7
3.4. Termokompresör	8
3.4.1. Termokompresörün termodinamiği ve tasarım kriterleri	9
3.4.2. Termokompresörlerin kullanım alanları	14
3.5. Ejektör	16
3.5.1. Yakınsak-ıraksak lüle (ses üstü lülesi)	16
3.5.2.Emme odası	16
3.5.3.Karışma odası	16
3.5.4.Difüzör.....	17
3.6.Ejektör Çalışma Prensipleri	18
3.7.Ejektörlerin Kullanım Alanları	18
3.8.Buhar Oluşumu.....	21
3.8.1. Temel buhar kavramları.....	22
3.8.2.Buhar Kullanma Nedenleri	23
3.8.3.Buhar Kullanım Alanları	23
3.9.Buhar Kazanları	24
3.9.1. Buhar kazanlarının sınıflandırılması	24
3.9.2. Alev borulu kazanlar	25
3.9.3. Su borulu kazanlar	27
3.10.Brülör.....	28
3.11. Buhar Kazanı Kontrol Ekipmanları	29
3.12. Tekstil Tesislerinde Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulaması	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	42
4.1. Buharlı Sistemlerde Enerji Analizleri.....	42
4.1.1. Flaş Buhar Analizi	42
4.1.2. Flaş buhar ve kazan blöf geri kazanımı	44
4.2. Termokompresör Uygulamasından Önceki Mevcut Durum	45
4.3. Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulanmasından Sonraki Durum	47
4.4. CFD Analizi.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
6. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56
EKLER	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P	:Atmosferik basınç
P_m	:Güdücü buhar basıncı
P_s	:Emme buhar basıncı
P_d	:Deşarj buhar basıncı
M_m	:Güdücü buhar akış hızı
M_s	:Emme buhar debisi
M_d	:Toplamdeşarj buhar debisi
E	:Genişleme oranı
C	:Sıkıştırma oranı
R	:Tutunma oranı
A	:Alan – m^2
C%	:Kondens dönüş oranı
cp	: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 – $^{\circ}dH$ – Alman Sertliği
H_u	:Yakıt alt ısı değeri – kWh/Nm^3
k	:Konveksiyon ısı transfer katsayısı – $kJ/(m^2.^{\circ}C)$
L	:Uzunluk - m
m	:Kütle - kg
\dot{m}	:Kütleli debi – kg/h
P	:Basınç - bar
Q	:Isı - kJ
T	:Sıcaklık - $^{\circ}C$
u	:Hız – m/s
V	:Hacim – m^3
η	:Verim - %
γ	:Kazan sıcaklığındaki havanın yoğunluğu – kg/m^3
μ	:Sürtünme katsayısı
ρ	:Yoğunluk – kg/m^3
σ	:Planck katsayısı – $kJ/(m^2.^{\circ}C^4)$
v	:Özgül hacim – m^3/kg
CFD	:Hesaplamaalı Akışkanlar Dinamiği

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.CFD Akış şeması.....	6
Şekil 2.Fiziksel ejektör modeli	7
Şekil 3.Termokompresör	8
Şekil 4.Termokompresöre tipik bir örnek	9
Şekil 5.Ejektör Boyunca Hız ve Basınç Profili	10
Şekil 6.a) Entalpi-Entropi Diyagramı (İzantropik Sıkıştırma ve Genişleme) b) Entalpi-Entropi Diyagramı	10
Şekil 7.Endüstriyel işletmede örnek termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması	15
Şekil 8.Sesüstü lülesi	17
Şekil 9.Buhar tahrikli ejektör (Robert, 1993)	19
Şekil 10.Buhar oluşum evreleri	21
Şekil 11.Üç geçişli alev borulu kazan	26
Şekil 12.Alev-duman borulu buhar kazanı ve bölümleri.....	27
Şekil 13.Su borulu kazan	28
Şekil 14.Brülör	29
Şekil 15.TRD 604'e göre (72 Saat) gözlem derecesinden bağımsız buhar kazanı donanımı ..	33
Şekil 16.Tekstil tesislerinde buhar kazanı uygulaması şematik gösterimi	36
Şekil 17.Ejektör uygulamalı buhar kazanı şematik görünüşü	37
Şekil 18.Buhar ejektörü şematik görünüşü.....	37
Şekil 19.Buhar ejektörü giriş ve çıkış basınçları arasındaki değişim grafiği	38
Şekil 20.Buhar kazanı verimini artırma sistemi	39
Şekil 21.Kondens flaş buhar oranı.....	43
Şekil 22.Tekstil fabrikasındaki mevcut durumu.....	45
Şekil 23.Tekstil fabrikasında termokompresör ve flaş buhar tankı uygulanmış durum.....	48
Şekil 24.Endüstriyel tesise ait görseller	50
Şekil 25.Termokompresör sıcaklık dağılımı	51
Şekil 26.Termokompresör hız dağılımı	51
Şekil 27.Termokompresör CFD grafik analizleri	52

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.Fiziksel ejektör boyutları (mm).....	7
Çizelge 2.Termokompresör Boyutlandırma Tablosu	13
Çizelge 3.Düz çelik boruların ısı emiş miktarı (W/m)	47

1. GİRİŞ

Endüstrinin pek çok alanında proseslerin çalışması için ihtiyaç duyulan enerjiyi elde etmek için yaygın olarak buhar enerjisi kullanılmaktadır. Buhar enerjisi kullanım kolaylığı, riskinin az oluşu, nispeten ucuz ve yüksek verimli olmasından dolayı tercih edilen enerji türüdür. Günümüzde; endüstride, elektrik üretiminde, ısıtmada ve pek çok alanda buhar kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının yaygınlığına göz önüne alındığında buhar üretiminin, buhar kullanan endüstriyel tesislerin en önemli enerji tüketim kalemleri arasında yer aldığını görmek mümkündür. Bu tüketim değerlerine bağlı olarak buhar üretimi, maliyet analizi ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi gereken alanlardan biridir.

Buhar tesisatlarında pek çok ekipman kullanılmaktadır. Bunlardan biride termokompresördür. Buhar tesisatında termokompresörün görevi, düşük basınçtaki buharın daha yüksek basınca sıkıştırılmasını sağlayarak sistem içerisine geri kazanılabilmesini sağlamaktır. Yapmış olduğu bu görev ile termokompresör atıl düşük basınçlı buharı sisteme geri kazandırılmış olur hem de sistemin farklı proseslerinde istenen basınçtaki buhar ihtiyacını karşılamış olur.

Enerji üretim ve dağıtım sistemlerinde termokompresörlerin kullanımını etkileyen termodinamik ve mekanik koşullar söz konusudur. Bu koşullar; çıkış kesitindeki buhar basıncı ve debisi, emme ve yüksek basınçlı buhar giriş kesitindeki basıncı ve debisidir. Bu koşulların sağlanması halinde termokompresör sistemi ile buhar sistemlerinde yüksek miktarda enerji geri kazanmak mümkündür.

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 sağlarlar.

Tekstil yıkama ve boyama işletmelerinde Açma, Haşıl Sökme, Kasar, Mercerize, Boyama, Apre ve Buharlama işlemleri ardışık olarak uygulanır. Bu işlemlerin uygulanması esnasında buhar en önemli enerji kaynağı veya işlem elemanı olarak kullanılmaktadır. Buhar üretimi doğal gaz kazanları maharetiyle gerçekleştirilmektedir. Tekirdağ ili içinde 750 civarında boya terbiye işlemi yapan tekstil firması bulunmaktadır. Bu firmaların en küçüğü günde 1000 ton su kullanmaktadır. Bu suyun ısıtılması için günlük 280 000 m³/gün doğal gaz tüketilmektedir. Buhar ejektörü uygulamaları buhar tüketiminde %25-35 oranında tasarruf sağlayabilen sistemlerdir. Ülkemizde buhar ejektörü imalatı yoktur. Bu sistemlerin tanınmaması, Avrupalı firmaların proje odaklı çalışmaları ve dolayısıyla maliyetlerin çok yüksek olması sebebiyle ülkemizde ciddi bir kayıp söz konusudur. Bu çalışma tekstil sektöründe artan maliyetleri azaltmada önemli rol oynayacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Eames ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada, buhar püskürtmeli buzdolabının teorik ve deneysel çalışmasının sonuçlarını araştırmışlardır. Küçük kapasiteli bir buhar püskürtmeli buzdolabı kazan sıcaklıkları 120-140 °C arasında test edilmiştir. Deneysel verilerin teorik değerlerin % 85'inde olduğunu bulunmuşlardır. Deneysel, ejektörün karıştırma odasındaki ikincil akışın tıkanmasının sistem performansında önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Ejektör kritik akış koşulunda çalıştırıldığında Maksimum COP'nin elde edildiğini belirtmişlerdir. Kapalı sistem tasarımının performans özelliklerinden bahsetmişlerdir.

Hisham ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, buhar püskürtmeli ejektörlerin tasarımı ve derecelendirilmesi için yarı ampirik modeller geliştirilmişlerdir. Motifli buhar ve sıkıştırılmış buhar, model dolaşım oranını genleşme oranına ve sürüklenen buharın basınçlarına bağlı olarak verdiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca, buharlaştırıcı ve kondenser basınçlarının bir fonksiyonu ve alan oranlarının, dolaşım oranı ve akış basınçlarının bir fonksiyonu olarak meme çıkışında motif buhar basıncı için korelasyonlar geliştirilmişlerdir. Bu korelasyonlar püskürtücünün yükünü tanımlayan ve püskürtücünün buhar, buharlaştırıcı ve kondansatörün basınçlarını girme oranını, meme çıkışındaki motifli buhar basıncını ve difüzörün ve püskürtücünün kesit alanlarını veren ejektörün tam tasarımını sağladığını belirtmişlerdir. Geliştirilen korelasyonlar, üretici tasarım verileri ve deneysel verileri içeren geniş bir veri tabanına dayanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Hazırladıkları modelde, tıkanık akış için 1.8'in üstündeki sıkıştırma oranları ile korelasyonlar içermektedir. Buna ek olarak, sıkıştırma oranlarının 1.8'in altında olan tıkanık olmayan akış için bir korelasyon sağlanmıştır. Tıkanma katsayısının (R^2) değeri sırasıyla, boğulmuş ve tıkanık olmayan akış korelasyonları için 0.85 ve 0.78'dir. Nozul çıkışındaki motif buhar basıncı ve alan oranları ile ilgili korelasyonlar için, hepsinin 0.99'dan daha yüksek R^2 değerlerinin var olduğunu belirtmişlerdir.

Huang ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, ejektörün kritik modda çalışma performansını tahmin etmek için analitik bir model oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu analitik modeli doğrulamak için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, oluşturulan analitik modelin, ejektör performansını doğru bir şekilde tahmin ettiğini doğrulanmışlardır.

Myoung Kuk ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada termokompresörlerin tuzdan arındırma sisteminde çok etkili bir buhar püskürtücüsü olduğundan bahsetmişlerdir. Ejektör performansını arttırmanın yolunun ejektör içindeki akış mekanizmasını anlamaktan geçtiğini vurgulamışlardır. Bununla ilgili olarak hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) yöntemi ile bir araştırma yapmışlardır. Çalışma basıncının ve ejektör geometrisinin akış yapısı ve performansı üzerinde yoğunlaşmışlardır. Almış oldukları CFD analizi sonuçlarını yaptıkları deneysel çalışmalar ile doğrulamışlardır.

Navid ve Masoud (2013), yaptıkları çalışmada, termokompresörlerin tuzdan arındırma sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olduğundan bahsetmişlerdir. Termokompresörlerin tasarımını iyileştirmek için bu tür cihazlardaki akış alanını incelemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmayı iki bölümde ele almışlardır. Birinci bölümün temel amacı geleneksel bir termokompresörün içindeki aksel simetrik akış modelini araştırmak için sayısal bir yöntem hazırlamak ve doğrulamaktır. Performans parametrelerini analiz etmek için üç boyutlu varsayımlara dayanan sayısal iki model uygulamışlardır. Oluşturulan her iki modelin sonuçlarını, endüstriyel bir tuzdan arındırma tesisinden elde edilen deneysel ölçümlerle karşılaştırmışlardır. Aksel simetrik modelin üç boyutlu modele benzer sonuçlar verebileceği ve her iki sonucun da deneysel verilerle kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Sayısal yöntemin doğrulanması, yaptıkları çalışmanın ikinci bölümünde yeni bir tasarım metodolojisini ortaya koymalarını sağlamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği veya CFD; bilgisayara dayalı benzetim sayesinde akışkan akışı, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi birleşik olayları kapsayan sistemlerin analiz edilmesi yöntemidir. Bu yöntem; gerçekte olması muhtemel olayları önceden bilgisayar ortamında modelleyerek simüle etme ve yorum yapabilme olanağı sağlanmaktadır.

CFD tekniğinin kullanıldığı bazı alanlar şunlardır:

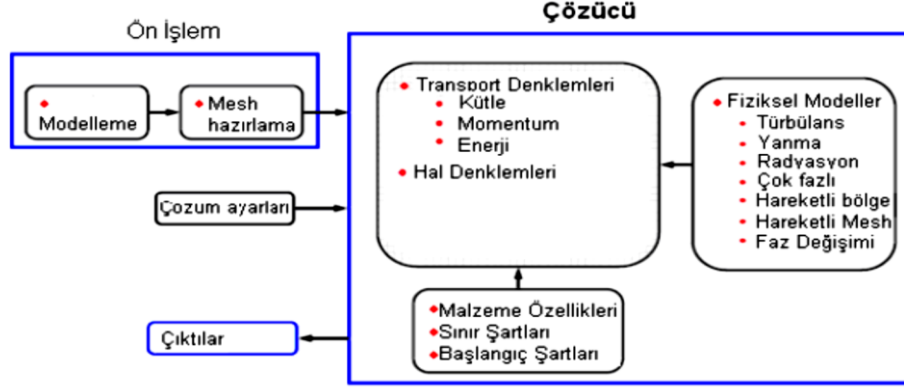
- Uçaklar ve hava araçlarının aerodinamiği: kaldırma direnç
- Gemilerin hidrodinamiği
- Güç santrali: İçten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerinde yanma
- Turbo makinalar: dönen pasajlar ve difüzörler vb. yerlerin iç kısımlarındaki akışlar
- Elektrik ve elektronik mühendisliği: mikro devreleri kapsayan donanımın soğutulması
- Kimyasal proses mühendisliği: karışma ve ayırma, polimer döküm
- Binaların dış ve iç çevresi: rüzgâr yükü ve ısıtma/havalandırma
- Denizcilik mühendisliği: açık deniz yapıları üzerindeki yükler
- Çevre mühendisliği: çevre kirliliğine yol açan maddelerin ve atık suyun dağılımı
- Hidroloji ve oşinografi: nehirler, onların denize aktığı yerler, okyanuslardaki akışlar
- Meteoroloji: hava tahmini
- Biyomedikal mühendislik: atar ve toplardamarlardaki kan akışı

Günümüzde CFD mühendisler ve bilim adamları için, akış çözümlerinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Bu popülerliğin altında CFD'nin sağladığı bir takım avantaj yatmaktadır.

CFD'nin öne çıkan avantajlarından bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- CFD yazılımlarıyla yapılan sayısal simülasyon sayesinde, sonuçlar ve sanal deney ortamı simülasyondan sonra dahi elinizin altında olur.
- Klasik deneylerde kullanabileceğiniz ölçüm cihazları ve sensörler sınırlıdır. Oysa bir CFD analizinde, kullandığımız sayısal ağ elemanı kadar (çoğunlukla milyonlarca) ölçüm elemanınız vardır ve veri dağılımlarını, deneylerdeki gibi sadece ayrık veriler halinde değil, gradyanlar halinde geniş bir alanda görme imkanı sağlar.
- CFD, akış özelliklerini, akışı bozmadan incelemenize olanak tanır.
- CFD ile gözlemlenmesi tehlikeli veya ulaşılamaz bölgelerdeki akışkan davranışlarını incelenebilir.

- CFD bir anlamda, bilgisayar üzerindeki esnek deney laboratuvarıdır. Tasarımcı ve analizcilere sanal prototipler üzerinde deney yapma imkanı sağlar.
- CFD az enerji ve insan gücü gerektirir.



Şekil 1. CFD Akış şeması

3.2.Ejektördeki Akışın Modellenmesi

Bu çalışmada hesaplamalar için Solidworks Flow Simulation CFD programı kullanılmıştır. Akış sıkıştırılabilir, daimi akış çözümlemesi için süreklilik, momentum ve seçilen türbülans modeline ait transport denklemleri kullanıldı ve bu denklemler çözülürken aşağıdaki kabuller yapıldı.

- Akış sıkıştırılabilir ve daimi,
- Akışkan ile çevresi arasındaki ısı transferi yok,
- Yüzey sürtünmesi sıfır,
- Kaldırma kuvvetinin etkisi ihmal edilebilir.

Kütlenin korunumu denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \mu_i) = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \mu_i \mu_j) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

Enerji denklemi

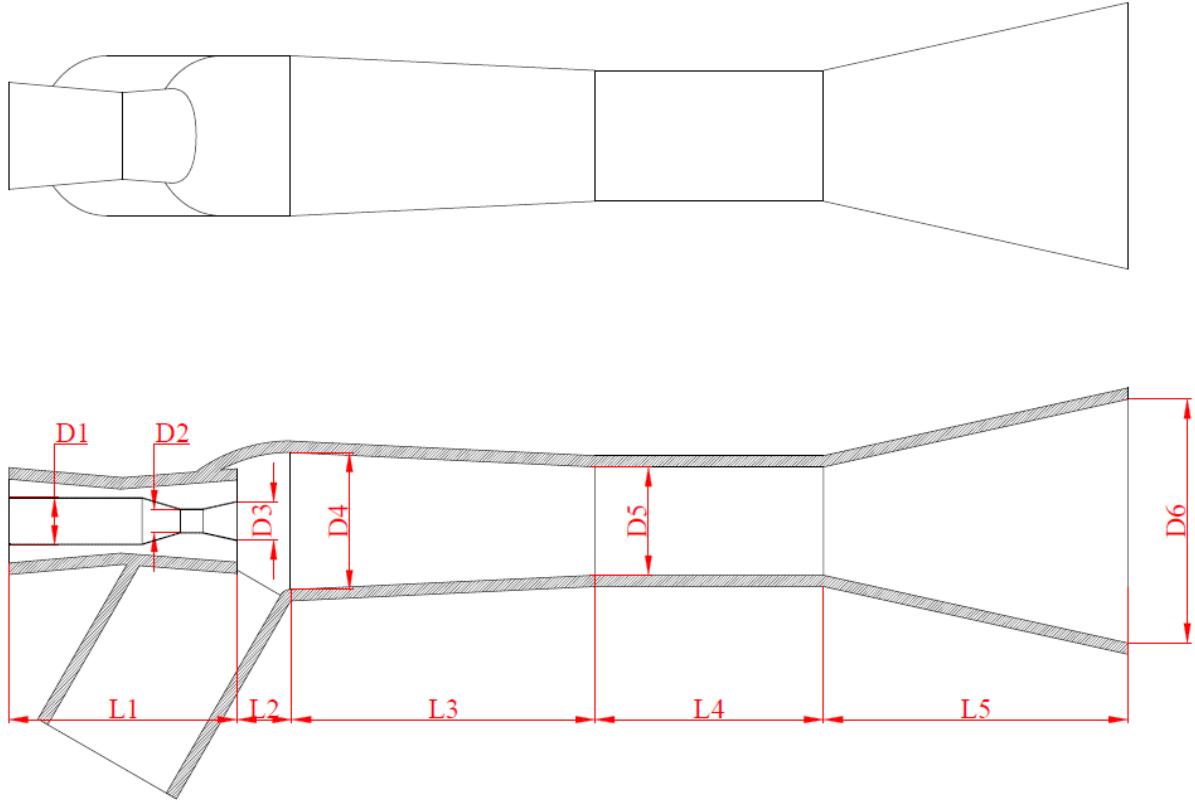
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\mu_i (\rho E + P)) = \vec{\nabla} \cdot \left(\alpha_{eff} \frac{\alpha T}{\partial x_i} \right) + \vec{\nabla} \cdot ((\mu_j) \tau_{ij}) \quad (3)$$

Burada

$$\tau_{ij} = \mu_{eff} \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \mu_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial \mu_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (4)$$

3.3.Fiziksel Model

Bu çalışmada kullanılan ejektöre ait fiziksel model Şekil 2’de şematik olarak, Çizelge 1’de ise ana ölçüleri ile gösterilmiştir. Solidworks flow simulation modülü kullanılarak buhar akışı modellenmiş ve akış analizleri sanal ortamda simüle edilmiştir. Sayısal hesapların doğruluk hassasiyetini arttırmak amacı ile mesh kalitesi arttırılmıştır.



Şekil 2. Fiziksel ejektör modeli

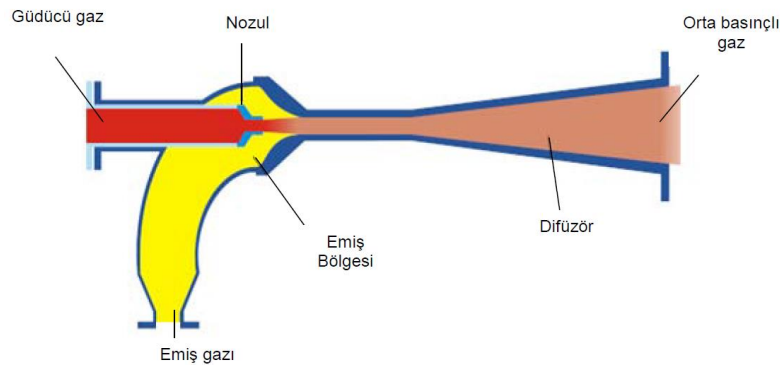
Çizelge 1. Fiziksel ejektör boyutları (mm)

D1	D2	D3	D4	D5	D6	L1	L2	L3	L4	L5
60	30	50	180	142	320	300	70	400	300	400

3.4. Termokompresör

Termokompresörler, ejektör sistemlerinin bir üyesidir, aynı fiziksel ve termodinamik esaslara göre çalışmaktadır. Ejektörler, düşük basınçlı akışkanı akışa katmak için yüksek basınçlı akışkan jetinden faydalanan, bu iki akışkanı karıştıran ve düşük basınçlı akışkandan daha yüksek basınçta püskürten cihazlardır. Söz konusu akışkanlar su buharı, hava, gaz gibi çok çeşitli türlerde olabilir (**Ünlü ve ark.2013**).

Ejektörler 3 basit bölümden oluşurlar; nozul, emiş bölgesi ve difüzör. Nozul, yüksek basınç ve düşük hızda giren akışkan basıncının düşürülmesini ve yüksek hız değerlerine çıkmasını sağlar, böylece akışkanın kinetik enerjisi artırılır. Emiş bölgesinde, düşük basınçlı akışkan alınarak yüksek basınçlı akışkan ile nozul çıkışında karıştırılması sağlanır. Difüzör ise, kinetik enerjinin basınç enerjisine dönüştürüldüğü bölümdür. Termokompresör uygulamalarında ise, her iki akışkan da buhardır. Yüksek basınçlı buharın sahip olduğu enerji, düşük basınçlı buhara transfer edilerek orta basınçlı buhar elde edilmiş olur. Bu cihazlar basit yapılı, kurulumu kolay, yatırım maliyetleri düşük, hareketli parçası bulunmayan dolayısıyla bakım ve işletme masrafları düşük ve uzun ömürlü sistemlerdir. İşletme içerisinde bulunan yüksek performansa sahip bir termokompresör, düşük basınçlı buharın sisteme geri kazandırılmasını ve bu sayede enerji, su ve suyu şartlandırmak için kullanılan kimyasal israfını önleyerek enerji ve parasal tasarrufu olanaklı kılar (**Ünlü ve ark.2013**).



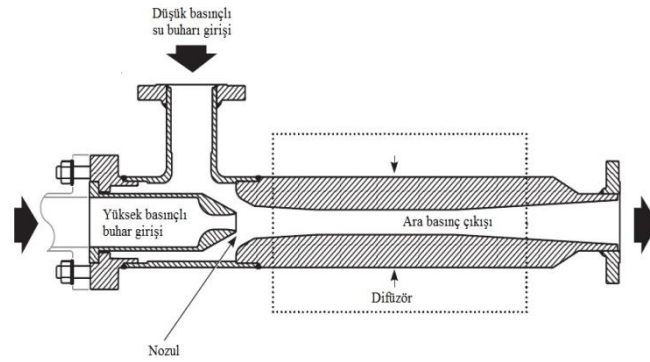
Şekil 3. Termokompresör (**Ünlü ve ark.2013**)

Güdücü gaz yüksek basınçta (P_m) kompresöre girer ve nozul içerisinde ilerler. Nozul yüksek basınçlı gazı, vakum oluşturan ve alçak basınçlı (P_s) gazın kendisiyle beraber sürüklenmesini sağlayan yüksek hızlı jet akışına dönüştürür. Emiş ve güdücü gazlar gövdede

karışır. Daha sonra yakınsak-ıraksak difüzörde, gaz karışımının hız yükü statik yüke dönüştürülür. Böylece orta basınçta (P_d) gaz elde edilmiş olur (Ünlü ve ark.2013).

Bir termokompresörü oluşturan ekipmanlar şöyledir: (Swagelok).

- 1.Gövde
- 2.Difüzör
- 3.Nozul
- 4.Mil
- 5.Aktüatör



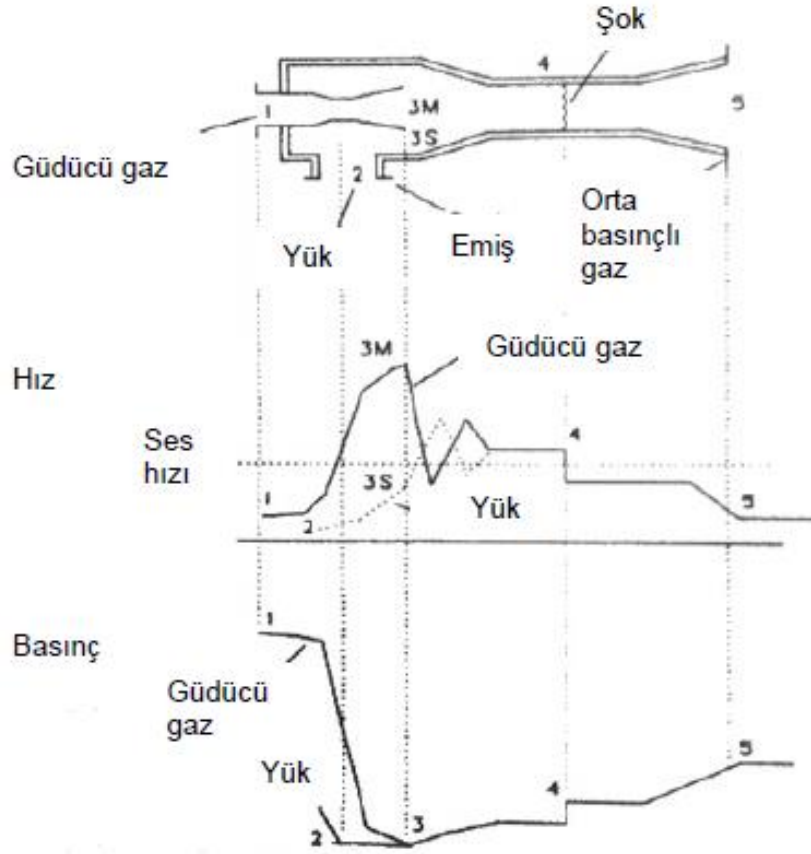
Şekil 4. Termokompresöre tipik bir örnek (Spiraxsarco)

3.4.1. Termokompresörün termodinamiği ve tasarım kriterleri

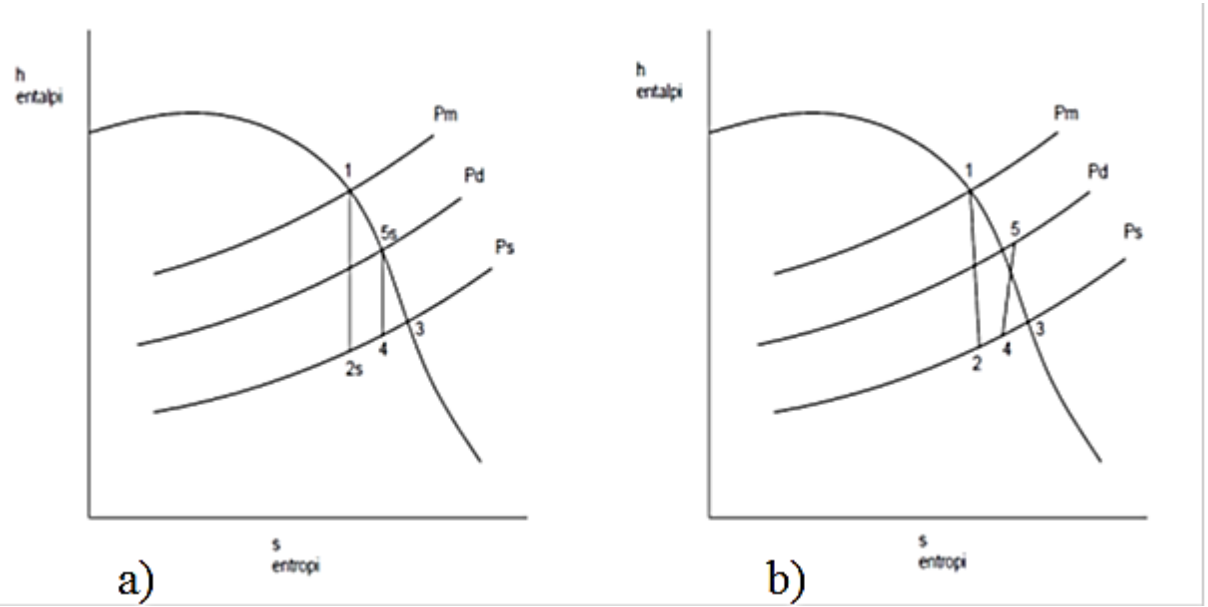
Yüksek basınç ve düşük hızda nozula giren güdücü buharın nozul boyunca hızı artar. Bu bölümde basıncı düşen buharın entalpisi azalır ve basınç enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür. Nozul çıkışında güdücü buharın hızı ses üstü hızlara ulaşarak, 850-1300 m/s değerlerini alabilir (Kuvaleka). Emiş hattından düşük basınçlı olarak gelen buhar, nozulun çıkış noktasında güdücü buharla sabit basınçta karışır. Bu noktada hızı azalan karışımın entalpisi, karışan buharların debi ve basınç değerlerine bağlı olarak, iki entalpi değeri arasında bir değer alır. Karışım daha sonra, difüzör vasıtasıyla genişletilerek orta hız ve basınç değerlerinde sisteme gönderilir.

Entalpi-Entropi diyagramına bakılacak olursa Şekil 6'daki gibidir;

- | | | |
|-----|----|--|
| 1 | →2 | Güdücü buharın nozulda genişlemesi |
| 2,3 | →4 | Güdücü buhar (2) ve emiş buharının (3) sabit basınçta karışımı |
| 4 | →5 | Orta basınçlı buharın difüzörde sıkıştırılması |



Şekil 5. Ejektör Boyunca Hız ve Basınç Profili (POWER)



Şekil 6. a) Entalpi-Entropi Diyagramı (İzantropik Sıkıştırma ve Genişleme) b) Entalpi-Entropi Diyagramı

Termokompresör sistemleri, momentum- enerji korunumu ve süreklilik denklemlerine uyarlar. Termokompresör de adiyabatik ve devamlı bir akış için denklemler aşağıdaki gibidir (**Aphornratana**).

Süreklilik denklemi;

$$\Sigma \rho_i V_i A_i = \Sigma \rho_e V_e A_e \quad (5)$$

Momentum denklemi;

$$P_i A_i + \Sigma m_i V_i = P_e A_e + \Sigma m_e V_e \quad (6)$$

Enerjinin korunumu denklemi;

$$\Sigma m_i (h_i + V_i^2 / 2) = \Sigma m_e (h_e + V_e^2 / 2) \quad (7)$$

Bir termokompresörün tahmini boyutunu hesaplamak için aşağıdaki formüllerden yararlanılabilir (**Kadant**).

$$E = P_m / P_s \quad (8)$$

$$C = P_d / P_s \quad (9)$$

$$M_m = M_s / R \quad (10)$$

$$M_d = M_m + M_s \quad (11)$$

Termokompresör tasarım ve uygulamaları gerçekleştirilirken, termodinamik yasalarla birlikte dikkate alınması gereken bazı kritik nicelikler bulunmaktadır. Bunlar;

1. Karıştırma (karışım) oranı,
2. Genişleme oranı,
3. Sıkıştırma oranıdır. (**Kuvaleka**).

Karışım oranı, emiş buharının kütleli debisinin (M_s) güdücü buharın kütleli debisine (M_m) oranıdır (M_s/M_m). Yüksek karışım oranı, daha fazla alçak basınçlı atıl buharın geri kazanılması anlamına geldiğinden, yüksek performanslı termokompresörlerin karıştırma oranı da yüksektir. Karıştırma oranı, sıkıştırma ve genişleme oranlarına doğrudan bağlıdır ve birçok parametreyle değişmektedir. Termokompresör sisteminde ki karşı basınç, kritik değere ulaşana kadar karışım oranını çok etkilememekle beraber, kritik karşı basınç değerinin üzerinde, karıştırma oranında dramatik bir azalma meydana gelir ve termokompresör'ün performansı azalır. Emiş buharının sıcaklığının artırılması ise, hem karışım oranının artmasını sağlar hem de kritik karşı basıncı artırarak, sistemin daha güvenli çalışmasını sağlar (**Ariafar**). Genişleme oranı, yüksek basınçlı güdücü buharın mutlak basıncının, emiş buharının mutlak basıncına oranıdır (P_m/P_s). Termokompresör'den istenen performansın elde edilebilmesi için, bu oran en az 1.2 olmalıdır (**Soucy**). Sıkıştırma oranı, orta basınçtaki karışım buharının mutlak basıncının, düşük basınçlı emiş buharının mutlak basıncına oranıdır (P_d/P_s). Termokompresörler sıkıştırma oranı 6/1 değerine kadar ekonomik olarak kullanılabilir. Güdücü buharın basıncının yüksek olması, aynı sıkıştırma oranı için karışım oranını düşürmektedir. Dolayısıyla, gerçekleştirilebilir termokompresör uygulamaları için sıkıştırma oranı yaklaşık 2.5 civarındadır (**Kuvaleka**).

Çizelge 2. Termokompresör Boyutlandırma Tablosu (KADANT)

Nominal Size (Inches)	Pd=Thermocompressor Discharge Steam Pressure, psig								
	0	5	10	25	50	75	100	150	250
	Md=Discharge Steam Flow Rate, lb/hr								
1	60	80	100	170	270	360	460	650	1
1,5	180	240	300	480	760	1	1,3	1,8	2,9
2	360	480	590	930	1,4	2	2,5	3,5	5,6
2,5	590	780	960	1,5	2,4	3,2	4,1	4,8	9,1
3	1	1,3	1,6	2,6	4,1	5,6	7,1	10,1	15,9
4	2,1	2,8	3,5	5,5	8,7	11,9	15	21,2	33,5
5	3,7	4,9	6	9,5	15	20,4	25,7	36,5	57,5
6	5,3	7	8,7	13,7	21,7	29,5	37,2	52,7	83
8	9,3	12,2	15,1	23,8	37,6	51,1	64,4	91,2	140
10	14,7	19,3	23,9	37,5	59,2	80,6	101	143	226
12	21,1	27,7	34,2	53,8	85	115	145	206	325
14	25,7	33,8	41,8	65,6	103	140	177	251	396
16	34	44,8	55,3	86,9	137	186	235	333	524
18	43,6	57,3	70,8	111	175	238	301	426	671
20	54,1	71,1	87,9	138	218	296	373	529	833
22	66,1	87	107,5	168	266	362	457	647	1.010,000
24	79,2	104,1	128,7	202	319	434	547	774	1.220,000
26	93,4	122,8	151,8	238	376	512	645	913	1.430,000
28	108	143	176	277	438	596	751	1.060,000	1.670,000
30	125	164	203	319	505	687	865	1.220,000	1.930,000
32	143	188	232	365	576	784	988	1.390,000	2.200,000
34	161	213	263	413	652	887	1.110,000	1.580,000	2.490,000
36	182	239	295	464	733	997	1.250,000	1.780,000	2.800,000

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

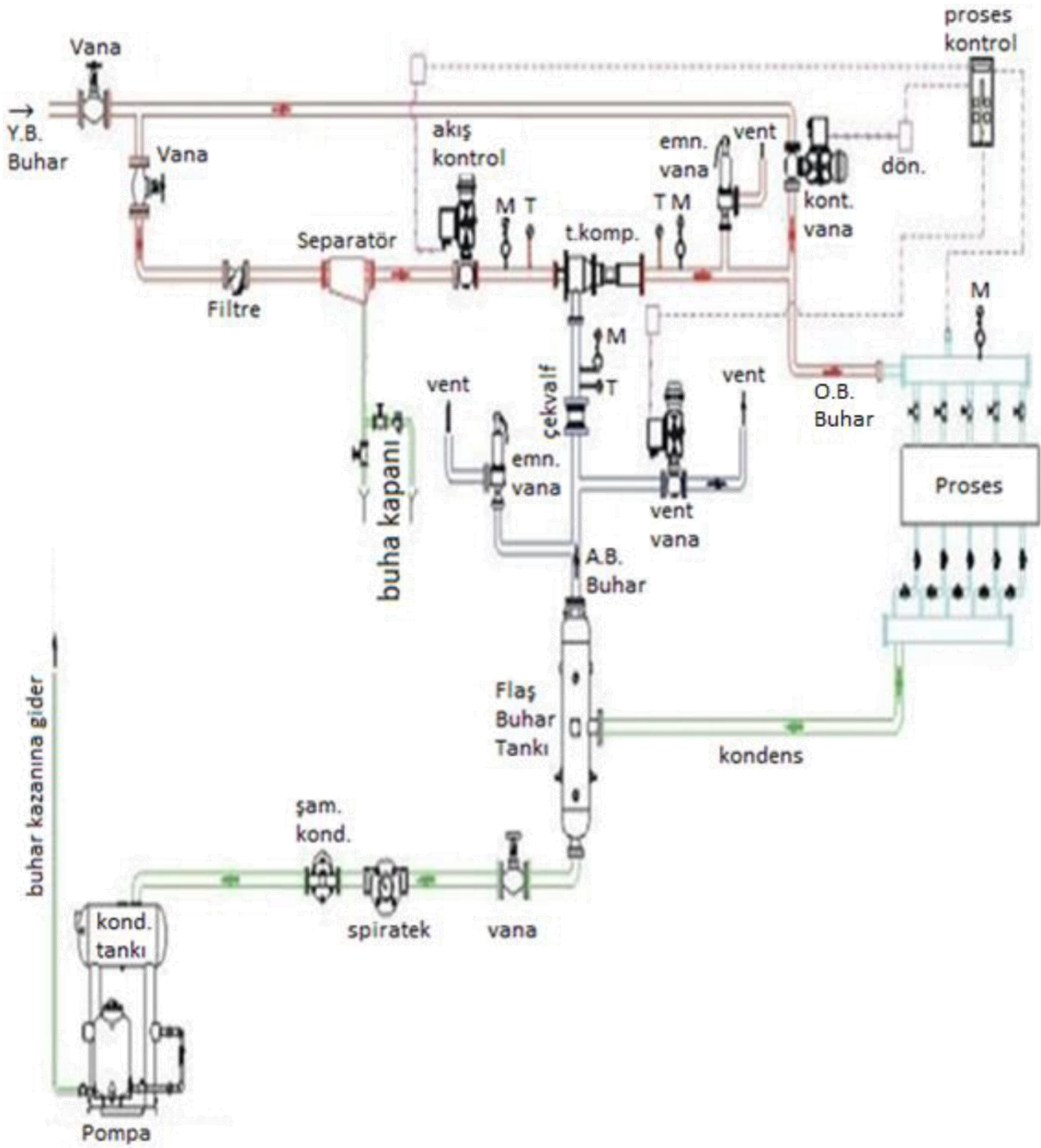
Karışım oranı: Düşük basınçlı emiş buharının kütleli debisinin (M_s), yüksek basınçlı güdücü gazın kütleli debisine (M_m) oranı şeklinde ifade edilir (M_s/M_m). Bu formülden anlaşılacağı üzere yüksek karışım oranı demek, düşük basınçlı buhardan daha fazla yararlanmak demektir. Karışım oranı, sıkıştırma 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 (**ARIAFAR**).

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 (**SOUCY**).

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. Güdücü buhar basıncının yüksek olması, aynı sıkıştırma oranı için karışım oranının düşmesine sebep olur. Bu sebepten gerçekleştirilebilir termokompresör sistemleri için sıkıştırma oranı 2,5 dolaylarındadır (**Kuvaleka**).

3.4.2. Termokompresörlerin kullanım 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; tekstil, şeker, petro-kimya, ilaç, kimya, lastik-kauçuk, kağıt ve gıda endüstrisi olarak gösterilebilir. Ürünlerini hayatımızın tüm evrelerinde kullandığımız bu endüstriyel işletmelerin atıl ısılarından fayda sağlayan bu sistemler önemini daha da arttırmaktadır. Endüstriyel bir işletmede kullanılan termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Endüstriyel işletmede örnek termokompresör-flaş buhar tankı uygulaması

Şekil 7'de yüksek basınçlı buhar ile prostesten dönen kondensin içinde bulunan flaş buharın, termokompresör de sıkıştırılarak faydalı enerjiye dönüşümü gösterilmiştir. Tüm bu sistemlerin amacı kaynakların daha verimli kullanılmasına yöneliktir. Termokompresör sisteminin bu amaca hizmet etmesi, sistemin ne kadar doğru bir yatırım olduğunu göstermektedir.

3.5. Ejektör

3.5.1.Yakınsak-ıraksak lüle (ses üstü lülesi)

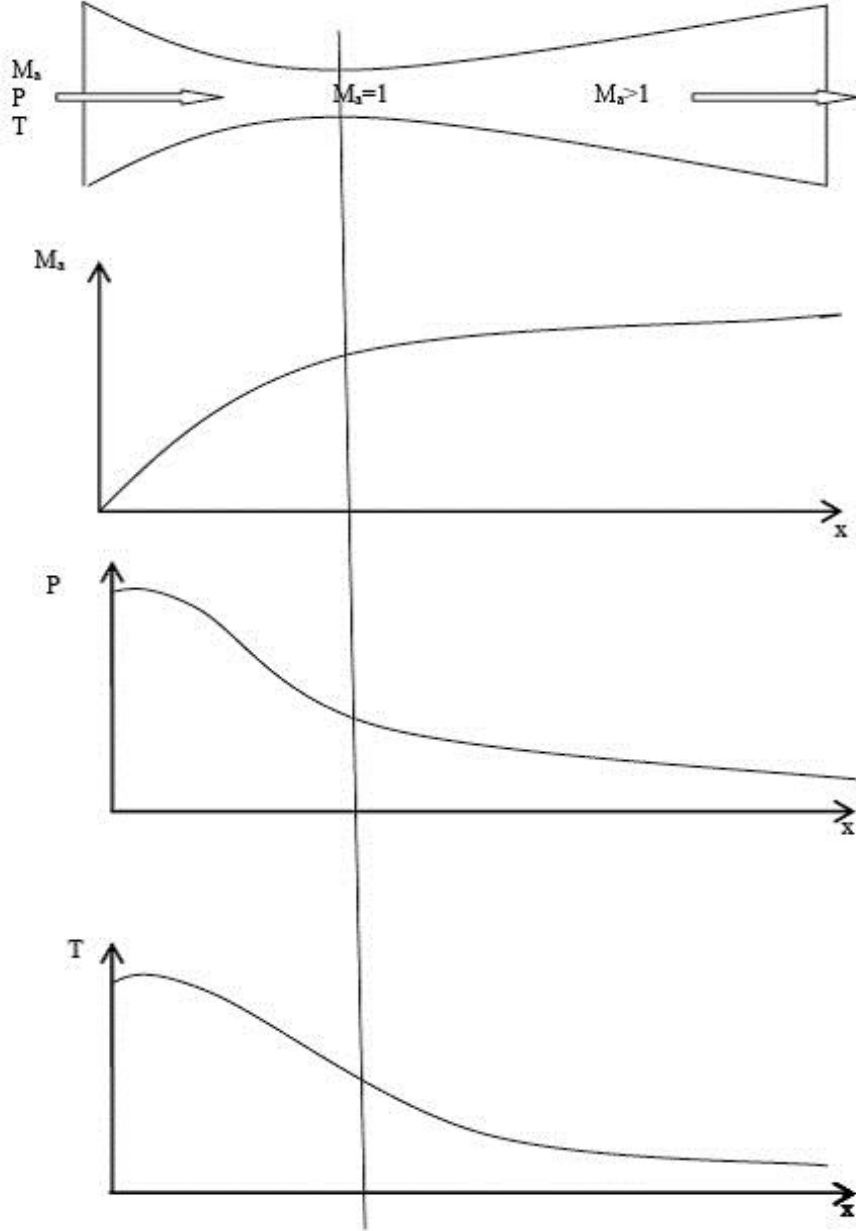
Şekil 3.1’de görüldüğü gibi basınç kritik basınç değerine yani mach sayısının 1 olduğu değere düşerken akış alanı küçülür ve daha sonra basınçtaki daha fazla düşme ile birlikte akış alanı artmaya başlar. Akış alanının en küçük olduğu yerde mach sayısı 1’dir ve buraya boğaz denir. Akış alanının boğazdan sonra hızla büyümesine rağmen akışkan hızının boğazı geçtikten sonra artmaya devam eder. Boğazı geçtikten sonra hızdaki bu artış akışkan yoğunluğundaki ani düşmeden kaynaklanmaktadır.

3.5.2.Emme odası

Emme odası gelen akışkanın, (ikincil akışkan) ejektöre giriş yaptığı yerdir. Emilen lülenin şekli akışkanın düzgün emilebilmesi için çok önemlidir. Emme lülesinin geometrisini Keennan vd. (1950), yılında yaptıkları matematik analizle ideal gaz dinamiğine dayanarak temel kanunlar olan: kütle, momentumun ve enerjinin korunumu denklemlerini kullanarak ejektör geometrisinin temelini oluşturmuşlardır. Bu teoriye göre iki farklı geometri tipi geliştirmişlerdir. Bunlar sabit alan ejektörü ve sabit basınç ejektörleridir. Bu çalışmada sabit basınç modeli kullanılmıştır. Sabit basınç modelinin özelliği emme odasında emilen akışkanın ve tahrik akışkanın basınçlarının sabit olmasıdır. Burada θ açısı ve emme odasının boyu önem kazanmaktadır.

3.5.3.Karışma odası

Ejektörlerde karışma odası emilen akışkan ve tahrik akışkanın karıştığı yerdir. Karışma odasında iki akışkanın arasında momentum transferi sonucunda tahrik akışkanın enerjisinin bir kısmı emilen akışkana aktarılır. Bu enerji alışveriş sırasında tahrik akışkanın enerjisinin bir kısmı akışkan parçacıklarının arasında çarpışma ve karışma odası cidarlarındaki sürtünme sebebiyle kaybolur. Çarpışmadan meydana gelen kayıplar önemsizdir. Buna rağmen emilen akışkanı ve tahrik akışkanının jet hızları uygun seçilerek azaltılabilir. Karışma odasının kayıpları ayrıca akışkanın viskozitesine ve karışma odası pürüzlülüğüne bağlıdır.



Şekil 8. Sesüstü lülesi

3.5.4. Difüzör

Difüzör akışkanın kinetik enerjisini basınç enerjisine düşüren alettir. Ejektörlerde hızı çok yüksek olan taşıyıcı gaz ile emilen gaz karışma odasında karıştıktan sonra bu iki hızın arasında ortak bir hızla karışma odasından çıkarlar. Karışma odasındaki akışkanın hızı büyüktür ve basma hattındaki enerji kayıplarını azaltmak için hızının düşürülmesi gerekir. Bu görevi difüzör yerine getirmektedir.

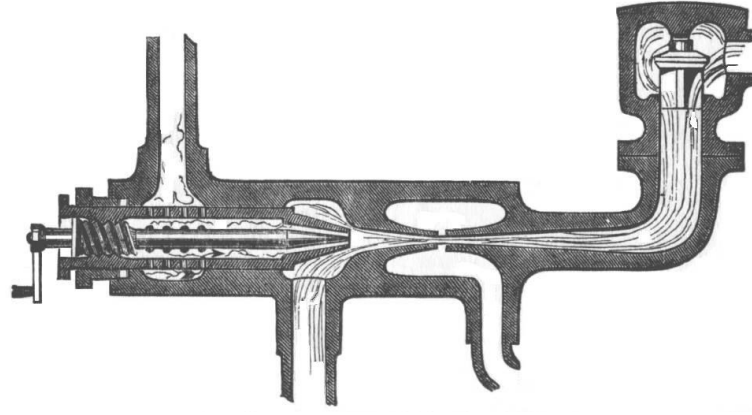
3.6.Ejektör Çalışma Prensibi

Ejektörlü pompalar dört ana parçadan oluşur. Bunlar nozul, emme odası, karışma odası ve difüzördür. Bu pompaların çalışma prensibi; taşıyıcı akışkanın basıncı bir püskürtme lülesi yardımıyla azaltılarak, hızı artırılır ve vakum oluşturulması şeklindedir. Bu vakumun etkisiyle ikinci akışkan emilir ve karışma odasına taşınır. Karışma odasında iki akışkan arasında momentum transferi sonucu taşıyıcı akışkanın enerjisinin bir kısmı emilen akışkana aktarılır. Bu iki akışkan aynı enerjiye sahip olur ve ortak bir hızla karışma odasından çıkarlar. Karışma odasının çıkışındaki akışkan hızı büyük olduğundan hızın düşürülmesi gerekir. Bu amaçla karışma odasının sonuna bir difüzör bağlanır ve difüzör de minimum enerji kaybıyla kinetik enerji basınç enerjisine dönüştürülür. Böylece akışkan istenilen yere nakledilir. Ejektörler basit yapıdadırlar ve endüstrinin değişik kollarında vakum oluşturmak, aktarmak ve karıştırma proseslerinde kullanılır. Ejektörlerin bazı avantajları şunlardır.

- Çevre dostu olması,
- Sıfır emisyona sahip olması,
- Bakım istememesi,
- Çalışmasının güvenilir olması,
- Kolay monte edilebilir olması,
- Performansının kolayca değiştirilebilir olması,
- Düşük maliyet ve ağırlık,
- Düşük gürültü seviyesi,
- Dar alanlara monte edilebilir olmasıdır.

3.7.Ejektörlerin Kullanım Alanları

Ejektörler endüstrinin değişik alanlarında farklı amaçlar için kullanılırlar. Özel uygulamaları dolayısıyla, bir ejektör sık sık edüktör, buhar jeti fişkırtıcısı, jet pompası veya aspiratör (extractor, emici) gibi isimlerle anılmaktadır. İlk olarak Ejektör 1858'de Fransız Henri Giffard tarafından icat edilmiştir (Şekil 6).



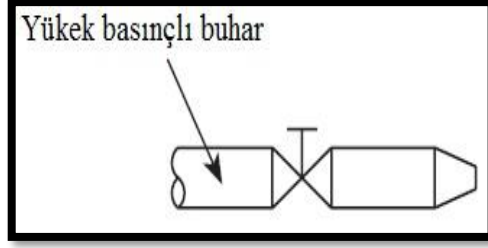
Şekil 9. Buhar tahrikli ejektör (Robert, 1993)

Ejektörlerin kullanım alanları şu şekildedir;

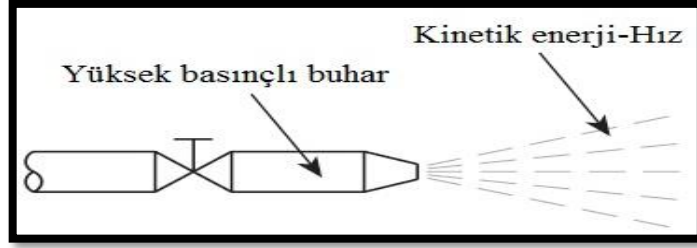
- Buhar tahrikli lokomotiflerde kazan besleme suyunu kazana ve kazandan dışarı pompalamak ve enjekte etmek,
- Geniş anlamda yüksek basınçlı modern kazanlarda; kimyasalları küçük, sabit düşük basınçlı kazanlarda, kazana enjekte etmek,
- Termik santrallerde, kazan zemin külünün (bottom ash) uzaklaştırılmasında,
- Buharlı jet soğutma sistemlerinde vakum oluşturmakta
- Tohumların veya diğer küçük malzemelerin işlenmesinde,
- İnşaat endüstrisinde, suyu ve su bentonit karışımını pompalama işleminde,
- Yakıt pillerinde
- Aspiratör (emmeç) gibi aynı çalışma prensibine sahip benzer cihazlar kısmi bir vakum yaratmak için laboratuvarlarda ve vücut sıvıları ile mukusun emiliminde medikal olarak kullanılmaktadır,
- Uzay araçları itici güç sistemlerinde,
- Endüstriyel ateşleme lüleleri ve kaynak lüleleri,
- Kum ve çamur ejektörleri

Ejektör çalışma prensibi genel olarak aşağıda sıralanan dört aşamada detaylı olarak anlatılmıştır (**spiraxsarco**).

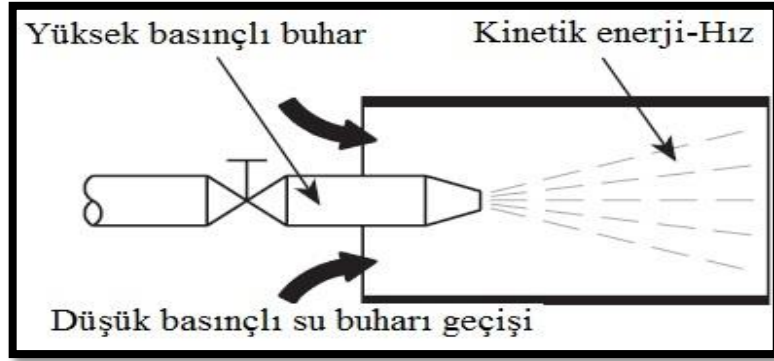
1.Aşama Statik basınç



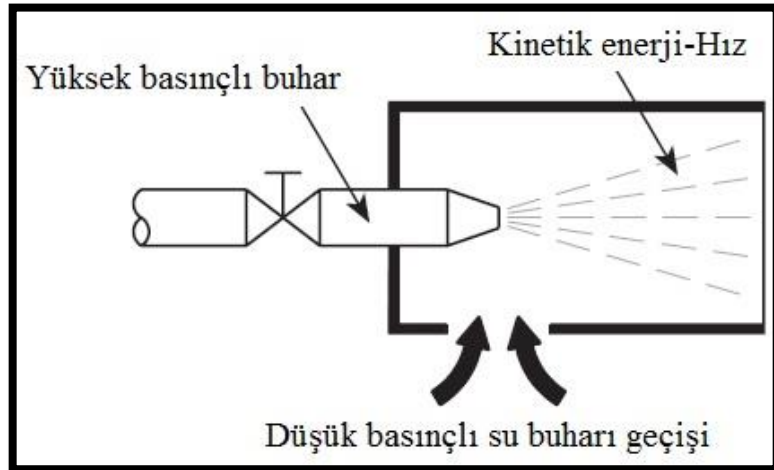
2.Aşama Yüksek basınçlı buharın kinetik enerjiye dönüşmesi



3.Aşama Açık uçlu boru

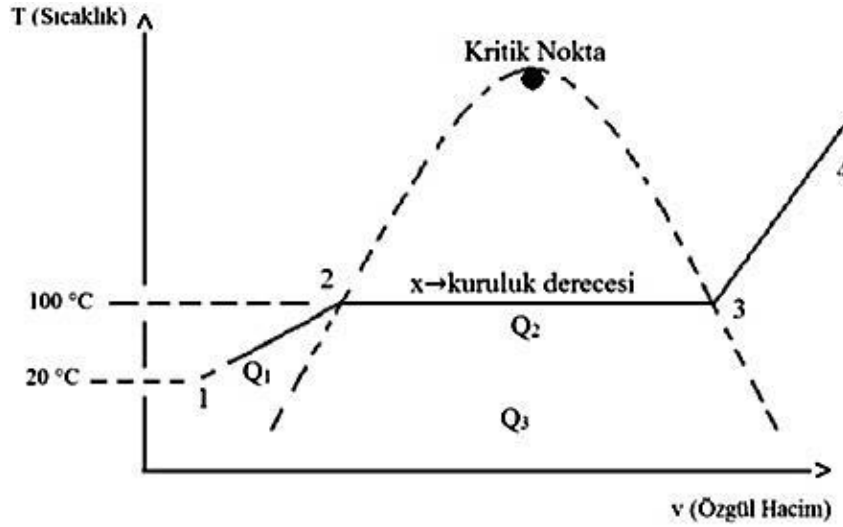


4.Aşama Kapalı uçlu boru yandan giriş



3.8. Buhar Oluşumu

Maddelerin ısı etkisiyle sıvı halden 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 10'da buhar oluşumu evreleri görülmektedir. Bu safhaların özelliklerini tablolardan ya da diyagramlardan görmek mümkündür.



Şekil 10. Buhar oluşum evreleri

Isı Hesabı:

1→2 suyun doymuş hale gelmesi

$$Q_1 = \dot{m} \times c_p \times (T_2 - T_1) = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (12)$$

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 (**Arslan**).

$$Q_2 = \dot{m} x h_{fg} = \dot{m} x (h_3 - h_2) \quad (13)$$

$x = \dot{m}_{\text{buhar}} / \dot{m}_{\text{toplam}}$

$x = \text{Kuruluk derecesi}$

$0 < x < 1$

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

$$Q_3 = \dot{m} x (h_4 - h_3) \quad (14)$$

Suyu kızgın buhar haline getirebilmek için gerekli toplam ısı miktarı:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (15)$$

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)

3.8.1. Temel buhar kavramları

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.

3.8.2.Buhar Kullanma 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 olmasıdır.

3.8.3.Buhar 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

Yukarıda sayamadığımız daha pek çok kullanım alanı vardır.

3.9.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. Kalan katı atık ve cüruflar kazanın altındaki su teknesine düşer, oradan da bantlarla dışarı atılır. Yanma sonucunda oluşan gazlar da ısıyı alıncadan sonra 110–200 °C civarında bacadan atmosfere gönderilir. Kazanda üretilen buhar, buharın kullanılacağı alanlara yönlendirilir.

3.9.1.Buhar kazanlarının sınıflandırılması

A-Kullanım yerlerine göre buhar kazanları

- Sabit kazanlar
- Portatif kazanlar
- Lokomotif kazanlar
- Gemi buhar kazanları

B-Kazan basıncına göre buhar kazanları

- Alçak basınçlı kazanlar
- Yüksek basınçlı kazanlar
- Süper kritik basınçlı kazanlar

C-Ocak cinsine göre buhar kazanları

- Dıştan ocaklı kazanlar
- İçten ocaklı kazanlar

D-Kullanılan yakıt cinsine göre buhar kazanları

- Kömür yakan kazanlar
- Sıvı yakıt kullanılan kazanlar
- Gaz yakıt kullanılan kazanlar

E-Konstrüksiyonuna göre buhar kazanları

- Duman borulu kazanlar

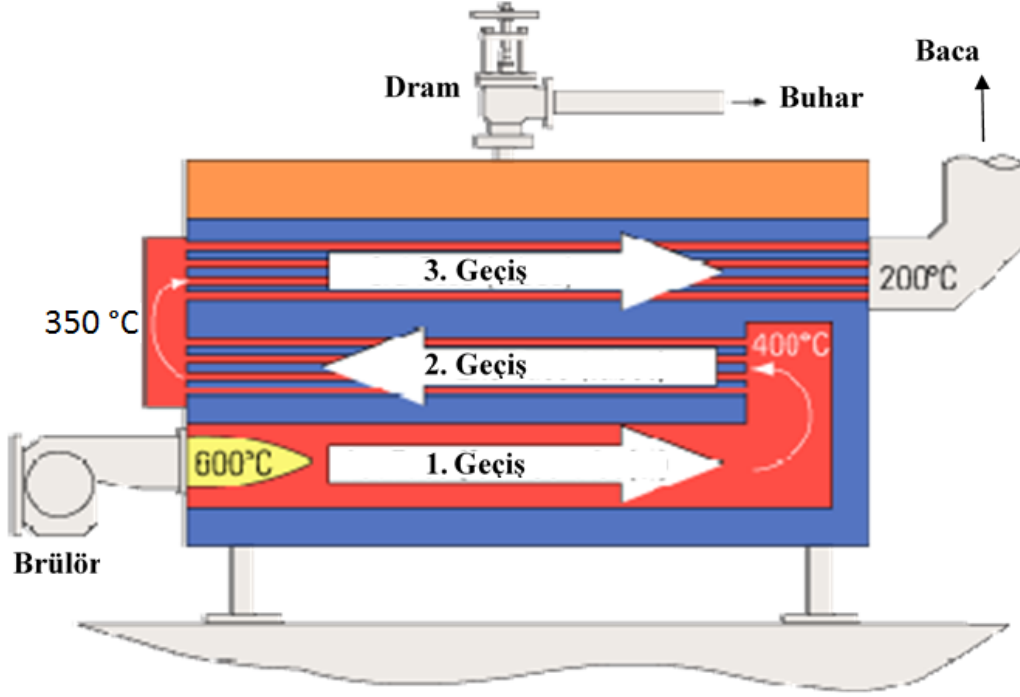
- Alev borulu kazanlar
- Alev-duman borulu kazanlar
- Su kazanları

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.

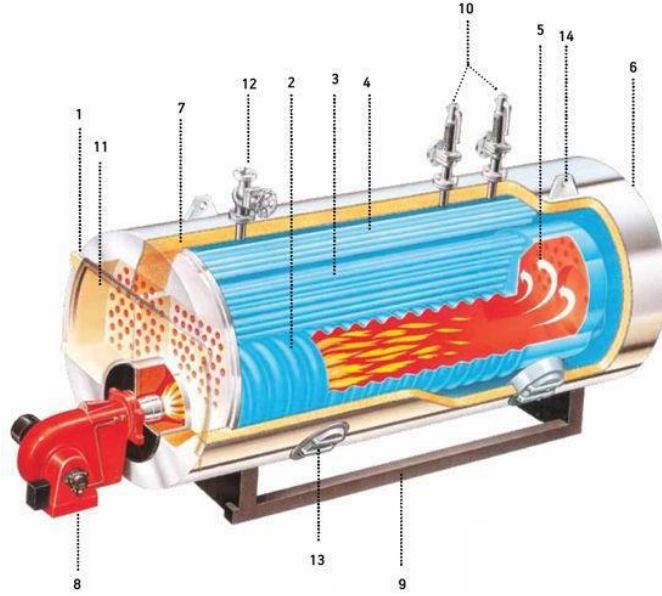
3.9.2.Alev borulu kazanlar

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 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Üç geçişli alev borulu kazan (Arslan)

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 NOx emisyonları sayesinde üç geçişli Skoç tipi tasarım kabul görmüştür. Skoç tipi kazanlarda yanma külhanı olarak da adlandırılan yanma hücrelerinde gerçekleşir. Bu bölgede ortam sıcaklığı 1200-1400°C'dir. Yanma sonucu oluşan duman gazları yanma hücrelerini terk ederek cehennemliğe girer. Cehennemlik, yanma hücreleri 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 bir alev-duman borulu kazan ve bileşenleri Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Alev-duman borulu buhar kazanı ve bölümleri (**Venta**)

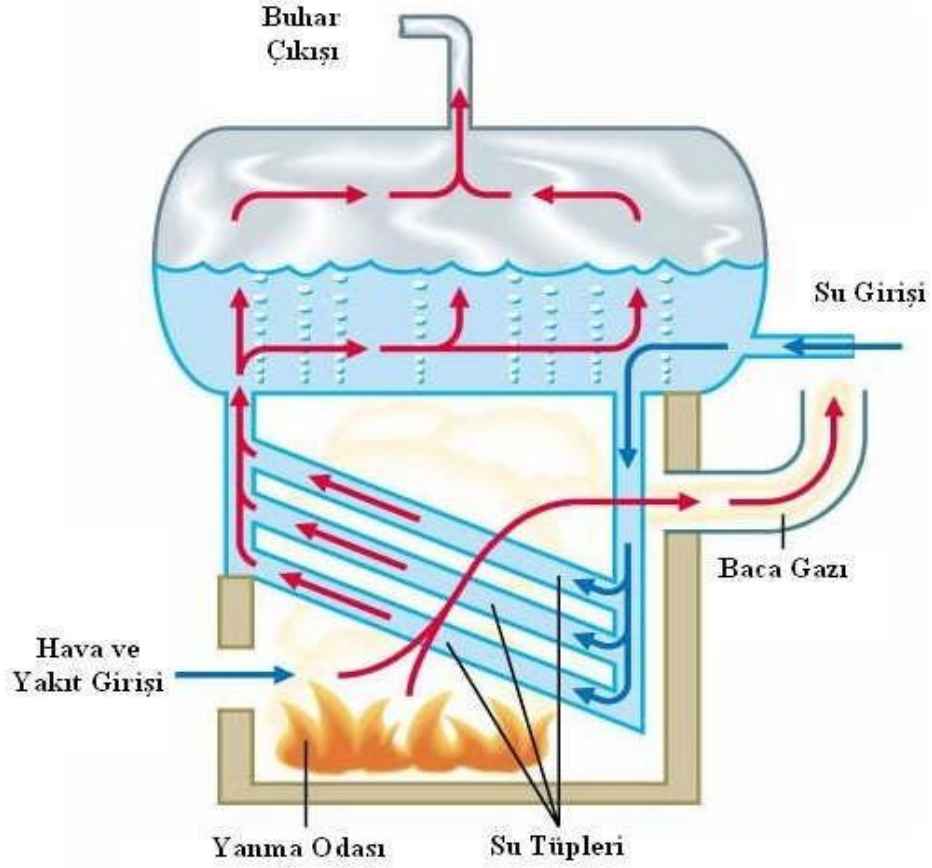
- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Gövde | 8. Brülör |
| 2. Külhan | 9. Kazan Kaidesi |
| 3. Duman boruları II. Geçiş | 10. Emniyet Ventili |
| 4. Duman boruları III. Geçiş | 11. Ön Duman Sandığı |
| 5. Su soğutmalı cehennemlik | 12. Buhar Çıkış Vanası |
| 6. Duman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

3.9.3.Su bo

Suyun boru içinde dolaştığı ve buharlaşmanın burada sağlandığı su borulu kazanların özellikle yüksek kapasitede sıcaklık ve basınç ihtiyacı 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 13'de 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 13. Su borulu kazan (Arslan)

3.10.Brülör

Yakıt ve havanın optimum oranda karıştırılarak, yanma odasına alınan yakıtın tamamının yanmasını sağlayan cihazlara brülör denir. 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. Üflemlili (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. Üflemlili brülörler yakıt türüne göre üç bölüme ayrılır.

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

Üflemlerli 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 (**ERENSAN**). Şekil 14'de brülör şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 14. Brülör

3.11.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 gözlemlerinin derecesinden bağımsız sağlandığı standart TS EN 12953-6:2012'de tanımlanmıştır. Şekil 15'de bu kazan donanımı elemanları verilmiştir.

Genel olarak buhar kazanı donanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

➤ **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 ısıtmalı 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.

➤ **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.

➤ **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 yağ yakan kazanlarda, ön ısıtmanın gerektirdiği, yakıt sıcaklığı düştüğünde yakıtı kesen sıcaklık termostadı.
- 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 sisteminin 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.

➤ Vantilatörler ve Klapeleler

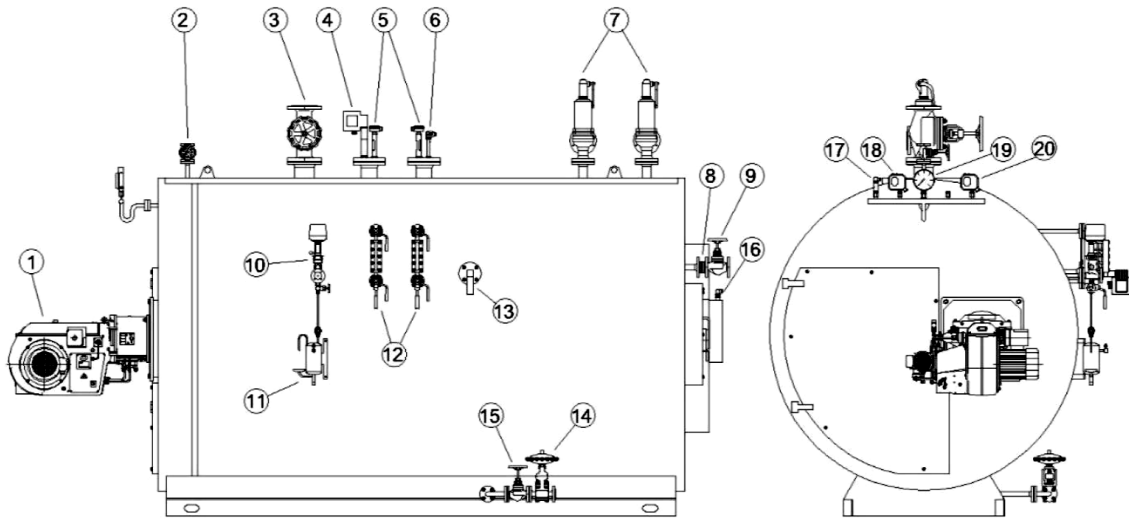
➤ Ekonomizörler

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

➤ Hava Isıtıcıları

➤ Kazan Besleme Pompaları

➤ Kazan Aspiratörleri



1. Brülör

2. Hava atma vanası

3. Buhar kapama vanası

4. Su seviye kontrolörü

5. Min. seviye sınırlandırıcı

6. Maks. seviye sınırlandırıcı

7. Emniyet ventili

8. Çekvalf

9. Besi suyu kapama vanası

10. Otomatik yüzey blöf vanası

11. Numune soğutucu

12. Seviye göstergesi

13. İletkenlik kontrolörü

14. Otomatik dip blöf vanası

15. Dip blöf kesme vanası

16. Baca gazı sıcaklık sensörü

17. Basınç sensörü

18. Maks. basınç sınırlandırıcı

19. Manometre

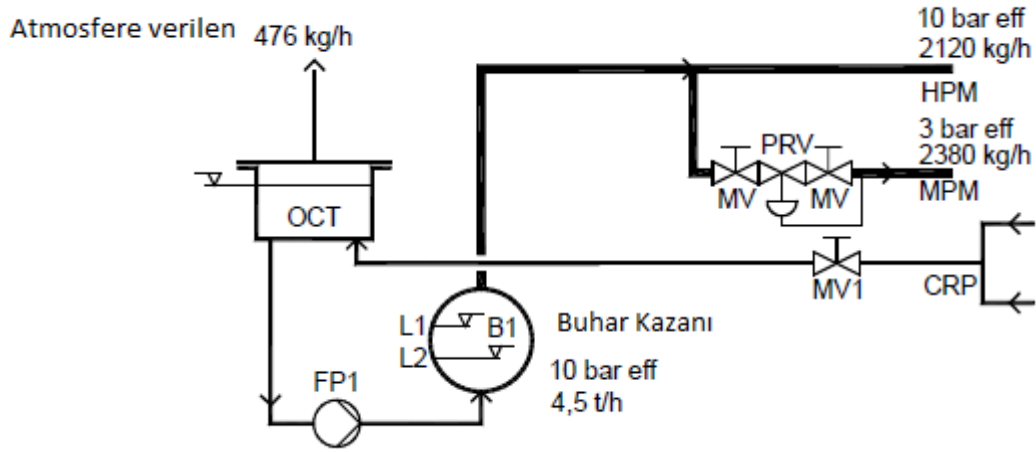
20. Presostat

Şekil 15. TRD 604'e göre (72 Saat) gözlem derecesinden bağımsız buhar kazanı donanımı

3.12. Tekstil Tesislerinde Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulaması

Tekstil fabrikalarında hammadde deposuna gelen kumaş kontrolden geçirilir. İlk kontrolü yapılmış kumaşlar planlama bölümüne alınıp müşterinin talepleri doğrultusunda planlama yapılarak laboratuvarında renk ayarları ve denemeleri yapılır. Daha sonra kumaşlar partilere ayrılarak mal açma bölümüne sevk edilir. Açma işlemi biten kumaşlar haşıl sökme işlemine tabi tutulur. Haşıl sökme işlemi, dokuma prosesinden önce dokuma işlemini kolaylaştırmak için çözgü ipliklerine uygulanan selülozdan uzaklaştırılması gereken safsızlıklardandır. Haşıl miktarı ham kumaş ağırlığının ortalama %8-10 u kadardır. Tekstil malzemeleri üretim sırasında bulaşan kir ve makine yağlarını da ihtiva eder. Haşıl sökme ile kumaşın hidrofililiği, boyar madde ve kimyasal madde alma kabiliyeti artar. Haşıl sökme işlemi yapılmış olan kumaşlar, ham kumaştan gelen safsızlıkların (yağ, vaks, mum, toprak alkalilerin ve pigmentlerin) kumaştan uzaklaştırılma işlemi olarak tanımlanan kasar işlemine tabi olur. Kasar işleminin birinci derecede amacı kumaşa arzu edilmeyen esmerliği veren renkli safsızlıkları (boyar maddeleri) gidermek ve kumaşa beyazlık kazandırma işlemidir. Ağartma ile kumaşın beyazlık derecesi ve hidrofililiği artırılır. Boyama ve apre için uygun beyazlık sağlanır. Kasardan sonra kumaşa parlaklık ve sağlamlık vermek için merserize işlemi uygulanır. Merserizasyon, her zaman uygulanmayan, ön terbiye işlemi daha çok yüksek kaliteli mamullerle veya boyalı ve baskılı kumaşlarda boyama verimini arttırmak üzere ilave edilen bir procestir. Merserize prosesi selüloz elyafın iki silindir arasında gerilim altında tutulurken 24⁰Be' (NaOH) kostik yardımı ile terbiye edilmesi, pamuk elyafının şişkinliğinin artması düz gün ve sıralı hale getirilmesi, fiziksel yapısının değiştirilmesi, boyama kabiliyetinin artması, rengin derinlik kazanması ve daha düzgün bir yüzey elde edildiğinde ışığın daha fazla yansıtılarak yüzeyin daha parlak görünmesi, mukavemet ve sıklığın artması ile boya ve baskı kalitesini arttırmak amacı ile yapılan procestir. Merserize işleminde, sökülmüş ve ağartma işlemi yapılmış selüloz kumaşlar işleme tabi tutulur. Merserizenin ilk iki banyosunda kumaş 95⁰C ısıtılmış sıcak su ile işleme tabi tutulur. 2 bar sıkma işlemi yapılarak üçüncü banyoya alınır. 50⁰C ısıtılmış su ile yıkandıktan sonra tekrar üçüncü banyo çıkışı 2 bar sıkma silindirinde sıkıldıktan sonra merserize kısmına girer. Merserize işleminin gerçekleşebilmesi için 24⁰Be' kostik 55⁰C 25-35 saniye arasında kalarak ara sıkmadan 2 bar basınç altında geçirilerek stabilize bölümüne geçer. Stabilize bölümü, merserize işlemi ile kazandırılan özelliklerinin sabitleştirilerek kalıcılık kazandırması içindir. Stabilize kısmında merserize kısmında olduğu gibi silindir dizilişi vardır. Ancak, bu bölümde kostik yerine sadece

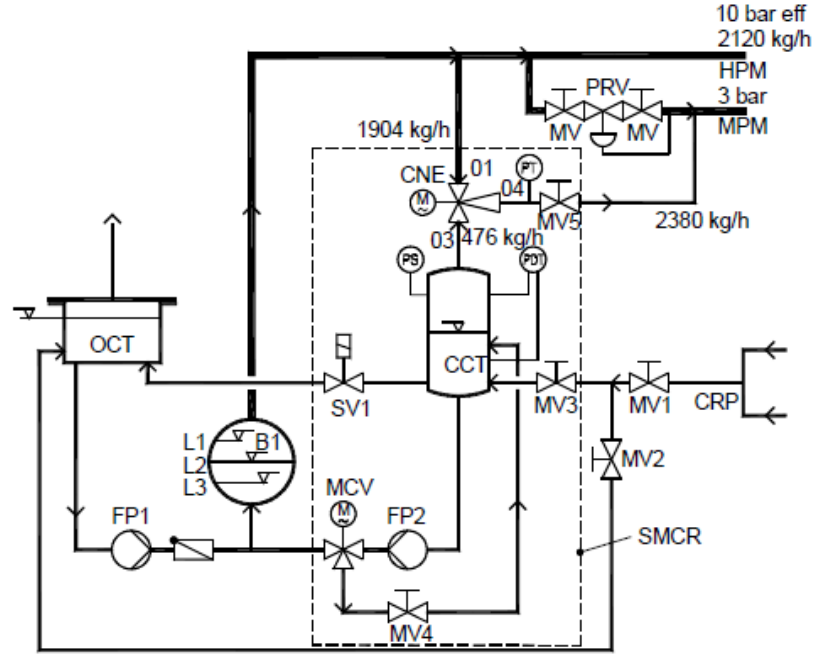
8⁰Be'kostik bulunur. Burada 95⁰C sıcaklıktaki suyla fazla kostiğin bir kısmı giderilmiş olur. Kostiğin 55 gr kısmı stabilize bölümündeki suya bırakılır. Saatte 5000 lt suyla yaklaşık 7-8⁰Be kostik çözeltisi oluşur. Stabilize kısmından çıkan kumaş 2 barla sıkılan sıkma silindirinden geçirilerek sıkılır ve daha sonra üzerinde kalan kostiğin tamamen uzaklaştırılması ve kumaş PH'nın ayarlanması için yıkama ve nötralizasyon bölümüne gelir. Bu bölümde 5 adet yıkama kamarası bulunur. İlk dört yıkama teknesini sıcaklığı 95⁰C'dir ve teknelerde sadece su bulunur. Son teknede ise nötrleşme amacı ile asetik asit bulunur ve bu teknenin sıcaklığı da 40⁰C 'dir. PH 5-7 arası oluncaya kadar bu tekneye asetik asit verilir. Son tekne iki bölüme ayrılmıştır. İlk kısımda asetik asit ile nötrleşme yapılır. İkinci kısımda ise sadece su bulunur ve durulama işlemi yapılır. Kumaş son olarak sıkma silindirinden geçer ve sıkılarak baraban kurutmalarda kurutulup çıkış kısmında doka sarılır. Boyama yapılacak kumaşlar için boyama işlemi, bizzat kendisinin renkli kılmaktadır. Bunu sağlayan renkli ve renksiz maddelerin hepsini birinci gurup boyalardan ayırmak için boyar madde denmesi daha uygundur. Renkli maddelerin ve dolayısıyla boyar maddelerin renkliliği üzerine düşen beyaz ışıktan belirli dalga boylarını yutup kalanını yansıtmalarından ileri gelir. Dispers ve pigment boyar maddelerin dışındaki bütün boyar maddeler suda çözünen veya boyama sırasında çözünür duruma gelerek lif tarafından emilen boyar maddelerdir. Boyama, soğuk boyalarda "Pad-Bach" yöntemiyle yapılmaktadır. Boyamanın ardından da kumaşlar ram makinelerinde kurutma ve apre işlemine tabi tutulur. Apre işlemi; kumaşa müşterinin istediği fiziksel özellikleri kazandırmak için yapılır. Söz konusu fiziksel özellikler, yumuşatma, sert tulum, presleme, şardonlama, zımparalama, dekatür, buruşmazlık vb.dir. Buharlaştırma işleminin ardından kumaş, sürekli yıkama makinelerinde yıkanarak, hidrolize olmuş boya kumaştan uzaklaştırılır. Ardından apre ünitesine gönderilir. Buharlama işlemi biten kumaşlar, kumaşa boyut stabilitesi kazandırmak, enden ve boydan çekmezlik ve gramajını ayarlamak için sanfor makinelerine gönderilir. Sanforu biten kumaşlar, mamul kontrol makinelerinde paketlenir ve müşteriye sevk edilir.



B1	:Buhar kazanı	MCV	:3 yollu oransal valf
CCT	:Kapalı kondens tank	MV	:Ayrıcı valfi
CNE	:Buhar ejektörü	OCT	:Açık kondens tank
CRP	:Kondes geri dönüş borusu	PDT	:Değişken basınç sensörü
FPI	:1.Besleme suyu pompası	PRV	:Basınç düşürücü valf
FP2	:2.Besleme suyu pompası (değişken hızlı)	PT	:Basınç sensörü
L1,L2,L3:	Buhar kazanı şamandırası	SMCR	:Ejektör uygulama bölgesi

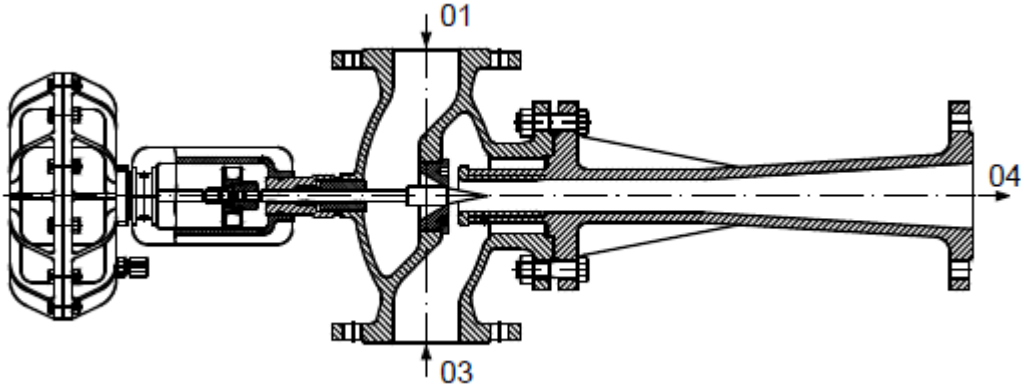
Şekil 16. Tekstil tesislerinde buhar kazanı uygulaması şematik gösterimi

4.5 ton/saat kapasiteli bir konvansiyonel buhar kazanı projesini incelendiğinde bu tür bir kazanda atmosfere açık kondens tankından verilen flaş buhar miktarı 476 kg/saat kadar olur. Sisteme ejektör ilavesiyle buhar kazanı üretimi aynı yakıt tüketimi sabit kalmak koşuluyla 4.5 tondan 4 tona düşecek ve 476 kg/saat buhar tasarrufu sağlayacaktır.



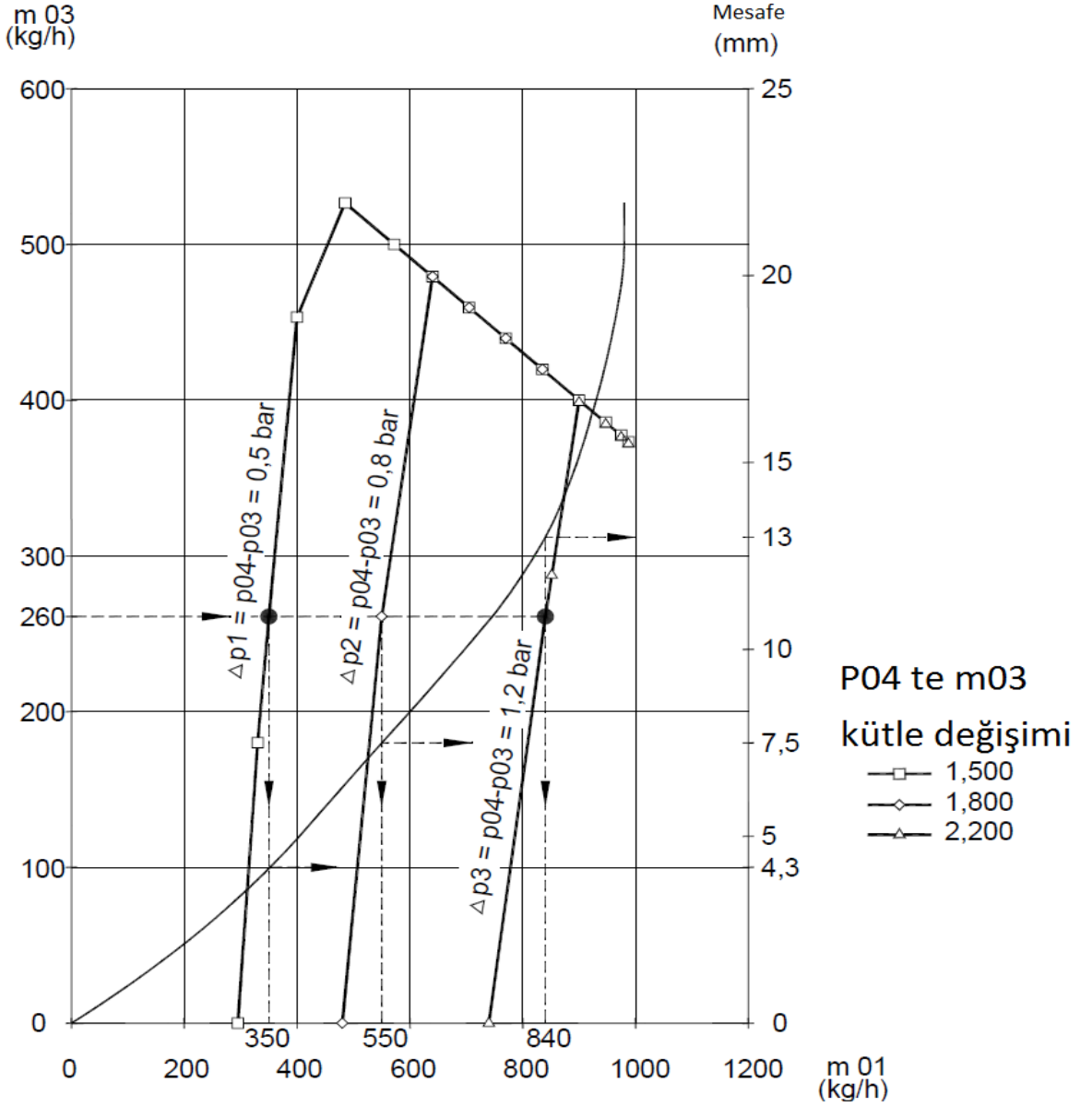
- | | | | |
|-----|-----------------------|-----|--------------------------|
| MCV | :3 yollu oransal valf | MV | :Ayrıcı valf |
| CCT | :Kapalı kondens tank | SV | :Kazana su besleme valfi |
| CNE | :Buhar ejektörü | PDT | :Değişken basınç sensörü |
| PS | :Basınç sensörü | PT | :Basınç sensörü |
| FP | :Besleme suyu pompası | | |

Şekil 17. Ejektör uygulamalı buhar kazanı şematik görünüşü



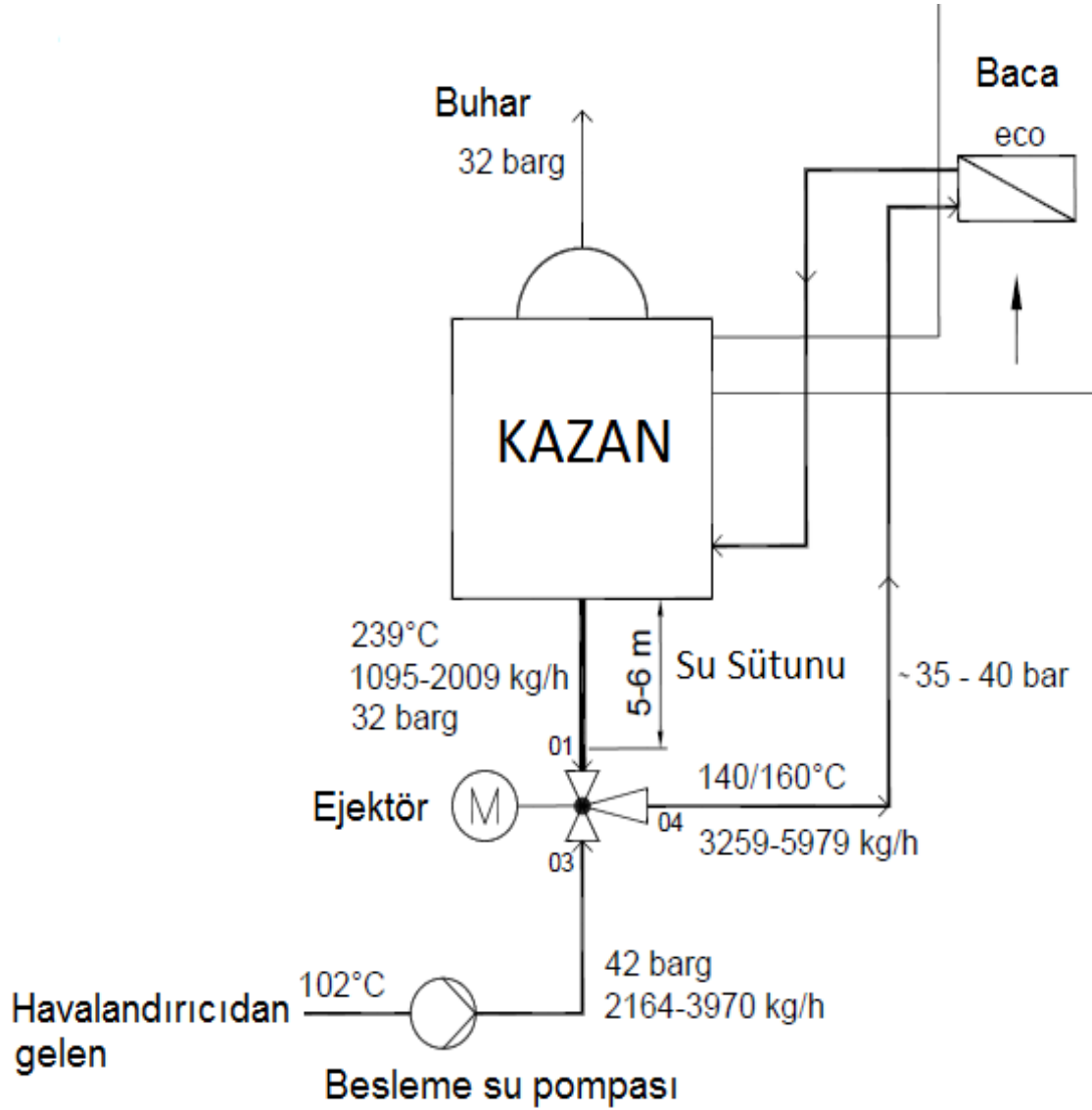
Şekil 18. Buhar ejektörü şematik görünüşü

Sistemde oransal vana ile sisteme giren ve sistemden çıkan debi, basınç değerleri değiştirilebilecektir. Şekil 19'da şematik ve teorik olarak ejektöre giriş ve çıkış basınçları arasındaki basınç dengesi değişimi verilmiştir. Basınç farkını ve kütle oranını elde etmek için kurs aralığı değişimi verilmiştir.



Şekil 19. Buhar ejektörü giriş ve çıkış basınçları arasındaki değişim grafiği

Özetle konvansiyonel bir kazan uygulamasında kazan 4.5 ton/h buhar üretirken 476 kg/h buhar atmosfere açık kondens tankından karışır. Buhar ejektörlü sistem ile kazan aynı ısı değerlerini üretirken bu işlemi 4 ton/h buhar ile yapar ve atmosfere 476 kg/h buhar kaçmaz. Buhar ejektörü buhar kazanının verimini artırmada da kullanılabilir. Örneğin: Kazandan çıkan buhar basıncı 32 bar olsun. Kazan bacasına ekonomizer yerleştirilelim. Kazandan alınan 239 °C sıcaklığındaki 1095-2009 kg/h ve 32 barlık buhar ile sistemden dönen buhar (102 °C pompa ile basıncı 42 bar-2164-3970 kg/h) ejektörden geçirilip sıcaklığı 140/160 °C olan buhara dönüştürülebilir. Bu buharın 35-40 bar ve 3259-5979 kg/h debili ekonomizerden geçirilip kazana dönmesi ile kazan verimi artar.



Şekil 20. Buhar kazanı verimini artırma sistemi

A.Nozullu ejektörler ile devridaimli ejektörlerin birlikte kullanımı:

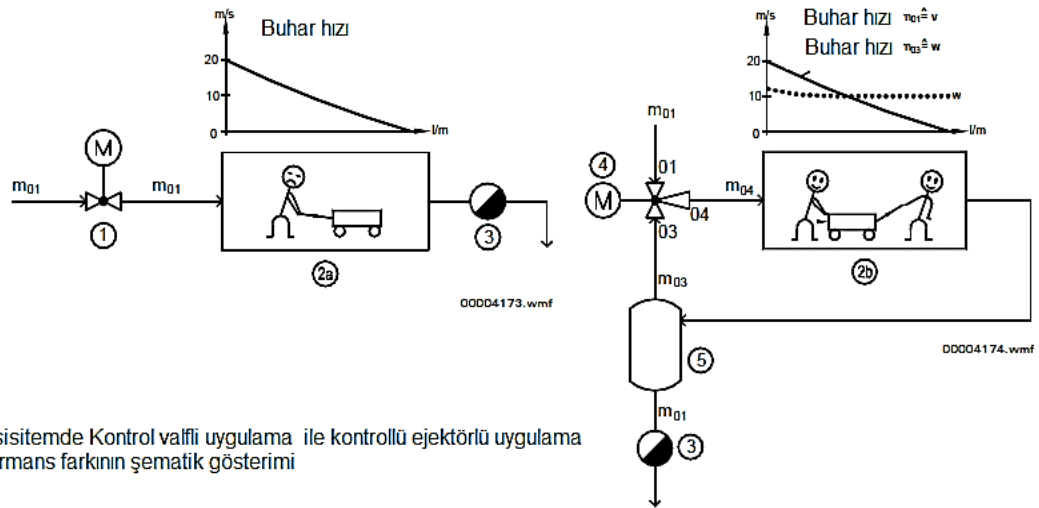
Kontrollü buhar/buhar ejektörleri iç devridaim ve su enjeksiyonu ile donatılabilirler. Bu cihazlar buhar kompresörü/süper ısıtıcı ve doymuş buhar jeneratörü olarak da bilinirler.

B.Kontrol valfi ile buhar ejektörünün karşılaştırılması

Bu teknoloji kağıt endüstrisinde 60 yıldır bilinmektedir. Bu endüstrideki bilgi diğer teknoloji alanlarında da kullanılabilir. Kontrol valfi kullanılan sistemlerde buhar hızı proses hattı boyunca lineer bir formda düşer. Ancak, buhar ejektörü uygulamasında hat boyunca

buhar hızı sabittir. Çünkü kontrol valfli sistemde hatta sadece buharın ardından basınç var iken, buhar ejektörlü sistemde buharın önünde emme ve buharın ardından ise basınç uygulaması sayesinde hız sistemde sabit kalır. Nozullu ejektör kontrol valfli sistem ile karşılaştırıldığında aşağıdaki avantajlara sahip olacaktır:

- Hatta daha yüksek buhar hızı
- Daha iyi ısı transferi sabiti
- Tam aktif ısı transfer yüzeyi
- Daha ince yoğunlaştırıcı film
- Birim ürün başına buhar miktarı tüketiminin azalması
- Kurutma kalitesinin artması ve üretim hızının yükselmesi



Bir ısı tüketen sistemde Kontrol valfli uygulama ile kontrollü ejektörlü uygulama arasında performans farkının şematik gösterimi

- | | |
|---------------------------|---|
| (1) Kontrol valfi | (5)Geri dönüş tankı ve buhar/kondens ayırıcı |
| (2) ısı tüketici | m01 Kondens akışı |
| a) Kontrol valfli (1) | m03 buhar emici |
| b) Ejektörlü (4) | m04 Toplam akış, kısmi kondens, kısmi devirdaim |
| (3) Buhar/kondens ayırıcı | v Buhar hızı m01 |
| (4) Ejektör | w Buhar hızı m03 |

Bir devridaimli ejektör sistemi ile ısıtma sisteminin performansının artmasının sebebi: Isı transferi sabiti K ısı transferinde kullanılan sıvıların akış oranına bağlı olarak değişir.

$$K = f \times \sqrt{v + w} \quad (16)$$

Burada; v Isıtma sistemi içindeki buhar hızı, w: Isıtma sistemi dışındaki buhar hızı, f: faktör Kontrol valfli sistemlerde sistem dışındaki buharın hızı v=0 dır çünkü buhar kondense gider. Devridaimli sistemlerde ise bir devridaim mevcuttur ve w ısıtma sistemi dışında sıfır olmaz.

Örneğin:

a) Kontrol valfli sistemde $v=16$ m/s olsun

$$K = f \times \sqrt{16} = 4f$$

b) Devridaimli ejektör sisteminde ise $v=16$ m/s, $w=9$ m/s olur

$$K = f \times \sqrt{16 + 9} = 5f$$

Isıtma sisteminde böylece ejektör sistemi sayesinde performans %25 daha yüksek olacaktır. Bu durumda ya üretim artışına dayalı sistem kurgulanacak veya ısı transferi yüzeyi %20 daha az planlanabilecektir.

Kontrollü nozüllü ejektörler 2 çok farklı uygulamada kullanılırlar.

Silindirli kurutucularda verim artışının sebebi:

- Etkin üretim yüzey artışı (Silindir içinde türbülans artışı ile birlikte sıcaklık farkının maksimum 1 derecede kalması)
- Aynı buhar basıncına rağmen yüzey sıcaklığının yaklaşık olarak 15 derece artması (yoğunlaşmış film tabakasının incilmesi ve türbülansa artışı ile)
- Montajın basitleşmesi. Çünkü silindir çıkışlarında buhar seperatörlerine gerek kalmayacaktır. Sadece buhar seperatörü bir ejektör çevrimi için kullanılacaktır.
- Yoğunlaşmış buharın tahliyesi kolaylaşacaktır

4.BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan araştırmalar ve ölçümler sonucunda termokompresör uygulaması sonrasında sistemde olumlu iyileşmeler gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu iyileşme aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

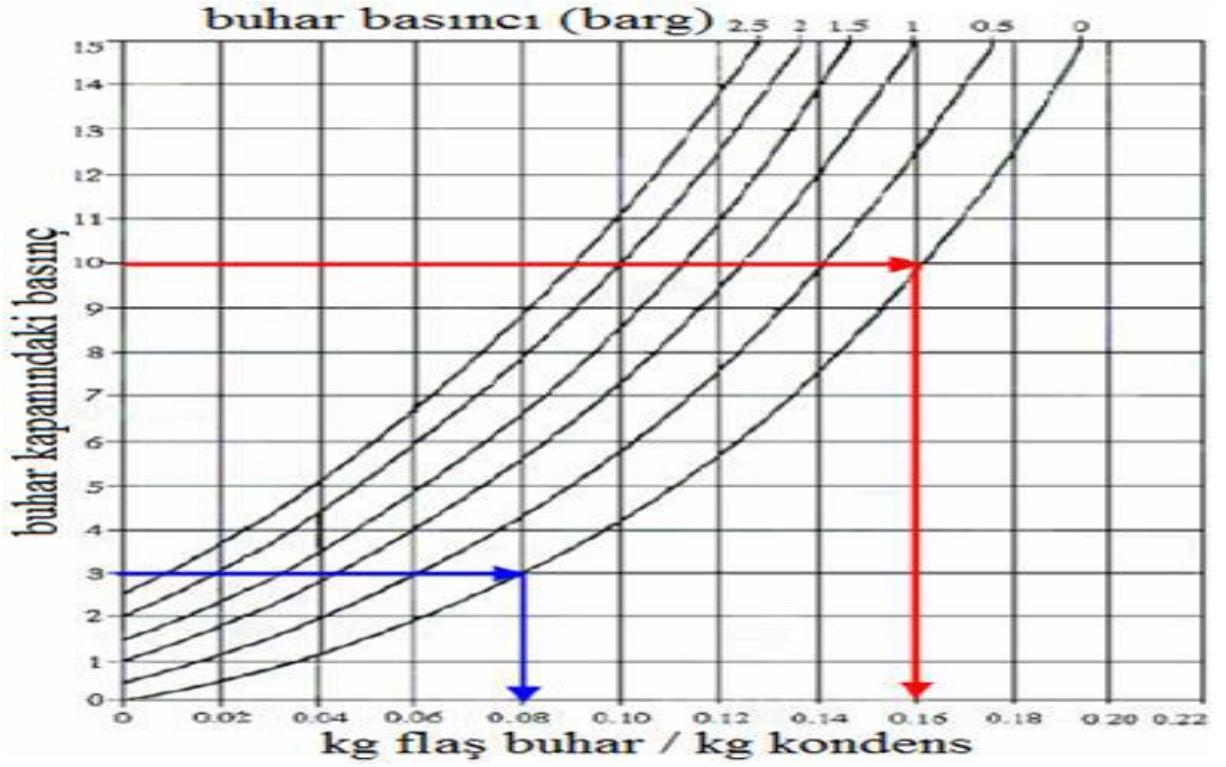
4.1.Buharlı Sistemlerde Enerji Analizleri

Çeşitli sektörlerde yapılan çalışmalarda endüstriyel tesislerinin ve işletmelerin %95' inde %5 -%40 oranında enerji tasarrufu yapılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Yeni kurulacak işletmelerde enerji tasarrufu çalışmalarının uygulanması sayesinde ciddi oranlarda enerji kayıplarının önüne geçilmesi sağlanacaktır. Buhar üretim noktası ile tüketim noktası arasındaki prosesler için alınacak önlemlerin yanı sıra, bütün çalışanların katkı sağlayacağı disiplinli bir çalışma sisteminin olması önemlidir. Oluşan başlıca buhar kayıpları ve bu kayıpların geri kazanılması için yapılacak işlemler aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır.

4.1.1. Flaş Buhar Analizi

Isı transfer yüzeylerinde buharlaşma ısını veren doymuş buhar, aynı basınçta kondens haline dönüşür ve doymuş su entalpisini içerir. Yüksek basınçlı doymuş haldeki suyun basıncı düşürüldüğünde ise bir kısmı buharlaşır. Bu buhara flaş buhar adı verilir. Flaş buhar miktarına eşit veya üzerindeki kapasitelerdeki buhar, kullanım alanları için uygundur. Tank sistemleri sayesinde elde edilecek buhar, işletme içinde düşük basınçta buhar ihtiyacı olan noktalarda kullanılarak yakıt maliyetleri azaltılmış olur.

$$FB \% = ((hf1 - hf2) / hfg) \times 100 \quad (17)$$



Şekil 21. Kondens flaş buhar oranı

hf_1 : Yüksek basınç ve sıcaklıktaki suyun entalpisi

hf_2 : Düşük basınçtaki suyun entalpisi

hfg : Buharlaşma entalpisi

$P=10$ bar

10 bar basınçtaki doymuş suyun entalpisi; $hf_1:782$ kJ/kg

0 bar basınçtaki doymuş suyun entalpisi; $hf_2:419$ kJ/kg

0 bar basınçta buharlaşma entalpisi; $hfg:2257$ kJ/kg

Oluşan Flaş Buhar;

$$FB=(782-419/2257) \times 100$$

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

$$FB= \%16$$

4.1.2. Flaş buhar ve kazan blöf geri kazanımı

On bar basınçlı bir buhar kazanının çalışması esnasında oluşabilecek flaş buhar ve kazan blöf miktarını hesaplayarak elde edeceğimiz geri kazanım oranını aşağıdaki şekilde hesaplayabiliriz.

Kazan Basıncı	: 10 bar
Buhar Miktarı	: 5180 kg/h
TDSmax	: 2.500 ppm
TDSbesi suyu	: 250 ppm
Hf(10 bar)	: 781,60 kJ/kg

$$\text{Kazan Blöf Miktarı} = \frac{TDS_{\text{besi suyu}}}{TDS_{\text{max}} - TDS_{\text{besi suyu}}} \times \text{Buhar Miktarı}$$
$$= \frac{250}{(2500 - 250)} \times 5180 = 1111,11 \text{ kg/h}$$

$$\text{Blöfün Sahip Olduğu Enerji} = \text{Kazan Blöf Miktarı} \times hf(10 \text{ bar}) = 1111,11 \times 781,6$$
$$= 868444,44 \text{ kJ/kg} = 241,23 \text{ kW}$$

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

$$\text{Flaş Buhar Miktarı} = \frac{hf(10 \text{ bar}) - hf(0,2 \text{ bar})}{hg(0,2 \text{ bar})} \times \text{Kazan Blöf Miktarı}$$
$$= \frac{781,60 - 440,8}{2243,40} \times 1111,11 = 168,79 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flaş Buharın Vereceği ısı} = \text{Flaş Buhar Miktarı} \times hg(0,2 \text{ bar}) = 168,79 \times 2.684,20$$
$$= 453.069,92 \text{ kJ/h} = 125,85 \text{ kW}$$
$$\text{Geri Kazanım Oranı} = \frac{\text{Flaş Buharın Verdiği Enerji}}{\text{Blöfün Sahip Olduğu Enerji}} \times 100 = \frac{125,85}{241,23} \times 100 = \% 52,2$$

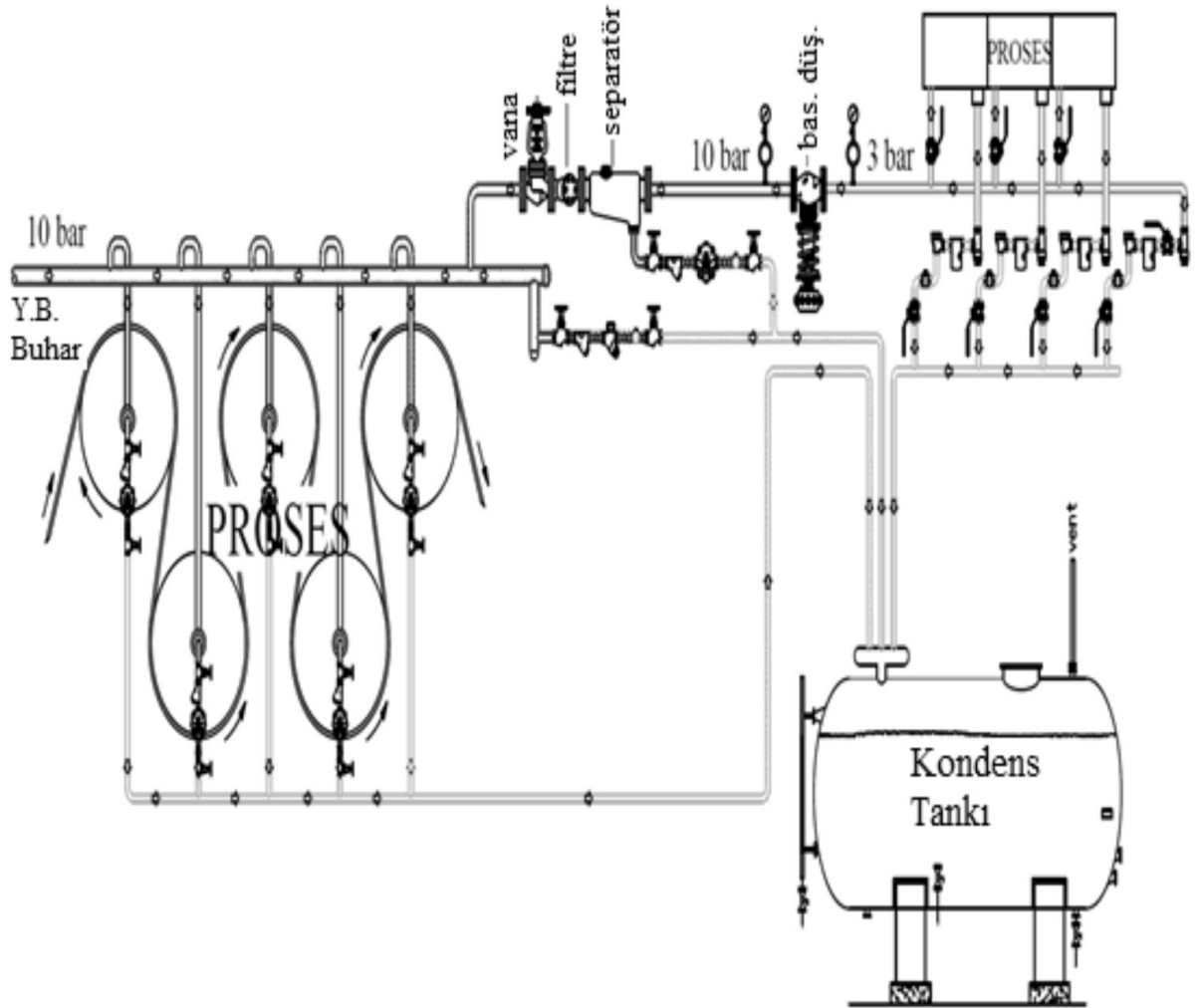
$$\text{Flaş Buh.Tank.Çık.Su Miktarı} = \text{Kazan Blöf Miktarı} - \text{Flaş Buhar Miktarı}$$
$$= 1.111,11 - 168,79 = 942,32 \text{ kg/h}$$
$$\text{Geri Kazanılabilir Enerji} = (hf(0,2) - hf(\text{besi suyu})) \times \text{Su Miktarı}$$
$$= (440,80 - 41,87) \times 942,32 = 375919,60 \text{ kJ/h} = 104,42 \text{ kW}$$

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

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

4.2. Termokompresör Uygulamasından Önceki Mevcut Durum

Çalışmanın bu bölümünde önceki bölümlerde bahsedilen buhar hattının verimliliğini arttıran diğer etmenlerden bağımsız olarak, termokompresör ve flaş buhar tankı kullanıldığında elde edilebilecek enerji kazanımlarından bahsedilmiştir. Tekstil fabrikasında 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, ventilasyon hattıyla atmosfere atılmaktadır. Atılan buhardaki enerji ciddi bir israftır.



Şekil 22. Tekstil fabrikasındaki mevcut durumu

Şekil 22'de gösterilen mevcut sistemdeki veriler aşağıdaki gibidir;

Ana hat kapasitesi: 5118 kg/h

Ana hat basıncı: 10 bar

Silindir kapasitesi: 3.000 kg/h

Silindir buhar basıncı: 10 bar

Tava kapasitesi: 2.500 kg/h

Tava buhar basıncı: 3 bar

Hattın rejim halindeki radyasyon kayıplarının kondens miktarı:

$$Q=E \times I \times 3,6/L \times 4 \quad (18)$$

Q: Kondens miktarı (kg/h)

E: Isı emiş miktarı (W/m)

I: Efektif boru uzunluğu (m)

L: Buharlaştırma entalpisi (kJ/kg)

E = 1567 W/m (Çizelge 3. sıcaklık farkına göre)

I = 120 + (6 x 0,3) + (3 x 1,2)

I = 125,4 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 = 2048,8 kJ/kg (Basınç – Sıcaklık tablolarından)

Q=1567 x 125,4 x 3,6/(2048,8 x 4)=86,31 kg/h

Atmosfere açık kondens tankından kaçan flaş buhar miktarı:

Flaş Buhar Miktarı =hf(10 bar)–hf(0,2 bar)/hfg (0,2 bar) x Kazan Blöf Miktarı

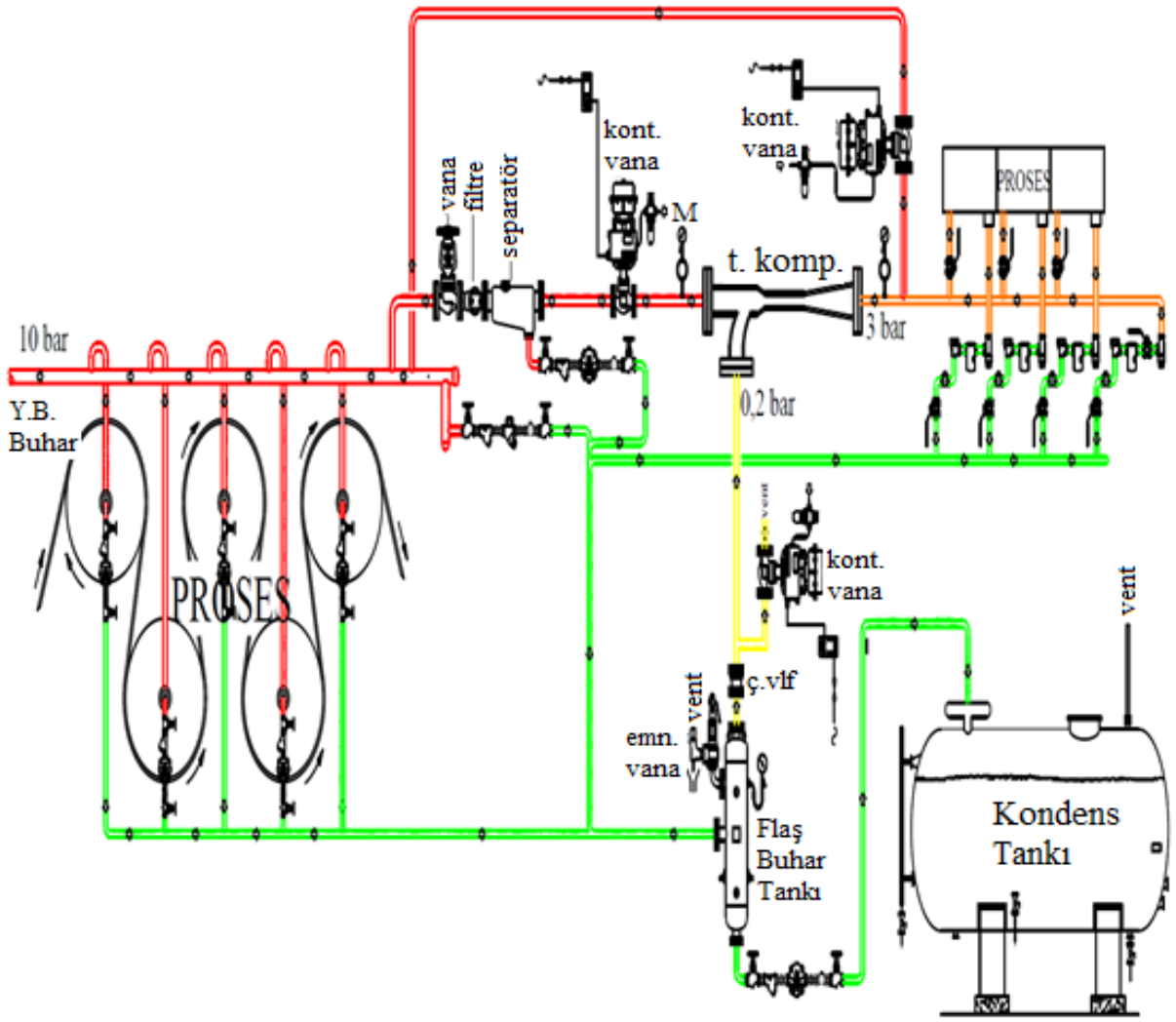
=782–419 x 1111,11 =168,79 kg/h

Çizelge 3. Düz çelik boruların ısı emiş miktarı (W/m)

Buhar-Hava Sıcaklık farkı (C°)	Boru Çapları (mm)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	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

4.3. Termokompresör ve Flaş Buhar Tankı Uygulanmasından Sonraki Durum

Tekstil fabrikasında üretilen enerjinin sistemde ihtiyaç duyulan yerde kullanılması, kayıp enerjinin en aza indirilmesi için yapılan bu çalışma Şekil 22'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 edilmesi sağlanacaktır. Bu uygulamada buhar sisteminde oluşan bütün kondensin toplanacağı yer 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 göstermektedir.



Şekil 23. Tekstil fabrikasında termokompresör ve flaş buhar tankı uygulanmış 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 gözlemlenmiştir.

Sistemde oluşan minimum flaş buhar = 168,79 kg/h

Endüstriyel tesisin günlük çalışma süresi = 18 saat

Endüstriyel tesisin aylık çalışma süresi = 26 gün

Aylık elde edilen flaş buhar miktarı = $168,79 \times 18 \times 26 = 78993,72$ kg/ay

Ayda minimum 78993,72 kg flaş buhar kondens tankından atmosfere atılmaktadır. Tesisin buhar maliyeti ve kurulan sistem ile geri kazanılan enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

Tesisin buhar maliyeti:

Elde edilen buhar basıncı = 0,2 bar

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

Besi suyu sıcaklığı = 95 °C

Verilmesi gereken ısı miktarı = 547,8571 kcal/kg

1 ton için verilmesi gereken ısı yükü = $547,8571 \times 1000 = 547.857,1$ kcal

Yakıt tipi: Doğalgaz

Yakıtın alt ısıl değeri = 8.250 kcal/m³

1 ton buhar için gerekli yakıt miktarı = $547.857,1/8.250 = 66,4$ m³

Kazan verimi = %90

Gereken yakıt miktarı = $66,4/0,9 = 73,78$ m³

Yakıt birim fiyatı = 0,9481 m³/TL

Su birim fiyatı = 9,32 m³/TL

Toplam birim fiyat = $73,78 \times 0,9481 + 9,32 = 79,270$ TL/ton

Flaş buhar ile elde edilen aylık kazanç = $234 \times 79,270 = 18549,18$ TL/ay

Termokompresör maliyeti = 150.000 TL

Flaş buhar tankı maliyeti = 45.000 TL

Termokompresör & flaş buhar tank sistem maliyeti= 195.000 TL

Sistemin geri dönüş süresi = $195000/18549,18 = 10,5$ ay

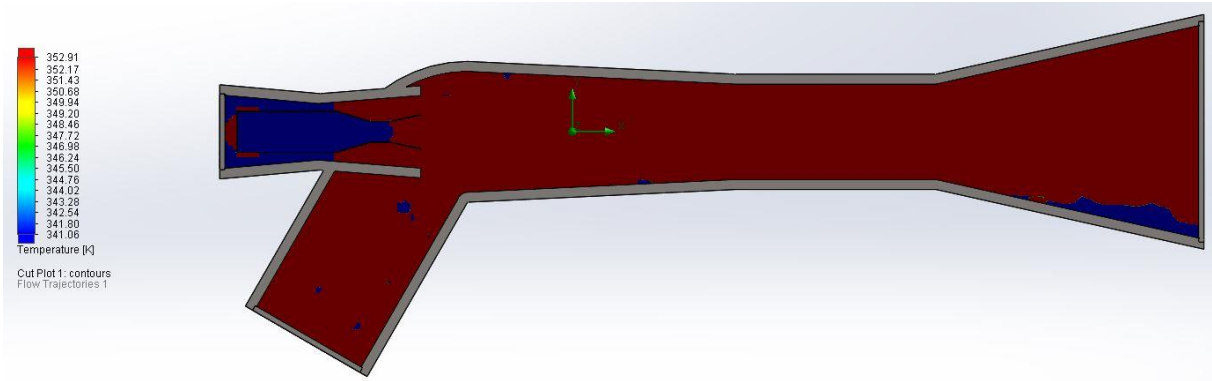
Yukarıdaki hesaplamalardan da anlaşılacağı üzere yıllarca kullanılabilen bir sistemin maliyeti ortalama 10,5 ayda kendini amorti edebilmektedir. Ayrıca üretilen enerjinin faydalı kullanımını da ülke ve dünya enerji kaynaklarının sarfiyatını azaltması yönüyle önemlidir. Sistemin uygulanmasına yönelik görseller Şekil 24’de gösterilmiştir.



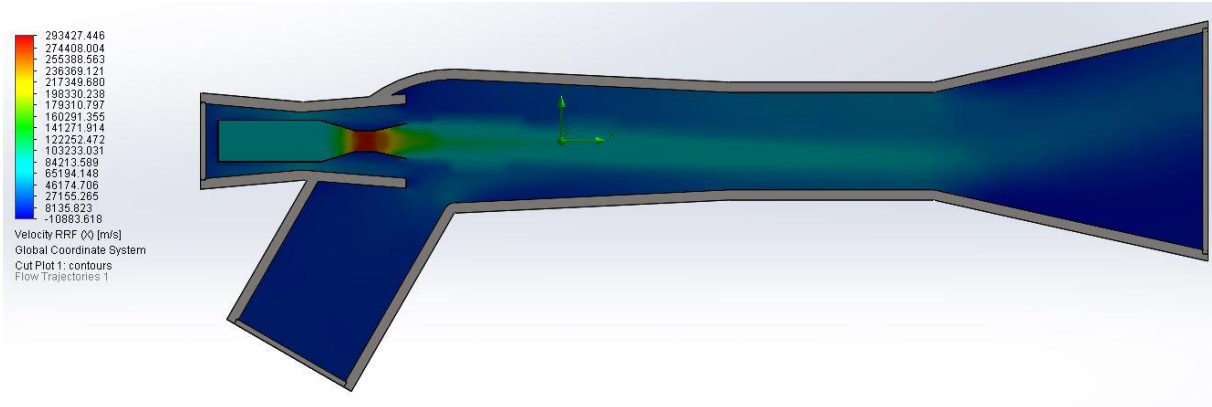
Şekil 24. Endüstriyel tesise ait görseller

4.4.CFD Analizi

Yapılan bu çalışmada, termokompresör ve ejektör çalışma sistemi Solidworks Flow Simulation programı yardımı ile CFD analizine tabi tutularak sanal ortamda buhar akışının simüle edilmesi amaçlanmış ve modellenen veri üzerinde incelemeler yapılmıştır.



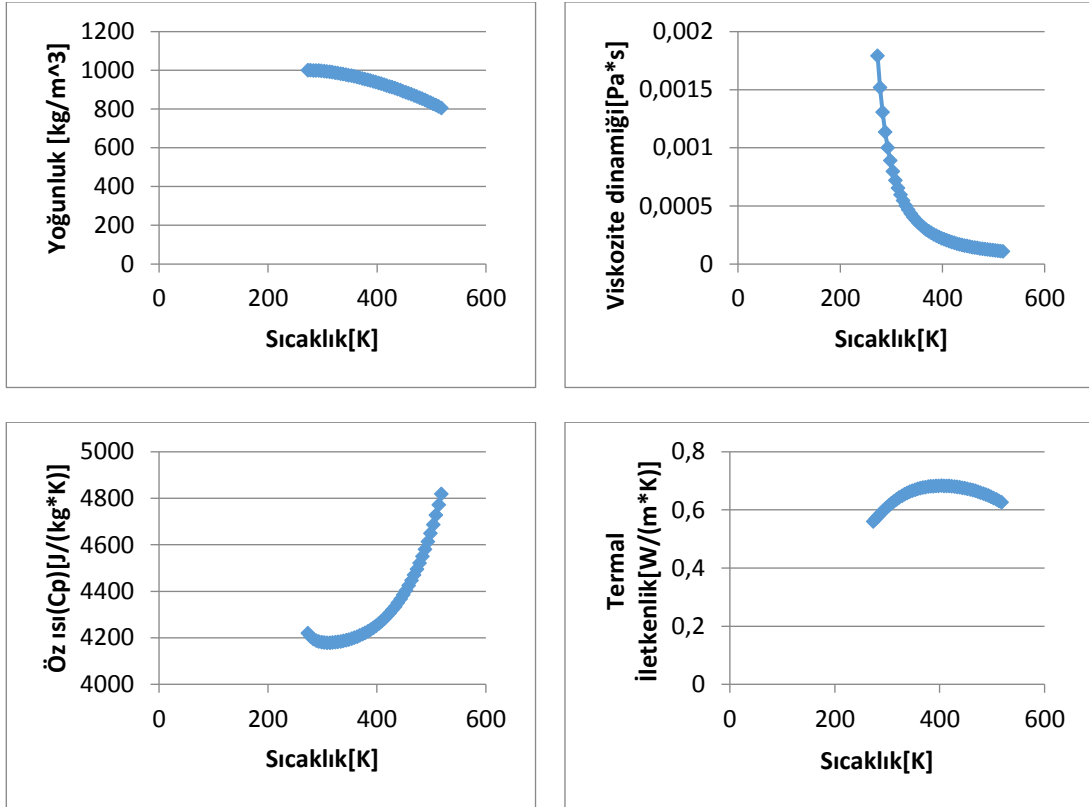
Şekil 25. Termokompresör sıcaklık dağılımı



Şekil 26. Termokompresör hız dağılımı

Yapılan incelemelerden elde edilen grafikler Şekil 26' da detaylı olarak gösterilmiştir. Ejektör verimini etkileyen en önemli etmenlerden bazılarını; tahrik akışkanı ile emilen akışkanın karışma odasında birbirleri ile etkileşimi, kinetik enerji kayıpları, şok dalgalarının oluşturduğu kayıplar gibi sıralamak mümkündür. Kinetik enerji kayıpları yakınsak lümenin içinde ve difüzör içinde meydana gelir. Buradaki kayıplar akış ayrılması ve sürtünme etkilerinden oluşur. Akış ayrılmaları çoğunlukla ıraksak lümenin alanının ani genişlemesinden oluşur.

Bu durum cidar yakınlarda güçlü türbülans oluşumunu meydana getirir. Bu etkiler boru yüzeyini iyi işleyerek ve jet eksenini ile difüzör eksenini aynı doğrultuda olmasını sağlayarak azaltılabilir. Şekil 27’de yapılan analizler sonucunda elde edilen grafikler gösterilmiştir.



Şekil 27. Termokompresör CFD grafik analizleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Sürekli artan insan nüfusu, dünya üzerinde var olan enerjiyi sürekli tüketmektedir. Dünyamızın sahip olduğu enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Her ne kadar çabalasak ta enerji tüketiminin önüne geçememekteyiz. Mademki tüketimi engelleyemiyoruz o halde tükettiğimiz enerjiyi geri kazanmanın yollarını aramalıyız. İşte tamda bu noktada, oldukça yaygın olarak kullanılan buhar enerjisini, geri kazanma yolu büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, gerekli literatür araştırması yapılarak literatüre katkı sağlayacağına inanılan Termokompresörler üzerinde yoğunlaşmıştır. Termokompresörler sayesinde kullanılmadan atılan buhar enerjisi kullanılmış olacak ve böylece enerji tasarrufu sağlanacaktır. Enerji tasarrufu açısından oldukça önemli bir konudur ve araştırılması gereklidir. Termokompresör sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması sistemin tercih edilmesini ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasını sağlayan etkenlerden biridir. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Ülkemizde üretilmeyen ve aynı zamanda tüketicinin buhar tüketimini azaltacak özgün buhar ejektörü tasarım ve analizleri yapılarak buhar ejektörü ürünü üretilecektir.
- Buhar kazanı kapasitesi arttıkça flaş buhar miktarı da artmaktadır.
- Yapılan maliyet analizi çalışmaları neticesinde sistemin kendini 10,5 ayda amorti edebildiği görülmüştür.
- Flaş buhar sisteme geri kazandırılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Aphornratana, S., “Theoretical Study of a Steam-Ejector Refrigerator”, RERIC International Energy Journal, Cilt 18, Sayı 1, Haziran 1996.
- ARIAFAR, “Performance Evaluation of a Model Thermocompressor using Computational Fluid Dynamics” , International Journal of Mechanics, Sayı 1, Cilt 6, 2012.
- B.J. Huang, J.M. Chang, C.P. Wang, V.A. Petrenko. Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan Received 4 May 1998; received in revised form 25 November 1998; accepted 23 December 1998
- Eames I.W, Aphornratana S, and Haider H, (1995). A theoretical and experimental study of a small-scale steam jet refrigerator. Int J. Refrig, Vol. 18:-378 386.
- Hisham El D, Hisham E, Imad A, and Ghada Al N, (2002). Evaluation of steam jet ejectors. Chemical Engineering and Processing, 41:551-561.
- Kadant, Recirculating and booster thermocompressor applications.
- Kuvaleka, D. K., “Thermocompressors - Boosting Steam to Boost Profits”, Paper ASIA, Mart 2007.
- MyoungKuk J, Tony U, JuSik W, YongHun L, HyoMin J, HanShik C. (2010). CFD investigation on the flow structure inside thermo vapor compressor. Energy, 35: 2694–2702.
- Navid S, Masoud B (2013). An investigation of thermo-compressor design by analysis and experiment: Part 1. Validation of the numerical method. Energy Conversion and Management, 69: 217–227
- Power, R. B., “Steam Jet Ejectors for the Process Industries”, Mc-Graw Hill, New York, S.7-13, 1994.
- Robert B. 1993. Steam Jet Ejectors For The Process Industries (First Edition bas.). McGraw-Hill.
- SOUICY, M. & TIMM, G. L., “Thermocompressor Design and Operation for High Efficiency” , Pulp & Paper Canada Magazine, Eylül-Ekim 2010.
- Ünlü A, Doğuş A, Gökkaya M (2013). 11. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi. Sayfa 363-370, İzmir.
- Anonim (2017). <http://venta.com.tr/> (erişim tarihi, 12.03.2017)
- Anonim (2017). http://www.erensan.com.tr/tr/rs70_190.asp (erişim tarihi, 09.02.2017)
- Marshall F (2015). Termokompresör Sistemleri Ürün Kataloğu. http://www.forbesmarshall.com/fm_micro/downloads/intops/TC.pdf (erişim tarihi, 07.01.2013).

US Department of Energy (2012).
https://energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/steam29_use_steam.pdf (erişim tarihi:
17.04.2017).

Robert B. 1993. Steam Jet Ejectors For The Process Industries (First Edition bas.).
McGraw-Hill.

ÖZGEÇMİŞ

Hacı Hasan ÇETİNTAŞ 18/11/1982 yılında Elazığ'ın Alacakaya ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğretimini Alacakaya'da tamamladı. 2008 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü'nden mezun oldu. 2009 yılından itibaren bir tekstil fabrikasında fabrika müdürü olarak çalışmakta ve evli bir çocuk babasıdır.

EKLER

EK 1. Buhar için Mollier diyagramı

EK 2. Su buharı için Sıcaklık - Entropi diyagramı

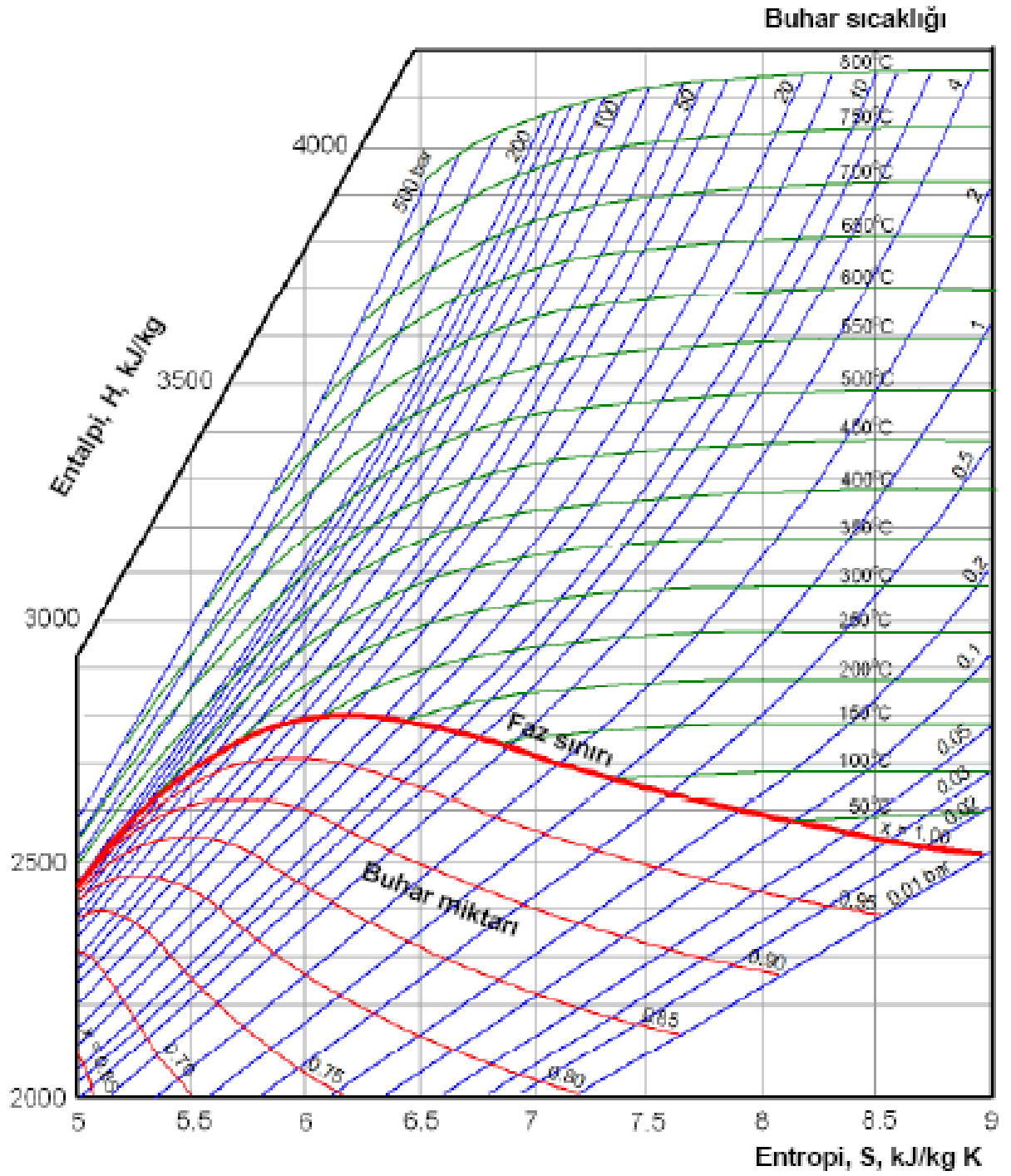
EK 3. Doymuş su / Buhar – Sıcaklık tablosu

EK 4. Doymuş su / Buhar – Basınç tablosu

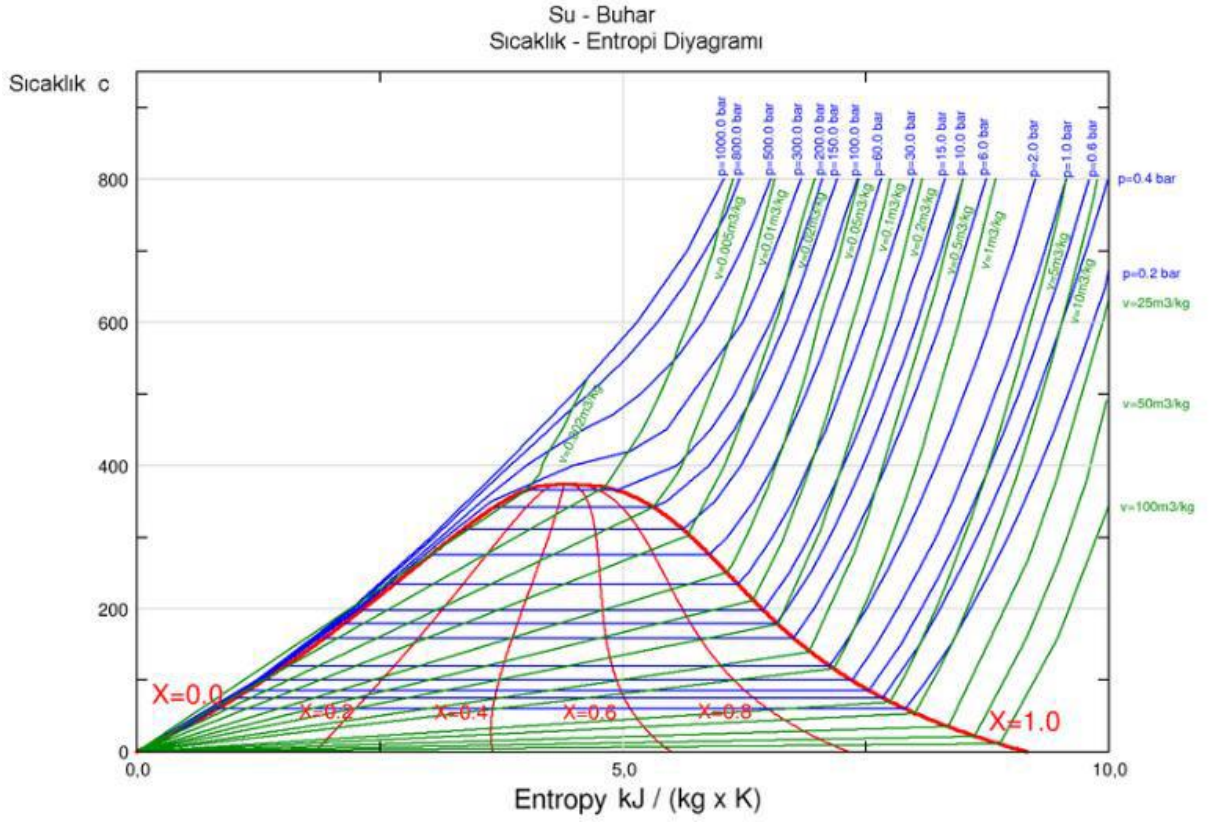
EK 5. Kızgın buhar tablosu

EK 6. Boru çaplarına göre buhar kapasitesi (kg/h)

EK 1. Buhar için Mollier 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 (devamı)

°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

